МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
IX Международной научно-практической конференции

24–26 мая 2018 г.

Томск 2018

УДК 62.002:658(063)
ББК 34.4:65л0
И66

Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов IX
И66 Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. − 295 с.

ISBN 978-5-4387-0814-8

Сборник содержит материалы IX Международной научно-практической конференции по современным проблемам инновационных технологий в сварочном производстве, машиностроении, металлургии, автоматизации производства и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических специальностей.

УДК 62.002:658(063)
ББК 34.4:65л0

ISBN 978-5-4387-0814-8

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СЕКЦИЯ 2: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СЕКЦИЯ 3: АВТОМАТИЗАЦИЯ, ИНФОРМАТИЗАЦИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ НА ПРЕДПРИЯТИИ

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛИ 12Х18Н9Т

А.Д. Размышляев[1], д.т.н., проф., М.В. Агеева[2], к.т.н., доц.
[1]ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина
87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. Тел. +38 (067) -6202679
[2]Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина
84313, Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Академическая, 72, +38 (097) -2174719
E-mail: marinamykyta@rambler.ru

Статья посвящена влиянию поперечного магнитного поля (ПОМП) на измельчение структуры металла сварного шва. Экспериментально показано, что при дуговой сварке под флюсом пластин аустенитной стали типа 12Х18Н9Т (X10CrNiTi18-9) воздействие переменного ПОМП частотой 6 Гц уменьшает размер зерна металла сварного шва почти вдвое по сравнению со сварочным процессом без воздействия ПОМП. Это должно увеличить значение предела текучести металла шва в соответствии с данными Холла - Петча.

The paper is dedicated to the transverse magnetic field (TMF) influence on the refinement of the weld metal structure. It is experimentally shown that the alternating TMF influence of 6 Hz frequency reduces the grain size of weld metal is almost twice in comparison with the welding process without the TMF influence at submerged arc welding of plates of austenitic steel type 12Х18Н9Т (X10CrNiTi18-9). This is should increase the yield strength value of the weld metal in accordance with the data of Hall – Petch.

Автоматическая электродуговая сварка с воздействием продольного магнитного поля (ПРМП) имеет ряд технологических преимуществ: повышение коэффициента расплавления электрода, уменьшение глубины проплавления основного металла, измельчение структурных составляющих металла шва. Эти данные приведены в значительном числе публикаций и обобщены в монографиях [1,2]. В ряде публикаций показано, что использование поперечного магнитного поля (ПОМП) также позволяет получить указанные выше положительные эффекты. Однако, влияние ПОМП на измельчение структурных составляющих при электродуговой сварке и наплавке недостаточно изучено. Имеются только две публикации [3,4], посвященные вопросу влияния ПОМП на структуру металла шва.

В работе [3] исследовали влияние поперечного магнитного поля на измельчение структуры металла шва при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом сплава Д16. Установлено, что при сварке статической (неколеблющейся) дугой структура металла шва представляла собой дендриты, вытянутые в направлении преимущественного теплоотвода. Колебания дуги поперек и вдоль шва приводили к подавлению роста дендритной и к образованию равноосной структуры металла шва. Полное подавление роста дендритов наблюдали при частоте колебаний выше 4 Гц.

В работе [4] для управления процессом кристаллизации шва при TIG сварке стали использовали поперечное магнитное поле. Управляющее магнитное поле в зоне сварки создавали с помощью электромагнитной системы (ЭМС), состоящей из шести электромагнитов, расположенных на одинаковом расстоянии от электрода под углом 60° один к другому. С помощью микропроцессорного устройства программировали полярность, длительность и периодичность импульсных последовательностей (ти.п) токов намагничивания каждой катушки ЭМС. По сравнению с первичной структурой металла швов, полученных при сварке в обычных условиях, наибольшее измельчение структуры было зафиксировано при продольных колебаниях дуги по всему сечению швов и поперечных колебаниях в центральной части швов.

Таким образом, данные о влиянии ПОМП на кристаллизацию швов при дуговой сварке малочисленны. Это потребовало выполнения исследований, данные которых приведены ниже.

Для установления влияния ПОМП на эффективность измельчения структуру металла шва выполняли автоматическую электродуговую сварку под флюсом пластин толщиной 20 мм из стали 12Х18Н9Т с *V*-образной разделкой кромок под флюсом Marathon 431 (Bohler) проволокой Св-06Х19Н9Т диаметром 4 мм. Для сварки использовали автомат АДС-1002 и выпрямитель типа ВДУ-1202 (включали падающую внешнюю характеристику источника). Режимы сварки швов, выполненных с воздействием и без ПОМП, приведены в таблице 1. Выбор типа образцов для сварки (S = 20 мм) был связан с дальнейшим внедрением результатов исследований в производство.

Использовали устройство ввода поперечного магнитного поля (УВ ПОМП), приведенное на рис. 1. Устройство содержит магнитопровод 4, состоящий из трёх участков: два наклонных участка, на которых размещены обмотки 7, а также горизонтальный участок, соединенный с наклонными с помощью болтовых соединений 8. Магнитопровод, сечение набора которого 30×20 мм, был собран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Угол наклона стержней (электромагнитов) к

вертикальной оси электрода составляет 45°, а торцевые поверхности стержней имеют скосы, параллельные плоскости свариваемых пластин. Количество витков одной обмотки составляло W = 70. Обмотки выполнены двухслойно из медного изолированного провода диаметром 2 мм. Устройство, генерирующее ПОМП, крепилось к сварочному автомату АДС-1002 с помощью хомутов. При этом магнитопровод 4 был изолирован от автомата изолятором 5. С помощью автомата АДС-1002 можно было изменять параметр H (вылет электрода), т.е. расстояние между токоподводящими губками 2 и пластиной 6, а также расстояние h от торцов магнитопровода 4 до поверхности пластины 6.

При величине тока в обмотках 20 А величина поперечной компоненты индукции ПОМП в зоне металла шва составляла 20…25 мТл. При сварке использовали знакопеременное магнитное поле частотой 6 Гц.

Таблица 1

Режимы сварки под флюсом пластин (сталь 12Х18Н9Т)

№ шва	№ прохода	Режимы сварки		
		$I_{св}$, А	$U_д$, В	$V_{св}$, м/с
шов № 1 (без ПОМП)	1 проход	400	32	0,008
	2 проход	650	35÷36	0,006
	3 проход	650	35÷36	0,006
шов № 2 (в ПОМП)	1 проход (без поля)	650	34	0,008
	2 проход (с полем)	750	36÷38	0,006

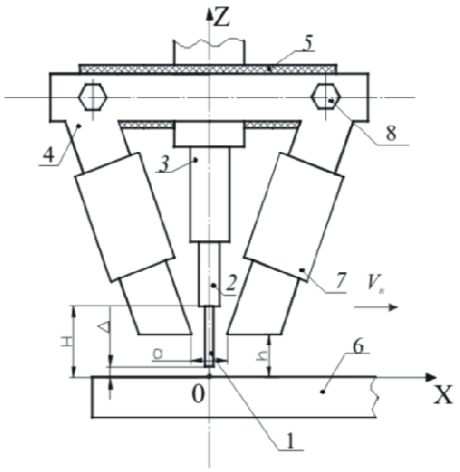


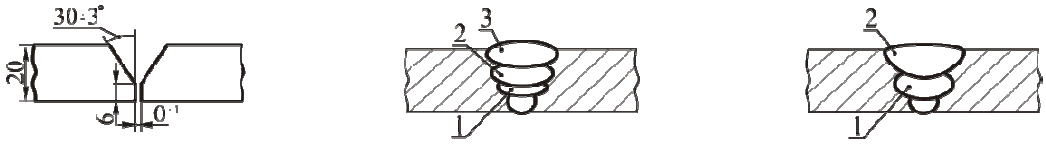
Рис. 1. Схема устройства для создания ПОМП (обозначения расшифрованы в тексте)

Сварку с воздействием переменного ПОМП частотой f = 6 Гц осуществляли с использованием 2-х стержневого УВ (рис. 1) с расположением стержней-полюсов поперек оси шва. Конструктивные элементы подготовленных кромок и схематическое изображение сварного соединения, выполненного без воздействия ПОМП и с воздействием ПОМП, представлены на рис. 2. Ток в обмотках устройства УВ ПОМП составлял $I_к$ = 20 А ($I \cdot W$ = 1400). Целесообразность использования переменного ПОМП частотой f = 6 Гц была установлена в предварительных исследованиях по влиянию ПОМП на технологические особенности процесса автоматической электродуговой сварки под флюсом. При частоте ПОМП менее 6 Гц происходила значительная «раскачка» взад и вперед жидкого металла ванны, что нарушало стабильность процесса сварки. При частоте ПОМП 6 Гц наблюдалась высокая стабильность параметров режима процесса сварки (кроме того, соблюдалось повышение коэффициента расплавления электродной проволоки на 20…30 %).

В зонах сварочной дуги, электродной капли и жидкого металла ванны значение поперечной компоненты B_x индукции ПОМП составляло порядка 20÷25 мТл.

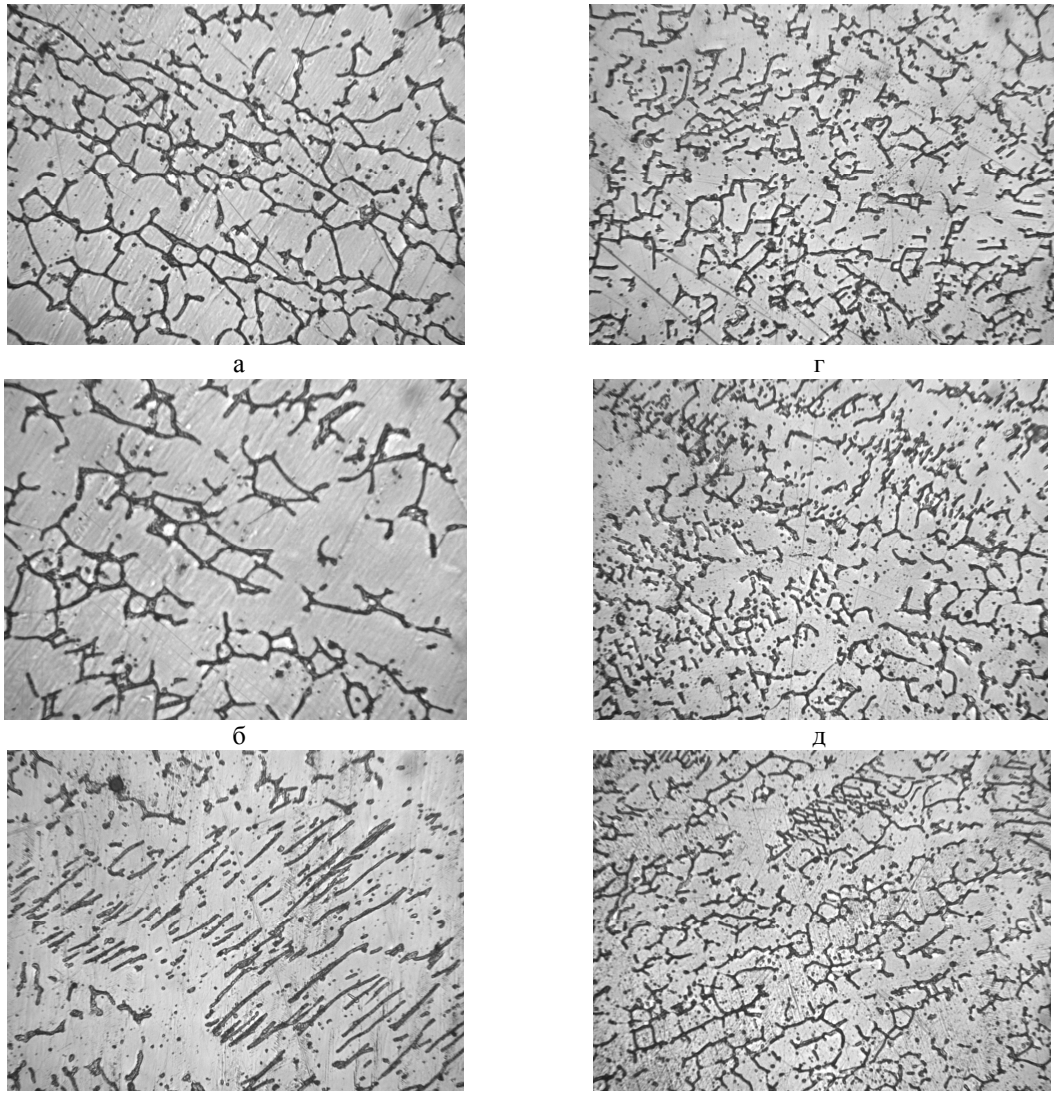
Для исследования микроструктуры швов вырезали поперечные темплеты. Затем, после полировки поперечных сечений образцов их травили, используя химический реактив следующего состава: 200 г HCl; 300 мл HNO_3; 300 мл H_2O.

На основании анализа микроструктур швов, выполненных при воздействии ПОМП (рис. 3, г, д, е) можно сделать вывод, что воздействие ПОМП на дугу и жидкий металл сварочной ванны приводит к измельчению зерна металла сварного шва.



а б в

Рис. 2 – Конструктивные элементы подготовленных кромок (а) и схематическое изображение сварного соединения, выполненного без воздействия ПОМП (б) и с воздействием ПОМП (в)



а г

б д

в е

Рис. 3. Микроструктура (увеличение ×500) верхней (а, г), центральной (б, д) и нижней (в, е) областей сварных швов, выполненных без воздействия ПОМП (а, б, в) и с воздействием ПОМП (г, д, е)

Данное заключение подтверждается следующими количественными характеристиками микроструктур сварных швов, определенными с помощью микроскопа:

1) средний размер зерен металла шва, выполненного без ПОМП – 7÷6 балл;

2) средний размер зерен металла шва, выполненного с воздействием ПОМП – 8 балл, с отдельными включениями зерен с 7 баллом.

Данные размера зерен металла сварных швов, в зависимости от бальной шкалы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средний размер зерен металла сварных швов

№ по балльной шкале	Размер зерна, мм
6 балл	0,0391
7 балл	0,0267
8 балл	0,0196

Исходя из данных таблиц 1 и 2 можно сделать заключение, что воздействие ПОМП при дуговой сварке под флюсом пластин из аустенитной стали типа 12Х18Н9Т уменьшает размер зерен металла сварных швов практически в 2 раза по сравнению с процессом сварки без воздействия ПОМП. Это, в соответствии с данными Холла – Петча, должно повысить значение предела текучести металла шва [5].

Выводы.

1. Воздействие переменного частотой f = 6 Гц ПОМП при сварке под флюсом стыковых соединений пластин из стали типа 12Х18Н9Т обеспечивает измельчение зерен металла сварных швов практически в 2 раза.
2. При сварке стыковых соединений из стали 12Х18Н9Т без воздействия ПОМП средний размер зерен составляет 7…6 балл, а с воздействием ПОМП средний размер зерен металла шва соответствует 8 баллу с отдельными включениями зерен с 7 баллом, что должно повысить значение предела текучести металла шва.

Список литературы

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г.М. Шеленков. – Киев: Техника, 1983. – 127 с.
2. Размышляев А.Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
3. Болдырев А.М. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М. Болдырев, Ю.С. Ткаченко, Н.П. Толоконникова, Э.Б. Дорофеев, С.Д. Никитин // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С. 70-71.
4. Рыжов Р.Н. Особенности формирования и кристаллизации швов при сварке ТИГ с отклонениями дуги магнитным полем / Р.Н. Рыжов, В.С. Семенюк, А.А. Титов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 4. – С. 17-20.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1977. – 408 с.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

С.В. Макаров, старший преподаватель, Д.А. Чинахов, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451)-7-77-64
E-mail: makarovsv@tpu.ru

В статье рассмотрены способы обработки жидкого стекла, имеющего в своём составе ультрадисперсные порошки-модификаторы. Сравнение проводилось для двух методик – с использованием планетарной шаровой мельницы и механокавитационной установки активаторного типа. Установлено, что обработка жидкого стекла и ультрадисперсных порошков на планетарной шаровой мельнице приводит к образованию большого числа агломератов. При использовании механокавитационной установки наблюдается диаметрально противоположная ситуация – порошки-модификаторы распределены равномерно во всём объёме жидкого стекла.

Согласно данным [1-3] за последние 5 лет на российском и мировом рынках проявляется тенденция к уменьшению доли сварочных электродов в совокупном объёме использования средств сварки металлов. Вместе с тем, за счёт увеличения потребности в сварных соединениях, связанной с динамичным развитием строительной отрасли (мост через Керченский пролив), военно-промышленного комплекса,

нефтегазового комплекса (газотранспортная система «Сила Сибири»), в абсолютных показателях потребность в сварочных электродах среди российских потребителей ежегодно увеличивается на 10-15%.

Другим важным аспектом является импортозамещение. В настоящее время, по оценкам Правительства, доля импорта в различных отраслях экономики довольно высока. Например, Российская Федерация импортирует в тяжелом машиностроении – более 70% комплектующих, в нефтегазовом оборудовании – 60%, в энергетическом оборудовании – около 50%. В апреле 2014 года Кабинет министров утвердил новую редакцию государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» (постановление от 15 апреля 2014 г. №328). Одной из главных задач государственной программы, рассчитанной до 2020 года, заявлено снижение доли импорта продукции в Россию.

Электроды компаний: ESAB, Kobe Steel, Lincoln Electric, Klockner & Co SE, Capilla, S.I.A. «RESANTA» [4] являются наиболее популярными среди импортируемых, даже не смотря на то, что их цена выше чем у отечественных аналогов. Для потребителя на первый план выходит не цена, а качество и возможности электрода.

Ранее в работе [5] была описана разработанная технология по производству импортозамещающих электродов, суть которой заключается в следующем: в жидкое стекло (табл. 1) вносятся ультрадисперсные порошки-модификаторы (диоксид алюминия, оксид кремния, никель, оксид титана), с размером частиц порядка 90 нм и чистотой 99,85%. За перемешивание и равномерное распределение порошков отвечает механокавитационная установка активаторного типа. Температура жидкого стекла, находящегося в установке не должна превышать 35ºС, время перемешивания – 30-60 минут. При несоблюдении указанных технологических режимов жидкое стекло становится непригодным для изготовления обмазочной массы, ввиду низкой вязкости и пониженных когезионных свойств.

Таблица 1

Показатели качества калиево-натриевого жидкого стекла

Наименование показателя	Серийное	Экспериментальное
Силикатный модуль	3,1	3,2
Динамическая вязкость, сПз	611	387
Плотность, г/см³	1,4	1,4

Для измерения динамической вязкости использовался цифровой вискозиметр Брукфильда DV-E. Точность измерения ±1% полной шкалы. Воспроизводимость результатов ±0,2%. Плотность жидкого стекла определяли по ГОСТ 2517-85 с использованием ареометр по ГОСТ 18481-81.

Плотность и динамическая вязкость зависят от состава жидкого стекла. Вязкость в сильной мере подвержена зависимости от температуры раствора, наличия или отсутствия примесей в составе, метода получения и прочих факторов. Проанализировав теоретические данные установлено, что жидкие стекла с модулем 2,5…3,3 помогают снизить влажность в покрытии электродов и количество водорода в металле сварного соединения [6-8].

При обработке жидкого стекла на механокавитационной установке активаторного типа значительно снижается его динамическая вязкость и повышается силикатный модуль. Изменения свойств жидкого стекла показывают связь между его плотностью и вязкостью. Обработка жидкого стекла способствует изменению структур составляющих его компонентов и получению прогнозируемых зависимостей между плотностью и вязкостью.

Обработка жидкого стекла на механокавитационной установке активаторного типа позволяет улучшить реологические свойства жидкого стекла, повышая его силикатный модуль и степень структурированности, которая определяется соотношением, вязкости, плотности и силикатного модуля. Эти факторы позволяют повысить пластические свойства обмазочной массы, снизить количество жидкого стекла, что приведёт к снижению содержания влаги [8] в электродах, а также улучшению качества электродов и металла сварного шва.

Необходимо отметить факт того, что в сравнении со стандартной технологией уменьшилось использование жидкого стекла (по предлагаемой экспериментальной технологии на 100 кг сухой шихты было израсходовано 22 кг стекла, при серийном способе – 24,5 кг). Таким образом, можно отметить снижение расхода жидкого стекла на 10 %.

Для того чтобы определить возможность применения ультрадисперсных порошков-модификаторов в процессе изготовления сварочных электродов были произведены экспериментальные сварочные электроды, базирующиеся на компонентной базе электрода марки МР-3 и УОНИ 13/45 Ø4,0 мм.

В свою очередь было проведено исследование поведения ультрадисперсных порошков в жидком стекле. В ходе исследования было необходимо выяснить, каким образом порошки-модификаторы будут распределены в объёме жидкого стекла, и как на него повлияет время и способ перемешивания (рис. 1).

Раствор жидкого стекла с ультрадисперсными порошками перемешивали на планетарной шаровой мельнице при 1200 об/мин в течение 60-180 минут, затем такая же процедура проводилась на механокавитационной установке активаторного типа. Когда порошки-модификаторы распределились равномерно, это жидкое стекло использовали для изготовления партии сварочных электродов.

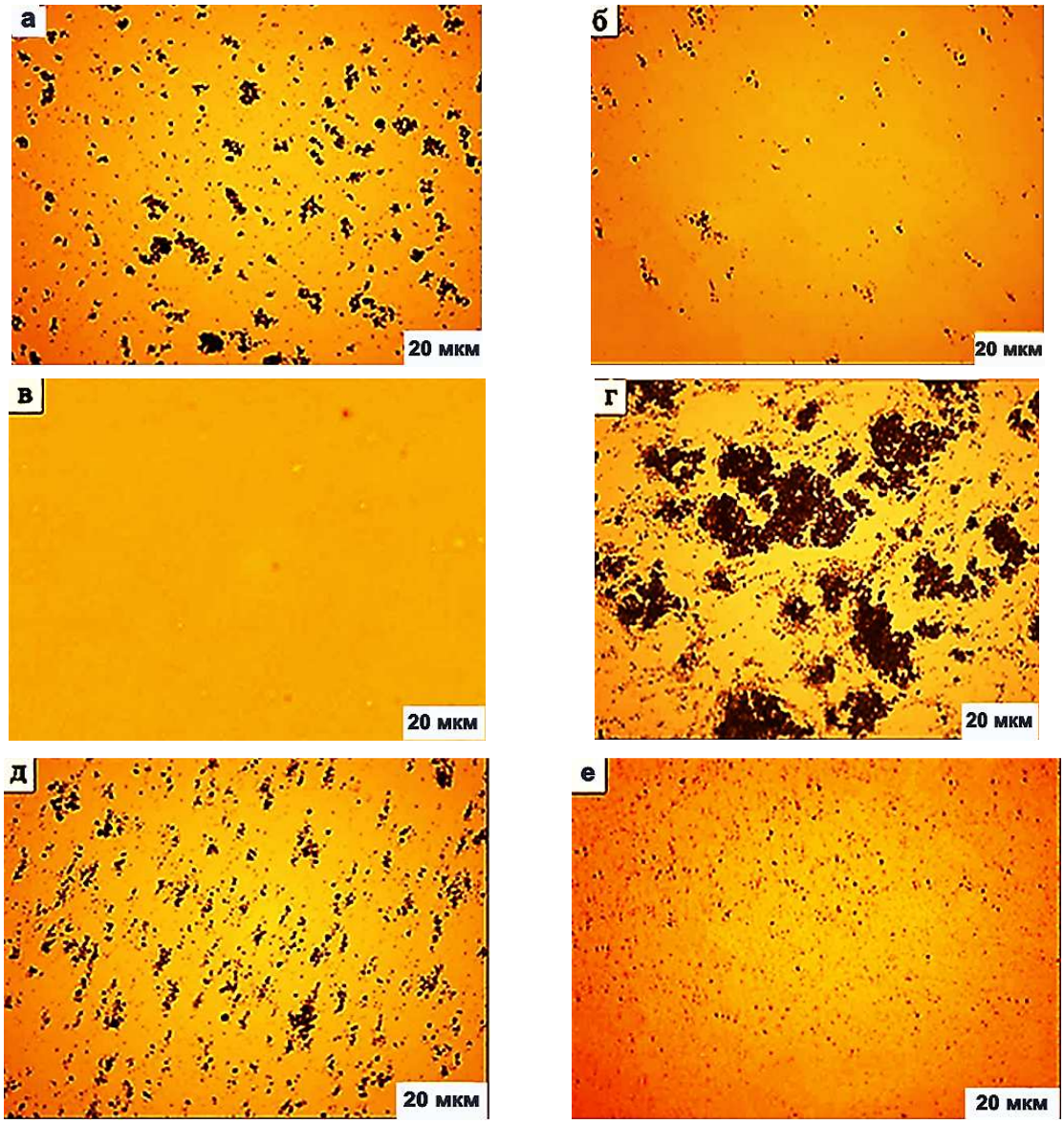


Рис. 1 – Жидкое стекло, содержащее ультрадисперсные модификаторы.
а: 60 мин. перемешивание на планетарной шаровой мельнице
б-в: 30 мин. и 60 мин. перемешивание на механокавитационной установке активаторного типа
г: 180 мин. перемешивание на планетарной шаровой мельнице
д-е: 30 мин. и 60 мин. перемешивание на механокавитационной установке активаторного типа

Диспергирование ультрадисперсных частиц в жидких растворах можно разделить на 3 стадии [9, 10]:
1) смачивание наночастиц;
2) дробление агрегатов частиц;
3) предотвращение коагуляции и выпадения в осадок в смесях.

На рисунке 1 показано изменение дисперсии наночастиц в жидком стекле со временем и в зависимости от способа смешивания. При механическом смешивании жидкого стекла с ультрадисперсными порошками образовывалось большое количество агломератов. Это объясняется адгезией частиц под действием сил Ван-дер-Ваальса. Из микроструктур следует, что раздробить агломераты наночастиц одним только перемешиванием на планетарной шаровой мельнице не удалось. Видно, что обработка на механокавитационной установке активаторного типа позволяет разложить все агломераты при увеличении времени перемешивания.

На основании проведённых исследований, можно сделать выводы:

1. При помощи механокавитационной установки активаторного типа ультрадисперсные порошки-модификаторы можно равномерно диспергировать в жидком стекле. Следовательно, в электродном покрытии обеспечить равномерное распределение модификаторов.
2. Предлагаемая технология изготовления сварочных электродов позволяет снизить расход жидкого стекла на 10%, что позволяет снизить себестоимость изготовления электродов.

Список литературы

1. Палиевская, Е. А., Сидлин, З. А. Проблемы сырьевой базы производства сварочных материалов // Сварочное производство. – 2009. – № 9. – С. 25 – 31.
2. Коротков, В.А. Исследование износостойкости твердых наплавочных материалов в производственных условиях. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – №1. – С.45-49.
3. Гежа, В.В. Пути повышения сварочно-технологических характеристик электродов с покрытием основного типа, предназначенных для сварки высокопрочных и хладостойких сталей / В.В. Гежа, А.П.Барышников, Л.В. Гриценко и др. // Вопросы материаловедения – 2000. – №1.– С.69-77.
4. Дзюба, О. В. Сварочно-технологические свойства новых низководородистых электродов для сварки магистральных трубопроводных / О. В. Дзюба, В. М Дзюба, А. А. Чуларис // Территория нефтегаз. – 2011. – №11. – С.68-70.
5. Makarov, S. V. Use of Complex Nanopowder (Al_2O_3, Si, Ni, Ti, W) in Production of Electrodes for Manual Arc Welding / S. V. Makarov, S. B. Sapozhkov // World Applied Sciences (Special Issue on Techniques and Technologies). – 2013. – Journal 22. – P. 87–90.
6. Дзюба, О. В. Активирование жидкого стекла для снижения количества диффузионно-подвижного водорода / Дзюба О. В., Дзюба В. М., Заболоцкий И. В. и др. // Сварка и диагностика. – 2011 – №6. – С.56-58.
7. Лозовой, В. Г. Целлюлозные электроды, некоторые особенности их изготовления и применения. / В. Г. Лозовой, О. В. Дзюба, В. М. Дзюба и др. // Сб. докладов IV международная конференция по сварочным материалам стран СНГ / – Краснодар, 2007. – С.69-75.
8. Дзюба, О. В. и др. Компонентозамещение в электродных покрытиях – эффективный путь снижения диффузионно-подвижного водорода и повышения качества сварных соединений / О. В. Дзюба, В. М. Дзюба, А. А. Чуларис // Сварочное производство. – 2011. – № 12. – С. 28-32.
9. Дзюба, О. В. и др. Электродиализ жидких стекол для повышения их силикатного модуля и улучшения реологических характеристик / О. В. Дзюба, В. М. Дзюба, С. А. Лоза и др. // Сб. докл. V международной конференции по сварочным материалам стран СНГ. – Киев, 2010. – С. 21-28.
10. Лозовой, В. Г. и др. Опыт применения российских импортозаменяющих электродов ЛБ-52TRU при сварке доменной печи Новолипецкого металлургического комбината / В. Г. Лозовой, О. В. Дзюба, В. М. Дзюба и др. // Сб. докл. V международной конференции по сварочным материалам стран СНГ. – Киев, 2010. – С. 63-78.

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

М.А. Кузнецов[1], к.т.н, М.А. Крампит[1], А.Г. Крампит[2], д.т.н., доц.
[1]Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, 8(38451)7-77-65
E-mail: kyznechik@mail.ru
[2]АО “НПП “Исток” им. Шокина”, 141190, г.Фрязино, Вокзальная ул., д.2а

В статье представлен анализ существующих способов аддитивного производства металлический изделий. Предложены уникальные пути их решения недостатков существующих способов с помощью

внедрения новых способов импульсно-дуговой наплавки с подогревом вылета электродной проволоки и системы автоматизированного отслеживания параметров и корректировка режимов сварки. Также рассмотрены расширение возможностей аддитивных технологий за счет введения ультра- и нано- дисперсных частиц в различные слои при послойном выращивании (прототипировании) изделия.

В современной промышленности все более актуальным становится изготовление металлических изделий сложной формы при помощи аддитивных технологий. Реализация процесса изготовления возможна за счет применения электродуговой наплавки. Наплавка концентрированным источником энергии при высокой производительности процесса, позволяет реализовать принцип аддитивного производства, а именно послойного формирования объемных конструкций.

На сегодняшний день существуют два технологических процесса создания металлических изделий. В первом случае формируется слой из порошка, насыпанного на рабочую поверхность, далее данный порошок обрабатывают лазером или другим источником нагрева. Во втором технологическом процессе материал подается непосредственно в место подведения источника энергии и производится построение фрагмента детали [1].

Также существуют технологические процессы получения металлических 3D-изделий, при которых происходит плавление присадочной (электродной) проволоки, но они применяются ни так часто. При данных способах используется ≥99% расплавляемой проволоки. Производство изделий по данному технологическому процессу производится при значительной экономии материала и последующих стадиях обработки [2, 3].

Этот процесс обеспечивает хорошее межатомное взаимодействие слоев и получение кристаллической решетки, а также защиту расплавленного электродного металла и наращиваемых слоев металлического изделия от образования оксидов. Однако данный процесс при его доступности и указанных выше достоинствах имеет ряд недостатков:

- большой размер зоны термического влияния (ЗТВ);
- возникновение внутренних остаточных напряжений вследствие перегрева.

Устранить данные недостатки можно двумя путями: отслеживать температуру получаемого изделия и корректировать режимы сварки исходя из повышения температуры; использовать производительные режимы импульсно-дуговой сварки с пониженным тепловложением.

Суть процесса заключается в наличие второго (дополнительного) контактного наконечника, который находится на расстоянии 140–390 мм от основного[4]. Транзисторный ключ передает ток паузы, который проходя через участок проволоки, нагревает его до температуры 550–650 °С. Ток паузы также поддерживает горения дуги и помогает формировать каплю расплавленного металла на торце электродной проволоки. Участок нагретой электродной проволоки служит сопротивлением, ограничивая ток до значения тока паузы. Коэффициент расплавления при этом увеличивается с 15÷20 до 35÷45 г/А·ч, а тепловложение в изделие снижается в 1,6 раз.

Для регулирования температуры электродной проволоки на контактный наконечник через теплоизоляционную проставку установлена контактная часть с температурным датчиком. Данные преобразует микроконтроллер, подавая сигнал на шаговый двигатель, который изменяет расстояние между контактными наконечниками, и на драйвер управления транзисторами, управляющими током паузы. Шаговый двигатель перемещает дополнительный контактный наконечник, меняя длину участка электродной проволоки и его сопротивление. Следовательно, изменяется сила тока паузы и температура нагрева проволоки. А изменяя скважность импульсов, происходит изменение среднего значения силы тока паузы. При этом наплавленный слой получается структурно однородным без изменения коэффициента расплавления.

Предлагаемые технические решения (подогрев проволоки) позволят уменьшить величину и длительность действия максимального тока в период отрыва и перехода расплавленной капли в зону плавления слоя.

Процесс импульсно-дуговой наплавки имеет большое количество различных параметров, поэтому для оптимизации режимов необходимо применять пакеты математического и физического моделирования.

Корректировка режимов осуществляется микроконтроллером. Корректировка режимов должна быть и предварительная, и сопутствующая. При предварительной корректировке происходит сканирование слоя по траектории последующей наплавки. Строится высотная карта поверхности. При отклонении каких либо участков происходит запись и последующая корректировка режима в данной точке, которая либо снижает скорость и заплавляет впадину, либо увеличивает скорость, что сглаживает выступ.

Также при наплавке (особенно при формировании тонкой стенки) возникает опасность перегрева изделия, а в некоторых случаях может даже привести к стеканию наплавленной стенки. Для

предотвращения этого необходимо снимать температуру по траектории перемещения горелки на небольшом расстоянии перед ней, для того, чтобы не было теплового воздействия дуги и система успевала отреагировать на изменения.

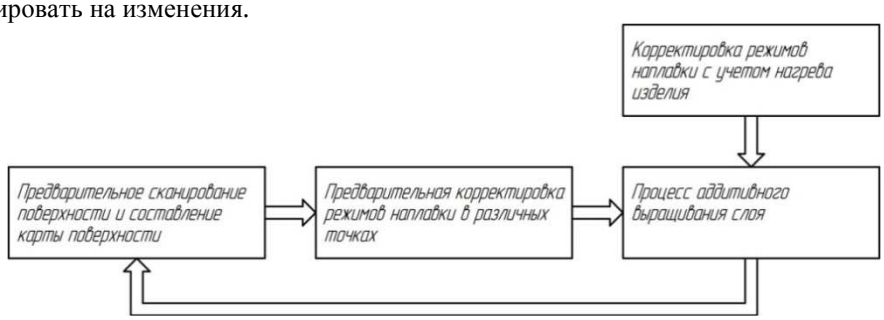


Рис. 1. Алгоритм аддитивного выращивания с предварительной и сопутствующей корректировкой режимов

Проект направлен на решение одной из основных задач в области 3D-печати, а именно на снижение тепловложения в металлические изделия, полученные электродуговым послойным выращиванием. Решение данной задачи приведет к уменьшению внутренних остаточных напряжений, получению более точной детали, измельчению структуры, а,следовательно к повышение прочностных характеристик и эксплуатационных свойств металлических изделий, полученных электродуговым послойным выращиванием. Результаты выполнения работы по проекту дополнят прорывные технологические решения, целью которых является повышение ресурса, живучести и эксплуатационной надежности металлических изделий, полученных электродуговым послойным выращиванием.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00036

Список литературы

1. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. Учебноепособие. – Санкт-Петербург, СПбГУ, 2013. – 221 с.
2. Ding D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Oct. 2015. – P. 465–481
3. Taminger K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (TheNetherlands): NATO. 2006. – P. 16.1–16.10.
4. Крампит М.А. Применение устройства с подогревом вылета электродной проволоки током паузы в аддитивном производстве // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 4-1. – С. 44-48; URL: http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41433 (дата обращения: 13.04.2018).

АНАЛИЗ ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ ОБРАЗОВ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ

С.Ю. Назаренко, аспирант, Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svetanaz@mail.ru

Для распознавания типовых дефектов сварных соединений – трещин и пор – использованы два алгоритма распознавания образов дефектов на цифровом радиационном изображении объекта. В работе вычислены значения критерия Кохрена, который применяется для проверки однородности дисперсий. Для всех рассмотренных случаев экспериментальное значение критерия Кохрена не превышает критическое значение, что говорит об однородности дисперсий и воспроизводимости экспериментов.

For recognizing typical defects of welded joints – cracks and pores – two algorithms for recognizing defects on a digital radiation image of an object are used. In this paper, the values of the Cochran test are calculated, which is used to check the uniformity of the variances. For all the cases considered, the experimental value of the Cochran test does not exceed the critical value, which indicates the homogeneity of variances and the reproducibility of the experiments.

Для контроля качества сварных соединений различного оборудования и конструкций широкое применение нашел радиационный метод неразрушающего контроля. Одним из методов радиационного контроля, используемого для обнаружения дефектов, является радиографический метод. Радиографический метод контроля качества материалов основан на преобразовании радиационного изображения объекта в радиографический снимок, представляющий собой распределение плотности почернения на рентгеновской пленке и фотопленке [1]. Проходя дефекты сварных швов, рентгеновские лучи теряют первоначальную интенсивность и вследствие этого проявляются на полученных рентгеновских снимках в виде темных пятен. Часто визуальный анализ снимков недостаточно эффективен и удобен, поэтому снимки обрабатывают и исследуют на компьютере, для чего помимо рентгеновского аппарата используют систему визуализации — камеру, подключенную к персональному компьютеру с установленной на нем программой для ее контроля, а также для анализа и обработки изображений. Для обработки изображенийи идентификации дефектов сварных соединений могут быть использованы различные алгоритмы распознаванияобразов. При этом повышение достоверности результатов обработки изображений достигается путем проведения ряда параллельных опытов с последующей проверкой воспроизводимости экспериментов.Соответствие экспериментального распределения случайной величины предполагаемому теоретическому закону распределения можно оценить с помощью нескольких критериев, одним из простейших является критерийКохрена.

Целью данной работы является статистическая обработкарезультатов экспериментов по распознаванию образов дефектов на цифровомрадиационном изображениисварного соединения с помощью двух алгоритмов автоматического распознавания образов. Статистическая обработка включала в себя проверку воспроизводимости экспериментальных результатов по критерию Кохрена.

Описание двух алгоритмов распознавания образов нацифровых радиационных изображениях объекта контроля представлено в работе [2]. Согласно первому алгоритмупроводится сегментация исследуемогоизображения путем его предварительной фильтрации с последующей бинаризацией и распознаванием максимальной и минимальнойосей инерции сегмента. Второй алгоритма заключается в сегментации исследуемого изображения с использованием процедуры кумулятивных сумми применении правила, основанного на теоретико-множественном подходе. В качестве образов дефектов сварки рассматривались два типа дефектов –трещины (непровары) и поры, которые моделировались простыми геометрическими фигурами – прямоугольником и кругом.

Тестирование алгоритмов по распознаванию образов было проведено на изображении размером 300×300 пикселей. На каждом таком изображении генерировались два объекта – прямоугольник и круг. Площадь *S*и зашумление генерируемых объектов менялись (ОСШ – среднеквадратическое значение шума). Для каждого набора параметров объекта и шума было проведено моделирование 100 изображений. Каждое из 100 сгенерированных изображений подвергалось обработке и анализу двумя алгоритмами распознавания.Результаты обработки изображений в зависимости от площади генерируемого объекта *S*и среднеквадратического значения шума ОСШ представлены в таблицах 1 и 2. Верхнее число в ячейке представляет собой вероятность правильного распознавания геометрической фигуры, а нижнее число – вероятность неправильного распознавания. Каждому значению ОСШ соответствуют две колонки: в левой колонке содержатся вероятности распознавания прямоугольника, а в правой колонке – вероятности распознавания круга. Если ячейка содержит только нуль, то это означает равенствонулю вероятности правильного распознавания для обеих фигур.

Таблица 1

Результаты обработки тестовых изображений по первому алгоритму

S	ОСШ								
	1,5	2		2,5		3		4	
12	0	0		3 1	1 1	29 57	28 57	34 66	56 44
24	0	3 1	2 4	33 5	24 16	96 3	66 33	99 3	91 9
48	0	19 0	10 7	61 2	49 14	100 0	93 6	100 1	95 9
75	0	18 2	15 5	79 1	73 4	100 0	98 1	100 0	99 1
108	0	30 4	27 5	87 2	87 2	100 0	98 2	100 0	100 0

Таблица 2

Результаты обработки тестовых изображений по второму алгоритму

S	ОСШ									
	1,5		2		2,5		3		4	
12	51 2	7 33	67 14	33 27	66 29	47 17	80 17	41 9	83 17	83 6
24	72 0	12 49	85 4	43 33	92 2	55 23	96 1	64 14	100 0	83 7
48	82 3	33 44	90 4	64 19	98 1	86 7	99 0	97 3	100 0	100 0
75	96 4	39 51	100 0	72 23	100 0	92 6	100 0	98 2	100 0	100 0
108	94 6	89 11	100 0	95 5	100 0	97 3	100 0	100 0	100 0	100 0

Проанализируем полученные результаты обработки изображенийс помощью критерия Кохрена. Для каждой серии параллельных опытов вычислим среднее арифметическое значение функции отклика.

$$\overline{y_j} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} y_{ij,j=1..N},$$

где k – количество параллельных опытов, проведенных при одинаковых условиях.

Далее вычисляем оценку дисперсии для каждой серии параллельных опытов:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1}\sum_{i=1}^{k}(y_{ji} - \overline{y_j})^2.$$

Для проверки воспроизводимости опытов найдем отношение наибольшей из оценок дисперсий к сумме всех оценок дисперсий:

$$G = \frac{max s_j^2}{\sum_{j=1}^{N} s_j^2}.$$

Это соотношение называется расчетным значением критерия Кохрена. Оно соответствует доверительной вероятности p = 0,95 и сравнивается с табличным значением критерия Кохрена. Величина (1 – p) называется уровнем значимости. Для нахождения табличного значения критерия Кохрена G необходимо знать общее количество оценок дисперсий N и число степеней свободы f, связанных с каждой из них, где f = k – 1. Если вычисленное по данным эксперимента значение G экменьше критического значения G, то гипотезу об однородности выборочных дисперсий можно считать справедливой.

Статистическую обработку результатов моделирования проводили с помощью программы Excel [3].Для примера представим в таблицах 3 и 4 результаты анализа для распознаваемого объекта – прямоугольника, полученныедлядвух алгоритмов распознавания образов. Аналогичным образом проведена обработка результатов для распознаваемого объекта – круга.

Таблица 3

Результаты анализа для распознаваемого объекта– прямоугольника, полученные для первого алгоритма

№ опыта, j	Площадь объекта S	Количество распознанных объектов, %					Среднее значение	Дисперсия
		ОСШ 1,5	ОСШ 2	ОСШ 2,5	ОСШ 3	ОСШ 4		
1	12	0	0	3	29	34	13.2	283,7
2	24	0	3	33	96	99	46,2	2360,7
3	48	0	19	61	100	100	56	2100,5
4	75	0	18	79	100	100	59,4	2230,8
5	108	0	30	87	100	100	63,4	2092,8

Сумма дисперсий для данных экспериментальных результатов равна 9068,5, а расчетное значение критерия Кохрена $G_{эк}$ равно 0,26.

Таблица 4

Результаты анализа для распознаваемого объекта – прямоугольника, полученные для второго алгоритма

№ опыта, *j*	Площадь объекта *S*	Количество распознанных объектов, %					Среднее значение	Дисперсия
		ОСШ 1,5	ОСШ 2	ОСШ 2,5	ОСШ 3	ОСШ 4		
1	12	51	67	66	80	83	64,4	163,3
2	24	72	85	92	96	100	89	121,0
3	48	82	90	98	97	100	93,4	54,8
4	75	96	100	100	98	100	98,8	3,2
5	108	94	100	100	100	100	98,8	7,2

Сумма дисперсий для экспериментальных результатов из таблицы 4 равна 349,5, а расчетное значение критерияКохрена$G_{эк}$равно 0,47.

Найдем по таблице [4] критическое значение критерия КохренаGи сведем результаты статистической обработки экспериментов по распознаванию образов дефектов сварного соединения в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты статистической обработки результатов экспериментов по распознаванию образов дефектов сварного соединения

Номер вычисления	Распознаваемый объект	Алгоритм	$G_{эк}$	*G*
1	прямоугольник	1	0.26	0.544
2	прямоугольник	2	0.47	0.544
3	круг	1	0.26	0.544
4	круг	2	0.27	0.544

Максимальная величина $G_{эк}$ = 0,47 получена для распознаваемого объекта – прямоугольника при использовании для распознавания образа дефекта второго алгоритма. Так как экспериментальные значения критерия Кохрена $G_{эк}$ не превышают критического значения, то можно сделать вывод об однородности дисперсийи воспроизводимости экспериментов.

Список литературы

1. Кулешов В.К., Сертаков Ю.И., Ефимов П.В. Физические и экспериментальные основы радиационного контроля и диагностики. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 341 с.
2. Воробейчиков С.Э., Фокин В.А., Удод В.А., Темник А.К. Исследование двух алгоритмов распознавания образов для классификации дефектов в объекте контроля по его цифровому изображению // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 54 – 63.
3. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. – 464 с.
4. Большаев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большаев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 474 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

С.А. Солодский, к.т.н., доцент, С.В. Стаценко, студент гр. 17Г51
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт, Томск, Россия.
serdgio80@inbox.ru

Представлена новая технология низкочастотной модуляции тока дуги при MAG, MIG-сварке. Процесс обеспечивает управление тепловыми и кристаллизационными процессами, стабилизирует время

образования и кристаллизации сварочной ванны. Проведение теоретических исследований позволило сформулировать основные критерии получения прочных неразъемных соединений для создания конструкций ответственного назначения, создавая условия для получения более равновесной структуры наплавленного металла и меньшей ширины зоны термического влияния. Стабилизация времени образования и кристаллизации сварочной ванны способствует улучшению формирования сварного шва и повышению производительности труда при сварке тонколистовых металлов.

Непрерывный поиск и совершенствование промышленных производств новых перспективных марок сталей, настоятельно требуют разработки и всестороннего исследования по наиболее эффективному применению новых технологических решений в области сварочного производства, которые бы значительно расширили границы возможностей как традиционных источников нагрева (дуга, плазма, лазерное излучение), так и их гибридного сочетания, применительно к созданию неразъемных соединений из перспективных марок сталей [1-3].

Такие возможности открывают импульсные технологические процессы сварки и наплавки [4-7]. Проявляемый интерес к разработке импульсных процессов сварки и наплавки вполне оправдан, поскольку, по сравнению со стационарными, они обеспечивают [7, 8, 9]: правление процессами плавления, переноса и кристаллизации металла, управление скоростью кристаллизации сварочной ванны, уменьшение степени деформационных процессов в сварных конструкциях, наплавленных поверхностях, повышение механических свойств получаемых сварных конструкций, связанных со значительным уменьшением зоны термического влияния и измельчением ее структуры.

Опыт строительства и эксплуатации металлоконструкций ответственного назначения в условиях Крайнего Севера показал, что наиболее интенсивно их сооружение происходит в зимний период, когда труднопроходимые территории, становятся доступными для транспорта и всей сварочно-монтажной техники. Однако, производство сварочных работ в зимнее время имеет свои объективные особенности, связанные с отрицательной температурой воздуха, наличием ветров и обильных снегопадов, которые оказывают существенное влияние на качество сооружаемых конструкций. [10]

Характер изменения скорости охлаждения с понижением температуры при малых значениях критических скоростей охлаждения для некоторых сталей повышенной прочности показывает возможность получения структуры закалки в зоне термического влияния сварного шва и закалочных трещин [11]. В связи с этим, возникает необходимость управлять кристаллизационными процессами формирования шва.

Технически это достигается управлением двумя параметрами: температурой нагрева и, самое важное, временем пребывания и своевременным переходом металла шва из одного структурного состояния в другое, согласно диаграммы "Железо − Углерод". Таким образом, для получения равновесной, близкой к основному металлу, для управления структурно-фазовым состоянием в металле сварного шва, необходимо управлять временем кристаллизации согласно циклам диаграмм фазового состояния. Это возможно реализовать импульсно-дуговыми сварочными процессами на частотах от 0.25 до 5 Гц, получившими в России название "низкочастотная модуляция тока дуги" [4,11].

Управление температурным режимом кристаллизации возможно только током дуги в чередующихся с заданной частотой и скважностью циклах импульса и паузы. Например, широко известен способ сварки с низкочастотной модуляцией тока дуги во время паузы, который реализуется за счет снижения сварочного тока до дежурного тока дуги, для процесса кристаллизации сварочной ванны [8]. Но данный способ применяется при ММА-сварке, в этом случае сварка ведется на жестком участке вольтамперной характеристики (ВАХ) дуги, от источника питания с крутопадающей внешней вольтамперной характеристикой, что позволяет модулировать сварочный ток параметрами самого источника питания [12].

В процессах MAG сварки с постоянной скоростью подачи электрода имеет свои ограничения, связанные с возможным «окунанием» проволоки в сварочную ванну. В основном это может происходить при больших длительностях паузы, когда скорость плавления резко уменьшается, а скорость подачи электродной проволоки остается на прежнем уровне. Модуляция тока и напряжения в этом случае возможна только в узком диапазоне изменения энергетических параметров режима, когда на интервале импульса длина дуги увеличивается, но не до разрывной, а на интервале паузы сокращается, но до «окунания» проволоки в сварочную ванну. Данный подход позволяет плавно изменять, но не управлять током паузы, что не обеспечивает четкого управления скважностью импульсов [13,14].

Для получения стабильного процесса с низкочастотной модуляцией тока дуги при MAG сварке разработан способ сварки, принцип которого поясняется циклограммой, представленной на рис. 1.

Для формирования сварочной ванны процесс сварки ведется с постоянной подачей сварочной проволоки на возрастающей вольтамперной характеристике дуги и жесткой внешней вольтамперной

характеристике источника питания до образования сварочной ванны заданного объема (период T1cycle "Pulse" на рис. 1 и рис.2). Далее, для кристаллизации сварочной ванны, наступает момент "паузы", движение сварочной проволоки останавливают, а процесс горения дуги переводят на жесткую ВАХ дуги и внешнюю крутопадающую ВАХ источника питания (период T2cycle "Pause" на рис. 1 и рис.2).

Данный подход с одновременной остановкой сварочной проволоки, позволяет управлять временем паузы и увеличивает диапазон регулировки тока дуги за счет управления наклоном ВАХ источника питания. В связи с этим должны выполняться следующие условия:

1. время паузы должно обеспечивать кристаллизацию 0,75 части объема;
2. время паузы должно обеспечивать непрерывность горения дуги (во время горения малоамперной дуги не должно произойти обрыва дуги вследствие чрезмерного расплавления вылета электрода. Это достигается введением канала обратной связи по току дуги и переходом источника питания на падающую ВАХ.

Материал и методы исследования.

Для определения влияния исследуемого способа сварки на микроструктуру сварного соединения получены макро- и микроструктуры методом оптической металлографии с использованием оптического микроскопа Olympus GX-71. Процесс сварки − MAG, сварочная проволока Св08ГСМТ диаметром 1.2 мм, напряжение источника сварки −22 В, ток в импульсе −220 А, в паузе − 50 А. Частота циклов−1.1 Гц, скважность−1.25. Процесс сварки производился при температуре окружающей среды: −15 С.

Исследование микроструктуры сварного шва образцов С17 из стали 09Г2С (труба 159х6).

Исходная структура стали 09Г2С в состоянии поставки феррито – перлитная. Перлит распределен равномерно (рис. 3 а, б). Количество и характер расположения перлита соответствуют баллу 1В по ГОСТ 5640-68.

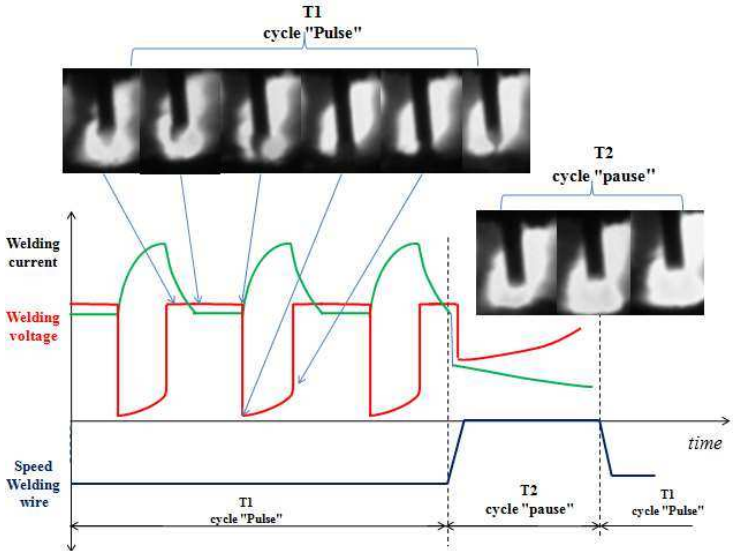


Рис. 1. Циклограмма процесса сварки.

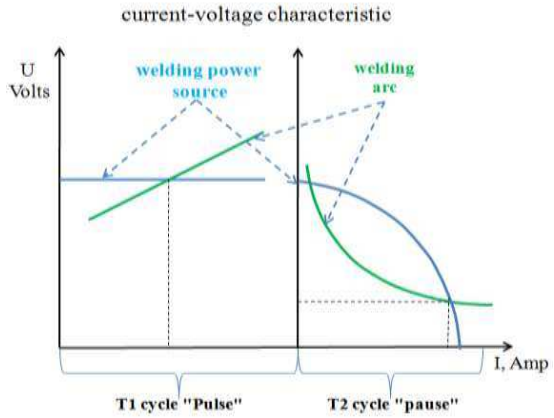


Рис. 2. Зависимость вольтамперной характеристики дуги и источника питания на различных интервалах цикла сварки.

Анализ микроструктуры образца при сварке с низкочастотной модуляцией тока, показывает, что зона термического влияния имеет феррито-перлитную структуру. Зерна феррита имеют субмикрокристаллическое строение, феррит переходит в сорбитообразный, Структура наплавленного металла шва – феррито – перлитная. В зоне сплавления металла шва и основного металла исчезает видмандштеттовая структура в шве и в области основного металла, прилегающего к шву, за счет

Отличия, полученные в проведенном исследовании микроструктур сварного шва, можно объяснить различным характером изменения скорости охлаждения в интервале критических температур фазовых превращений при вторичной кристаллизации (в твердой фазе).

Выводы:

1. Применение падающей характеристики источника питания на интервале паузы (этап остывания металла сварочной ванны и частичной её кристаллизации), позволяет увеличить длительность этого интервала, что положительно сказывается на процессе сварки. Снижение тока на интервале паузы до минимального, обеспечивает частичное остывание изделия, что способствует авто термообработке зоны сварного соединения.
2. Стабилизация длительностей интервалов плавления (импульс) и кристаллизации сварочной ванны (пауза), способствует улучшению формирования сварного шва и увеличению скорости кристаллизации металла шва из расплава.
3. Предлагаемая технология MAG учитывает влияние длительностей интервалов плавления и кристаллизации металла сварочной ванны на формирование и её теплосодержание, что способствует наиболее благоприятным структурно-фазовым превращениям в зоне неразъемного соединения.

Список литературы

1. Saraev Yu.N., Lebedev V.A., Solodsky S.A. The development and practical application of adaptive pulse-arc welding in the manufacturing and repair of metal structures responsible function // Applied Mechanics and Materials. Vol. 682 (2014). Pp. 332-338. Submitted: 07.07.2014. Online available since 2014/Oct/27 at www.scientific.net Accepted: 31.07.2014 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.682.332.
2. Патон Б.Е. Критический анализ существующих представлений о саморегулировании дуги при сварке плавящимся электродом / Б.Е. Патон, В.С. Сидорук, С.Ю. Максимов, Ю.Н. Сараев // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т.3, №4. – С. 38-47.
3. Chinahov D. A. Study of thermal cycle and cooling rate of steel 30ХГСА single-pass weld joints // Applied Mechanics and Materials. – Vols. 52-54. – 2011. – p. 442-447. - Mode of access: http://www.scientific.net/AMM.52-54.442.
4. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. Новосибирск, Наука, 1994, 108 с.
5. Сараев Ю.Н. Особенности разработки электротехнологических процессов сварки и наплавки на основе алгоритмов адаптивного импульсного управления энергетическими параметрами режима // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т.3, №3. – С. 3-11.
6. Вагнер Р.А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой. М.: Энергия,1980,120 с.
7. Лебедев В.А., Сараев Ю.Н. Импульсные воздействия на процессы сварки и наплавки за счет систем механизированного и автоматического оборудования // Сварочное производство. – 2015. – № 5. – С. 34-44.
8. Saraev Yuri Evaluation of the productivity and quality of repair and reconditioning operations in equipment made of 12CR18N10T1 type steel // Saraev Y., Selivanov Y. – Welding International, 2012, T.26, p.p. 466-470.
9. Saraev, Yury The development and application of adaptive pulse-arc welding methods for construction and repair of pipelines. Group Author of books: IEEE Conference: International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). Locality: Tomsk, RUSSIA, published: OCT. 16-18, 2014 Sponsors: Inst Elect Engineers; Russian Fdn. Basic Res; Tomsk Polytechnic university Tomsk IEEE Chapter; Tomsk Polytechnic university, Institute of Physics high-Tech 2014, Pp. 1-5. Print ISBN: 978-1-4799-6220-4. DOI: 10.1109 / MEACS.2014.6986956. Published: 2015.
10. Зайцев М.П., Кулешов О.М. Средства автоматизации в оборудовании для другой сварки // Л.: Энергия, 1975. – 144 С.
11. Сараев Ю.Н. Опыт разработки и практического применения адаптивных импульсно-дуговых методов сварки для строительства и ремонта магистральных трубопроводов // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 210-219.

12. Chinakhov D.A., Agrenich E.P. Computer simulation of thermo-mechanical processes at fusion welding of alloyed steels // Materials Science Forum. – Vols. 575-578 (2008). – Pp. 833-836.
13. Патент на изобретение № 2293630 (РФ). Способ механизированной сварки в СО 2 с низкочастотной модуляцией сварочной ванны. Федько В.Т., Брунов О.Г., Солодский С.А., Крюков А.В., Седнев В.В. Приоритет изобретения 14 июля 2005 B23K 9/33. Опубликованно 10.04.2007. Бюл.№10.
14. Solodskii S.A, Brunov O.G., Zelenkovskii A.F. Automated system for controlling the process of co2 welding with pulsed wire feed and welding current modulation. Welding International. 2012. Т. 26. № 4. p. 314 − 317.
15. Brunov O.G., Fedko V.T., Solodskii S.A. Transfer of electrode metal in welding with the pulsed feed of welding wire. Welding International. 2007. Т. 21. № 1. С. 50−54.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ШНЕКОВ

К.В. Епифанцев, к.т.н, доц., В.В. Кульбик студент гр. 7532ВЦ,
Епринцев В.А.студент гр. 1612
Санкт-Петербургский государственный университет
Аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67,
тел. 8(963)343-7759, E-mail: epifancew@gmail.com

Шнек – основной рабочий органи машин для переработки отходов – экструдеров. От качества его изготовления зависит производительность цеха и целостность корпуса машины. При переабоке многокомпонентного сырья, которым является Refuse Derived Fuel – это общее название альтернативных видов топлива, получаемых при переработке отходов. В качестве сырья используется практически любой органический материал: целлюлоза, резина, пластик, кожа, дерево, пищевые заменители. В исследовании использован пример на базе работы с RDF-сырьем Мусороперерабатывающего комбината «Янино, Ленинградская область. Именно при работе с такими высокоабразивными отходами возникает необходимость многократно повышать ресурс шнеков за счет использования новых технологий обработки металлов, так как в составе данного сырья могут встречаться металлические компоненты и трудноразмалываемые силикаты.

Screw - the main working organ of machines for processing waste - extruders. From the quality of its production depends the productivity of the shop and the integrity of the machine body. When refining a multicomponent raw material, which is Refuse Derived Fuel - this is the general name for alternative fuels obtained from recycling. As raw material, almost any organic material is used: cellulose, rubber, plastic, leather, its substitutes. The study used an example based on work with RDF-raw materials of the Janino Refuse Processing Plant. Leningrad region. It is when working with such highly abrasive waste that it becomes necessary to increase the service life of screw augmentedly by using new processing technologies, since metal components and hard-to-break silicates can occur in the composition of this raw material.

При моделировании экструдеров для переработки отходов большое внимание уделяется проектированию и испытанию работы шнека – основного рабочего органа, участвующего в процессе измельчения, разогрева и подготовки к формообразованию пластичной массы.

Шнек сжимает массу до точки накопления т. Рп, после которой, возникает возможность создать давление р1, необходимое для прохода массы через матрицу (рис. 1). Только тогда, когда есть баланс с обеих сторон экструдера, масса может выходить из фильер матрицы. Однако, если условно разбить экструдер на 4 зоны работы, в момент нарастания давления Р, МПа и возникновения максимальной загрузки шнека р кг/м3 создается максимальная площадка давления (на рис 1 зона «2»), которая способна деформировать шнек.

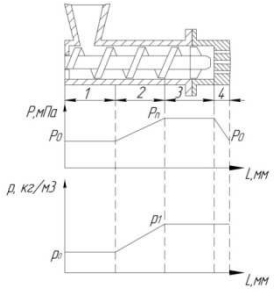


Рис. 1. Схема функционирования экструдера

В шнековой машине увеличение расхода массы требует увеличения скорости шнека, и соответствующего увеличения загрузки шнека материалом. При этом давление (рис. 1) повышается до P_n, поскольку увеличенные скорости подачи приводят на той же самой матрице к увеличенному трению в фильерах матрицы, что неблагоприятно сказывается также как максимально абразивный участок для витков шнека. При технологии изготовления шнека – сварке витков к валу с помощью сварки в CO_2 наблюдались трещины и отслоения витков шнека

Рис. 2. Дефекты шнека - разрывы

В ходе проведения операции по формованию RDF сырья было принято что на шнек экструдера действуют следующие нагрузки: крутящий момент на валу муфты, создаваемый двигателем - 5000 Н.

Температура нагрева сырья внутри экструдера достигает 500 С°. Необходимо определить зоны с наибольшим скоплением нагрузки, перемещения, деформации.

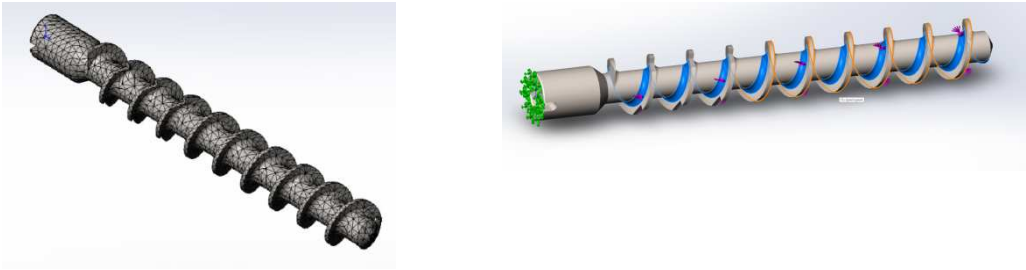


Рис 3. Шнек. Разбиение на сетку и указаниемсилы действия на шнек.
На выделенном участке действие силы в размере 5 000 Н.

Таблица 1

Результаты трехмерного моделирования и испытаний в Solid Works

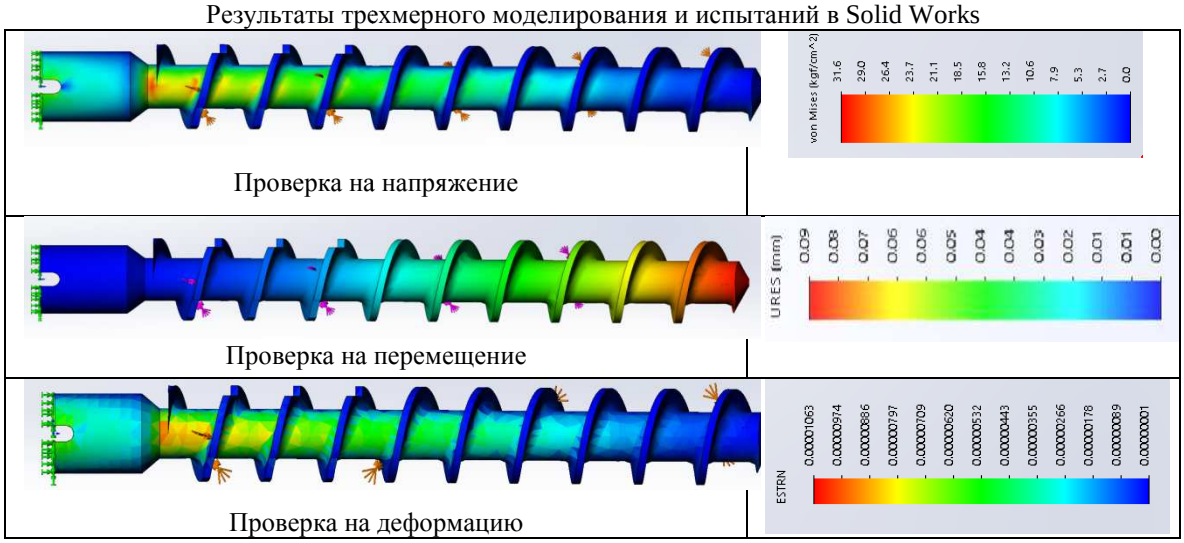
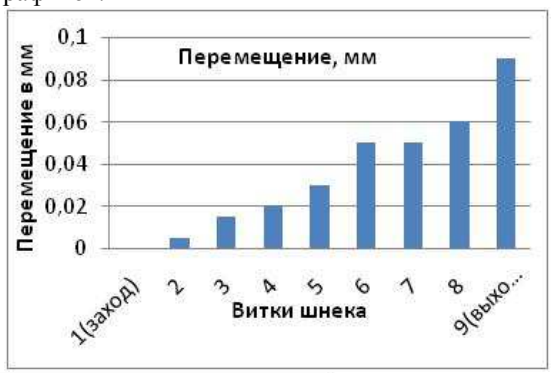


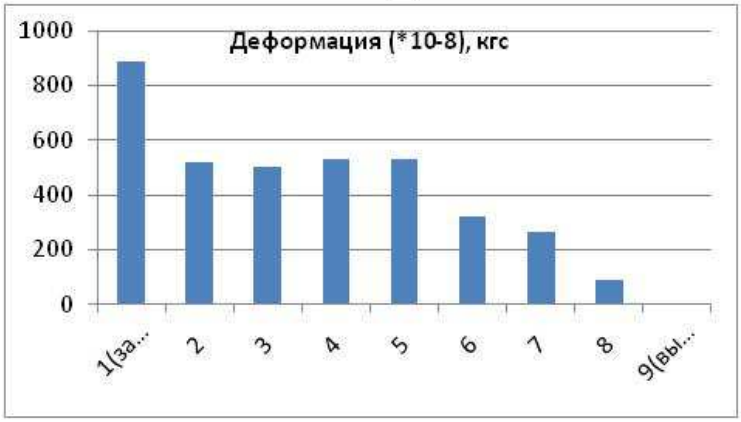
Таблица 2

Результаты испытаний

Витки на шнеке	1(заход)	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряж, кг/см2	26,4	16	15,8	13,2	10,6	7,9	5,3	2,7	0
Перемещ, мм	0	0,005	0,015	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,09
Деформация, кгс	$886 \cdot 10^{-8}$	$520 \cdot 10^{-8}$	$500 \cdot 10^{-8}$	$530 \cdot 10^{-8}$	$532 \cdot 10^{-8}$	$320 \cdot 10^{-8}$	$266 \cdot 10^{-8}$	$89 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-8}$

Результаты испытаний представим в виде наглядных графиков.





Таким образом, Напряжение и деформация обратнопропорциональны премещению, что доказывает максимальный коэффициент давления на шнеки в данной области. Следовательно, 7 и 8 витки необходимо проваривать с доплонительным ребром жесткости с целью компенсации напряжений.

Список литературы

1. Чистый, И. Н., 1980. Производство гранулированного торфа. Минск. 420 с.
2. Kocserha, I. Effects of Extruder Head's Geometry on the Properties of Extruded Ceramic Products / I. Kocserha, F. Kristály // Materials Science Forum. Vol. 659 (2010) pp. 499-504.
3. Богатов, Б.А. Управление процессом разработки торфяных месторождений. / Мн.:Выш. шк., 1985. 168 с.
4. Косов, В.И. Торф и сапропель - мощный энергетический и геоэкологический потенциал России. Разведка, добыча, переработка полезных ископаемых / В.И. Косов. – Вестник XXI, РАЕН, М.: Интермент Инжиниринг, 2005.– С.212-223.
5. Benbow, J. Paste Flow and Extrusion / J. Benbow, J. Bridgwater // Clarendon Press, Oxford U.K., 1993. 425 p.
6. Nikulin, A.N. The research of possibility to use the machine for biofuel production as a mobile device for poultry farm waste recycling / A.N. Nikulin, S.V. Kovshov, K.V. Epifancev, G.I. Korshunov // Life Science Journal, 2014; 11(4) Pp. 464-467.
7. Epifancev, K. Modeling of peat mass process formation based on 3D analysis of the screw machine by the code YADE / K. Epifancev, A. Nikulin, S. Kovshov, S. Mozer, I. Brigadnov // American journal of mechanical engineering. 1(3). 2013. Pp. 73-75.

8. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты/ Пер. с англ. яз.; Под ред. В.П. Володина. – СПб.: Прфессия, 2007. – 472 с.
9. White J.F., Clavel A.L.Extrusion Properties of Non-clay Oxides //Amer. Ceram. Soc. Bull. 1963. Vol. 42, №11. P. 698-702.
10. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии: Учебное пособие для вузов. — Калуга: Изд. Н. Бочкаревой, 2002.-592 с.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Д.Е. Гусаров, студент группы 10А42,
научный руководитель: Зернин Е.А.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В данной статье рассмотрено применение наноструктурированных материалов в сварочном производстве.

Двадцатый век - это время перехода от машинно-технической революции к научно-технической, что говорит об использовании наукоемких технологий как о начале существовании промышленности. На заре третьего века значимая база существования промышленности перешла на использование высокотехнологичных процессов.

Сварка представляет собой процесс, который позволяет путем нагрева поверхностей материалов создать неразъемное соединение [1].

Оборудование и технология сварочного производства включают в себя современные разработки способов сварки. Этот процесс активно используется во всех промышленных сферах, сварка ведется с любыми материалами – металлом, пластиком и керамикой [2].

Конечным продуктом сварочного производства являются сварные конструкции. Большинству металлоконструкций приходится работать в условиях ударного, повторного и знакопеременного нагружения, в диапазоне положительных и отрицательных температур, а так же в коррозионно-активных средах. Изобретение долговечных и надежных сварных конструкций, работающих в различных эксплуатационных условиях, является одной из значимых научно-технических задач. Как правило, разрушение сварных конструкций в первую очередь начинается рядом со сварным швом, это доказывает то, что зона термического влияния по прочностным и эксплуатационным характеристикам уступает основному металлу. Для получения равнопрочного соединения и повышения ресурса, и эксплуатационной надёжности сварного соединения возможно использование наноразмерных материалов. Поскольку использование наноразмерных материалов в производстве мало изучено, то актуальностью работы стоит вопрос о использовании нанопорошков при получении сварочных материалов, а именно, при изготовлении порошковой проволоки [3].

Нанотехнологии – это новейшее направление науки и технологии, которые активно развиваются в последние десятилетия. Нанотехнологии включают создание и использование технических систем и устройств, материалов, функционирование которых зависит от наноструктуры, т.е. ее упорядоченными частицами величиной от 1 до 100 нанометров. С наступлением XXI столетия невероятно быстрое развитие получили нанотехнологии и наноматериалы, которые используются в более важных областях деятельности человека, во всех ведущих странах планеты. Большое количество научных трудов, опубликованных по теме, связанной с нанодисперсными материалами, анализ роста финансовых вложений в данную область, демонстрируют высокую значимость нанотехнологий и наноматериалов, которые в ближайшие десятилетия будут являться одним из основных факторов научного, оборонного, и экономического развития страны [4].

В число основных потребителей наноразмерных материалов входит машиностроение, в котором проводится внедрение техники и технологий нанесения износостойких покрытий, большое внимание уделяется нанодисперсной продукции и оборудованию для обработки деталей с нанометровой точностью. Улучшение показателей каества при этом может быть получено как [9] за счет соответствующих режимов так и посредством внедрения нанодисперсных добавок.

Применение порошковой проволоки при наплавке с шихтой, содержащей определенные компоненты, позволяет модифицировать наплавляемый металл компонентами, содержащимися в шихте проволоки и позволяет получить наплавленный металл равномерным распределением избыточных фаз [5] и с мелкозернистой структурой, что обеспечивает нам его повышенную износостойкость [5].

На данный момент в современном машиностроении актуальным является вопрос об исследовании влияния нанодисперсных карбидов на механические свойства наплавленного металла. Нанодисперсные тугоплавкие соединения предполагается вводить в наполнитель порошковых проволок, которые применяются при наплавке деталей подверженных абразивному износу, при сварке и наплавке теплоустойчивых сплавов и обеспечивают получение наплавленного металла с необходимыми свойствами. Испытания наплавленного металла на термостойкость свидетельствуют о том, что применение в наполнителе порошковых проволок нанодисперсных тугоплавких соединений увеличивает термическую стойкость наплавленного металла - увеличивается количество циклов нагрев-охлаждение до появления и развития сетки трещин разгара [9]. Испытание на сопротивление абразивному износу показывают, что образцы, полученные с применением порошковой проволоки с определенным составом шихты, более износостойки, по сравнению с образцами, изготовленными стандартной порошковой проволокой [6].

Актуальной задачей на сегодняшний день в машиностроении стоит получение новых высокопрочных сварочных материалов, которые могли бы обеспечивать работу в экстремальных условиях при термических и силовых воздействия. Известно, что модифицирование наплавленного металла и литых сплавов наночастицами тугоплавких химических соединений способствует повышению их эксплуатационных и технологических свойств [5]. Поэтому внедрение в сварочную ванну порошков с добавлением наночастиц тугоплавких соединений получает все большее развитие при наплавке и сварке.

Так, например, в работе Соколова Г.Н. были использованы порошки карбонитрида титана TiCN в качестве наноразмерных компонентов, вводимых в состав наполнителей композиционных и порошковых проволок при наплавке, с размером зерен от 80 до 500 нм. Для транспортировки наночастиц в сварочную ванну служили микрочастицы порошка никеля (99,9%) размером до 60 мкм, входящие в состав шихты порошковой проволоки. Внедрение наночастицTiCN в частицы Ni осуществляли при их совместной обработке в планетарной мельнице, после которой были получены композиционные никелевые гранулы. Доля наночастиц в композиционных никелевых гранул составляла 30 масс.% для TiCN [5]. Были изготовлены композиционные и порошковые проволоки с оболочкой из стали 08кп и диаметром 3 миллиметра с добавкой полученных порошков с содержанием наночастиц 0,1-0,6%. Методом электрошлаковой наплавки с применением фторидного флюса АНФ-6 аргонодуговой сваркой был наплавлен слой металла из изготовленной проволоки на основе железа: азотосодержащий термостойкий сплав 15Х15Н4АМ3 [7].

Электронно-микроскопические исследования сплава 15Х15Н4АМ3 показали, что в аустенитно-мартенситной структуре, полученного аргонодуговой наплавкой с применением порошковой проволоки с добавлением тугоплавких нанодисперсных частиц TiCN, значительно возрастает количество и повышается однородность распределения интерметаллидов сферической формы размером от 0,5 до 1,5 мкм. При этом средний размер в 2,5 раза уменьшается [5] по сравнению с исходной структурой, в то время как стойкость к растрескиванию и деформации при термоусталостных испытаниях увеличивается [5].

Улучшение механических свойств сплавов, наплавленных с добавлением тугоплавких наночастиц, возможно объяснить формированием композиционной структуры, основным элементом которого следует считать интерметаллические соединения сферической формы. Электронно-микроскопические исследования приготовленных ионным травлением сечений этих интерметаллидов выявили наличие в них многочисленных скоплений наночастицв пределах от 5 до 50 нм, расстояние между которыми варьировалось от 20 до 150 нм. Учитывая размер интерметаллидов, можно полагать, что количество содержащихся в них наночастиц составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч [5].

Порошковые проволоки с добавлением нанодисперсных частиц тугоплавких соединений имеют хорошие технологические свойства. Не смотря на все преимущества, наплавка и сварка порошковой проволокой имеет недостатки. Необходимо ограничивающие усилие сжатие подающего механизма проволоки в роликах, поскольку она обладает недостаточной жесткостью. Для непрерывного и стабильного горения дуги необходимо применять повышенные значения сварочного тока т.к. стандартная порошковая проволока имеет диаметр 2,6 миллиметра и более. Необходимость применять повышенные тока ограничивает сварку в вертикальном положении и не позволяет выполнять потолочные швы, использование порошковой проволоки в нижнем положении ничем не ограничивается. Относительно проволок сплошного сечения порошковые проволоки имеют относительно высокую стоимость.

Список литературы

1. Оборудование и технология сварочного производства. [Электронный ресурс]. - Режим доступа http://www.metobr-expo.ru/ru/articles/oborudovanie-i-tehnologiya-svarochnogo-proizvodstva/ Дата обращения – 20.03.2018. – Загл.с экрана.

2. Сварка и родственные технологии в освоении космоса и мирового океана. 21 век. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.nkj.ru/archive/articles/7461/ Дата обращения - 01.10.2017. – Загл.с экрана.
3. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург. Уро. РАН, 1998. – 199 с.
4. Нанопорошки сегодня и завтра [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.sciencecluster.ru/PressReleasesciencecluster/PressReleaseShow.asp?ID=4905 Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
5. Д.С. Карцев, Е.А. Зернин. Применение наноразмерных частиц тугоплавких соединений при сварке и наплавке порошковой проволокой [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15005 Дата обращения - 11.12.2017. – Загл.с экрана.
6. Производство и применение нанопорошков [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338&print=1 Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
7. Г.Н.Соколов, И.В. Зорин, А.А. Артемьев, В.Б. Литвиненко - Арьков, Ю.Н. Дубцов, В.И.Лысак, В.О.Харламов, А.В.Самохин, Ю.В.Цветков Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений //Физика и химия обработки материалов. №2. 2014, с.38 – 47.
8. Техника сварки порошковой проволоки. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.welding.su/articles/raznoe/raznoe_74.html. Дата обращения – 20.03.2018. – Загл.с экрана
9. М.А. Кузнецов, Е.А. Зернин, к.т.н., доц., Д.С. Карцев. Влияние наноструктурированных порошков-модификаторов на коррозионную стойкость сварных соединений из высоколегированной стали аустенитного класса. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C88/C88.pdf. Дата обращения - 11.12.2017. – Загл.с экрана

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТАВРОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

В.В. Десятов[1], А.В. Филонов[2], А.В.Крюков[1], А.А. Зеленковский[1]
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652050, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская 26
Юргинский техникум машиностроения и информационных технологий
652050, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская 10
earendill@mail.ru

В данной статье рассмотрен способ определения напряженно-деформированного состояния таврового сварного соединения.

Сварка является одним из наиболее эффективных способов получения неразъемных соединений [1,2]. Однако одним из наиболее важных факторов, влияющих на эффективность ее применения, является формирование при сварке остаточных напряжений и деформаций, существенно влияющих на технологичность процесса.

Сварочный процесс сопровождается неравномерным высокотемпературным нагревом. Если напряжения от температурного расширения металла превышают предел текучести материала, то после остывания в деталях остаются остаточные напряжения [3]. Это характерно для всех способов сварки, связанных с нагревом.

Интерес к исследованию остаточных напряжений в сварных конструкциях обуславливается тем, что они существенно влияют на прочность и долговечность сварного соединения. В связи с этим при проектировании конструкций и разработке технологий их изготовления целесообразно иметь наглядную картину напряженно-деформированного состояния конструкций, для обеспечения наилучшего качества продукции.

В настоящее время получили широкое распространение расчетные методы. Использование расчетных методов позволяют существенно сократить сроки исследования, сэкономить сварочные и другие расходные материалы. Кроме того расчетные методы исследования позволяют наглядно и с высокой степенью точности визуализировать полученные результаты. Расчетные методы опираются на математическое моделирование сварочных процессов с помощью ЭВМ. Одной из важных задач математического моделирования является разработка моделей адекватно описывающих те или иные сварочные процессы, или их взаимосвязь между собой.

В статье рассматривается расчетная модель напряженно-деформированного состояния сварного таврового соединения.

Моделирование проводилось в трехмерной постановке. На рисунке приведена геометрическая модель таврового соединения.

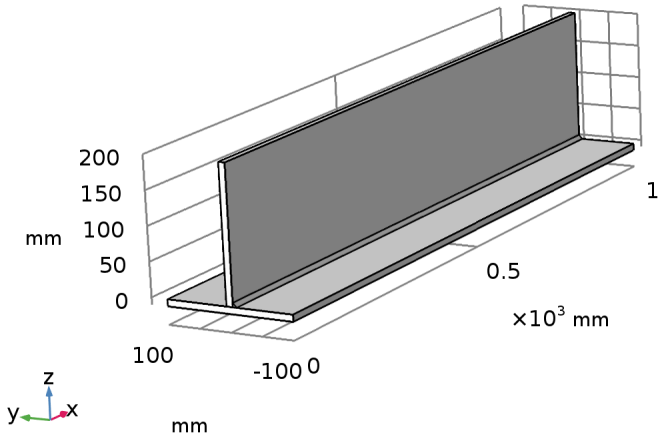


Рис.1 Геометрическая модель задачи

В процессе работы рассматривались две задачи: теплопроводность в твердом теле и механика твердого тела.

Для анализа распространения теплоты использовалось следующее основное дифференциальное уравнение теплопроводности [17-18]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t}(x,y,z) = \nabla(k\nabla T) + Q(x,y,z,t), \tag{1}$$

где ρ – плотность материала, г/мм3; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг°С); T – текущая температура; Q – удельное тепловложение, Вт/мм3, x,y,z – координаты; t – время, с; ∇ – оператор пространственного градиента.

Для расчетов тепловой задачи были использованы следующиеТемпературозависимые характеристики стали 09Г2С: плотность; теплопроводность; срытая теплота плавления; теплоемкость.

Выделенную теплоту от движущейся сварочной дуги, которую рассматривали как объемный источник теплоты с двойным эллиптическим распределением (рисунок 3) [4], рассчитывали с помощью следующих уравнений:

$$Q_f = \frac{6\cdot\sqrt{3}\cdot\eta\cdot Q_0\cdot f_f}{\pi\cdot\sqrt{\pi}\cdot a_r\cdot b\cdot c}\cdot\exp\left(-3\left(\frac{z^2}{a_r}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{x^2}{c^2}\right)\right),$$
$$Q_r = \frac{6\cdot\sqrt{3}\cdot\eta\cdot Q_0\cdot f_f}{\pi\cdot\sqrt{\pi}\cdot a_r\cdot b\cdot c}\cdot\exp\left(-3\left(\frac{z^2}{a_r}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{x^2}{c^2}\right)\right), \tag{2}$$

где x,y,z – координаты модели двойного элипсоида совмещенного со сварочной проволокой; ff, fr – описывающие долю теплоты, приходящуюся на переднюю и заднюю стороны пластины соответственно (таблица 1); Q0 – мощность теплового источника сварки, определяемая как Q0=IUη; I – ток сварки; U – напряжение сварочной дуги; η - коэффициент полезного действия; af, ar, b, c – параметры, связанные с характеристиками сварочного источника (рисунок 3); значения приведены в таблице 1.

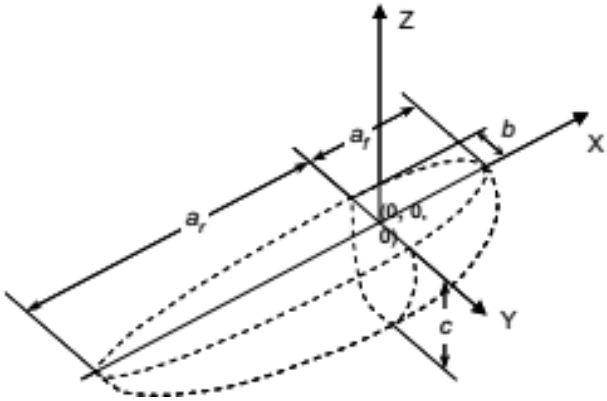


Рис 2 Объемный источник тепла с двойным эллиптическим распределением

Для определения механических напряжений использовались следующие зависимости:

$$
\begin{aligned}
&-\nabla\cdot\sigma = Fv, \quad \sigma = s \\
&s - S_0 = C:\left(\varepsilon - \varepsilon_0 - \varepsilon_{inel}\right) \\
&\varepsilon = \frac{1}{2}\left[\left(\nabla u\right)^T + \nabla u\right] \\
&F\left(\sigma, \sigma_{ys}\right) \le 0 \\
&F = \sigma_{mises} - \sigma_{ys} \\
&\sigma_{ys} = \sigma_{ys0} + \frac{E_{Tis0}}{1 - \frac{E_{Tis0}}{E}}\varepsilon_p
\end{aligned}
\tag{3}
$$

где u- поле распределения деформаций, F – силовая нагрузка, σ – напряжение, ε – деформация, E – модуль упругости.

Для определения начальных условий по торцам геометрической модели определена нулевая предопределенная деформация.

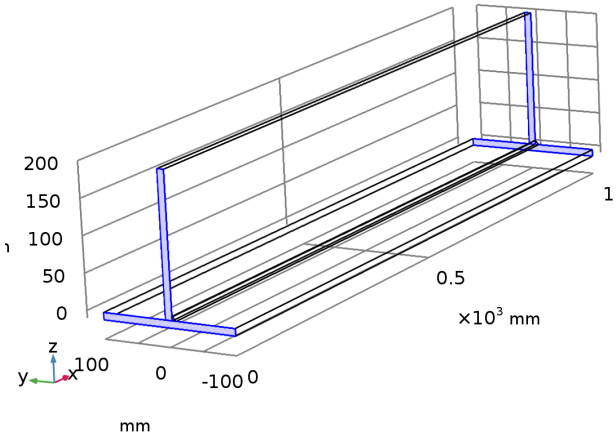


Рис 3 Ограничения

Использовались следующие температурозависимые параметры:

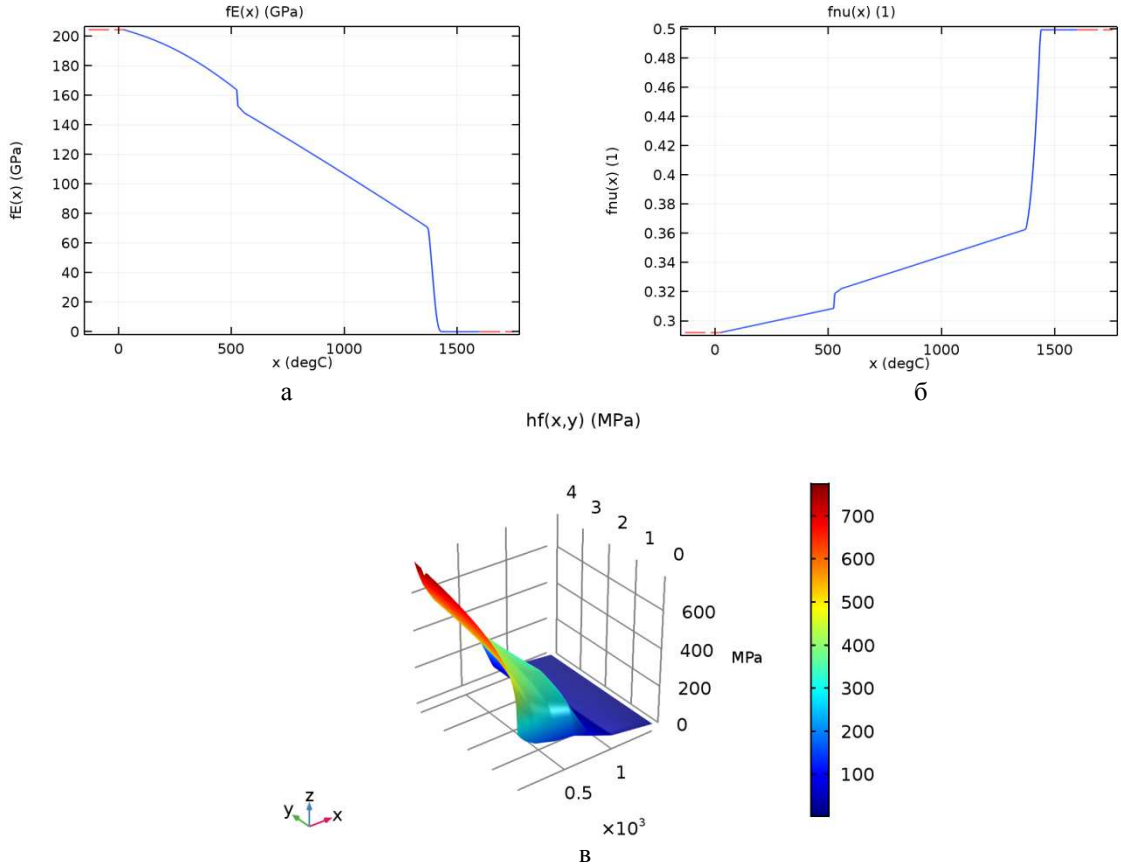


Рис 3 Температурозависимые характеристики материала
а) модуль Юнга, б) коэффициент Пуассона, в) предел текучести

Время сварки выбиралось из расчета прохождения источником теплоты всей длины.
В результате расчета были получены:
- распределения полей температуры с течением времени;
- распределения полей напряжений и деформаций с течением времени.

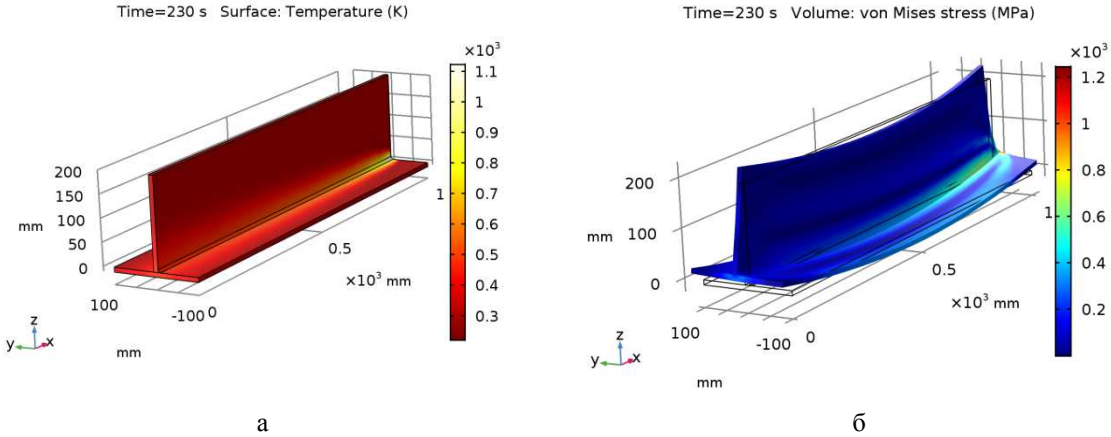


Рис 4 Расчетные данные
а) распределение температур, б) распределение напряжений

Адекватность модели проверялась экспериментально. Погрешность не превышает 3%.

Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при проектировании металлических конструкций и разработке технологических процессов

Таким образом, получена расчетная модель, описывающая механические процессы в тавровом соединении при сварке. Модель позволяет оперативно и наглядно оценить степень влияния сварочных процессов на напряженно-деформированное состояние конструкции.

Список литературы

1. Кузьминов С.А. Сварочные деформации судовых корпусных конструкций – Л.: Судостроение, 1974г.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций – М.: Высшая школа, 1982.-272с.
3. Бигер И.А. Остаточные напряжения.- М.: Машгиз, 1963.- 233с.
4. Goldak, J. A., Chakravarti, A., Bibby, M.: A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. Metallurgical and Materials Transactions B 15(1984), pp. 299-305.

КОНТРОЛЬ МЕТАЛЛА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ И ПОВРЕЖДЕННЫХ ГНУТЫХ УЧАСТКОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ

Н. В. Абабков, к.т.н., доц., А. Н. Смирнов, д.т.н., проф., Е. Е. Левашова, ст. преп.
ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: n.ababkov@rambler.ru

В работе проведено исследование металла эксплуатируемых и поврежденных гнутых участков и сварных соединений паропроводов спектрально-акустическим методом контроля. Исследованы образцы, не имеющие повреждений, образец с коррозионно-усталостной трещиной и образцы с технологическими дефектами типа заката. Построены графические зависимости акустических характеристик от времени наработки. Установлены значения акустических характеристик, соответствующие дефектному состоянию для металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов.

Investigation of the metal of exploited and damaged bends of water and steam-removing pipes by the spectral-acoustic control method and by the method of electron microscopy was carried out in the work. A sample without damages, a specimen with a corrosion-fatigue crack and a sample with a technological sunset type defect were investigated. Graphic dependencies of acoustic characteristics on the time of operating time are constructed. The values of the acoustic characteristics corresponding to the defective state for the metal of the bends of the water and steam-removing pipes have been established.

В процессе эксплуатации элементов технических устройств опасных производственных объектов (ТУОПО) теплоэнергетической промышленности возникает целый ряд проблем, которые могут привести к техногенным катастрофам и человеческим жертвам.

Для таких элементов теплоэнергетической промышленности, как гнутые участки и сварные соединения паропроводов, которые изготовлены из стали 20, характерным является процесс выделения структурно свободного графита [1] в металле сварных соединений и в основном металле. Наиболее часто данное явление происходит на участках труб с наибольшими напряжениями, а именно в металле гнутых участков и сварных соединений паропроводов. При выполнении требований нормативной документации [2, 3] из-за наличия графита в основном металле труб часто приходиться сталкиваться с переваркой всех сварных стыков паропровода или заменой всего паропровода. Эта проблема в настоящее время весьма актуальна и относится к паропроводам среднего давления. Несмотря на исключительную опасность объективно действующих факторов, происходящих в металле этих паропроводов, обязательные работы по их диагностике не всегда проводятся в необходимых объемах [1, 4, 5, 10].

Поэтому весьма актуальным становится вопрос разработки новых, эффективных технологий, методов и способов оценки работоспособности и восстановления ресурса элементов технических устройств [7, 8, 11]. Для обеспечения безопасной эксплуатации ответственных конструкций все более широкое распространение получает концепция, основанная на «прогнозировании и предупреждении» вместо используемой старой концепции «обнаружение и устранение» [11].

Одним из методов контроля состояния металла сварных соединений, основного металла и выявления несплошностей в настоящее время является спектрально-акустический метод. Ранее авторами [11–14] было установлено, что данный метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения

кристаллической решетки и т.д.). Кроме того, акустические характеристики материалов (скорость распространения упругих волн, затухание и дисперсия, акустический импеданс) имеют связь с механическими свойствами материалов [6, 9]. Это позволяет по акустическим характеристикам материала судить о его механических свойствах. Авторами [11–14] предложены комплексные критерии степени поврежденности металла в относительных единицах.

Таким образом, цель настоящей работы заключалась в исследовании металла эксплуатируемых и поврежденных гнутых участков и сварных соединений паропроводов спектрально-акустическим методом контроля и установлении значений акустических характеристик, соответствующих дефектному состоянию исследованного металла.

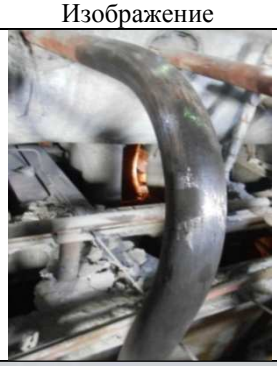
Методики и материалы исследований

Объектом исследований являлся металл гнутых участков и сварных соединений паропроводов паровых котлов типа ТП-87-1, которые эксплуатируются на Ново-Кемеровской ТЭЦ (г. Кемерово) (табл. 1).

Исследование металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов спектрально-акустическим методом проводилось при помощи измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН» с частотой датчика поверхностных акустических волн 6 МГц. Были проведены измерения времени задержки (R, нс) и отношения размахов импульсов поверхностной акустической волны (коэффициент затухания – $K_{зат}$, 1/мкс), распространяющихся в материале исследуемого объекта. Для этого были подготовлены зоны контроля, на поверхности образцов. После этого были сделаны замеры параметров R и $K_{зат}$, с продольным расположением датчика относительно центральной оси гнутого участка паропровода.

Таблица 1

Общие характеристики образцов металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов

№ образца	Описание образца	Изображение
Образец №1	Дефекты отсутствуют. Наработка 242 тыс. ч.	
Образец №2	Дефект: технологический закат, в виде отслоения, на наружной поверхности растянутой зоны, с протяженностью дефекта $L \approx 20$ мм. Наработка 242 тыс.ч.	
Образец №3	Дефект: технологический закат, на наружной поверхности нейтральной зоны, с протяженностью дефекта $L \approx 400$ мм. Наработка 242 тыс.ч.	
Образец №4	Прямой участок. Дефекты отсутствуют. Наработка 0 тыс.ч.	

№ образца	Описание образца	Изображение
Образец №5	Прямой участок. Дефекты отсутствуют. Сварное соединение. Наработка 219 тыс.ч.	
Образец №6	Растянутая зона. Дефекты отсутствуют. Наработка 219 тыс.ч.	
Образец №7	Дефект: коррозионно-усталостная трещина, развившаяся по технологической риске на внутренней поверхности нейтральной зоны. Сварное соединение. Наработка 219 тыс. часов	

Результаты исследований и их обсуждение

Химический состав исследуемой стали, соответствующий ГОСТ 1050-88, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав (масс. %) стали 20

Массовая доля элементов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	до 0,25	до 0,3	до 0,3	до 0,04	до 0,035

Результаты измерения акустических характеристик (табл. 3) показали, что для образцов №2, №3 и №7, имеющих дефекты, характерны более высокие значения R и $K_{зат}$, чем для образцов №1, №4, №5, №6. Так как в образцах №1, №4, №5 и №6 нет дефектов, то средние значения R и $K_{зат}$ для этих образцов ниже и не имеют ярко выраженных пиковых значений. Наименьшие значения R и $K_{зат}$ зарегистрированы для образца №4 (металл без эксплуатации).

Таблица 3

Результаты измерения акустических характеристик (R, $K_{зат}$) в металле гнутых участков и сварных соединений паропроводов после наработки без дефектов и с дефектами

№ образца	Среднее значение R, нс	Среднее значение $K_{зат}$, 1/мкс
1	5178	0,209
2	5195	0,229
3	5203	0,264
4	5140	0,205
5	5173	0,245
6	5188	0,248
7	5210	0,296

По результатам измерений, были построены графики распределения R для всех образцов металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов (рис. 1).

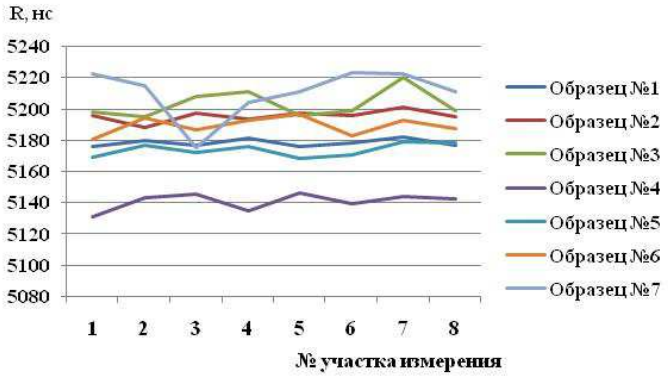


Рис. 1. Распределение времени задержки ПАВ по поверхности образцов гнутых участков и сварных соединений паропроводов

Для всех исследованных образцов выполнен расчет комплексного критерия предельного состояния длительно работающего металла [5, 6], который определяется по формуле:

$$K_f = \frac{W_\tau - W_0}{W_f - W_0} \cdot \frac{W_f}{W_\tau} \cdot \gamma \quad (1)$$

где γ – коэффициент, учитывающий материал контролируемого элемента, γ = 1,0–1,1; Wτ – время задержки ПАВ в металле в момент контроля; W0 – время задержки ПАВ в металле с исходным состоянием структуры и Wf – время задержки ПАВ в металле, исчерпавшем свой ресурс работоспособности.

Комплексный критерий предельного состояния, выраженный в относительных единицах, позволяет судить о количественной величине поврежденности и прекращать эксплуатацию ТУОПО для замены контролируемого элемента, исходя из соотношения $K_f \geq 0{,}7$.

Для образца №1 K_f = 0,589; для образца №2 K_f = 0,85; для образца №3 K_f = 0,97; для образца №4 K_f = 0; для образца №5 K_f = 0,512; для образца №6 K_f = 0,742; для образца №7 K_f = 1,08.

Таким образом, без проведения ремонтно-восстановительных работ могут эксплуатироваться образцы №1, №4 и №5, для образцов №2, №3, №6 и №7 необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ.

5. Выполнены исследования образцов металла эксплуатируемых и поврежденных гнутых участков и сварных соединений паропроводов с наработкой 214 тыс. часов и 242 тыс. часов спектрально-акустическим методом контроля.
6. Результаты измерения акустических показали, что для образцов, имеющих дефекты, характерны более высокие значения R и Кзат, чем для образцов без дефектов. Наименьшие значения R и Кзат зарегистрированы для образца металла без эксплуатации. Построены графические зависимости акустических характеристик от времени наработки. Установлены значения акустических характеристик, соответствующие дефектному состоянию для металла гнутых участков и сварных соединений паропроводов, изготовленных из стали 20.
7. Выполнен расчет комплексного критерия предельного состояния для всех исследованных образцов и в соответствии с которым без проведения ремонтно-восстановительных работ могут эксплуатироваться образцы №1, №4 и №5, а для образцов №2, №3, №6 и №7 необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение №14-19-00724-П и гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук, МК-1341.2017.8.

Список литературы

1. Шкляров, М. И. Некоторые особенности выделения структурно свободного графита в сварных соединениях паропроводов из углеродистой стали / М. И. Шкляров В. Н. Осмаков, Г. М. Едачев // Теплоэнергетика. – 1999. – № 5. – С. 21–26.

2. РД 34.17.421-92. Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций.
3. СТО-021-21-21-2003. Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов тепловых электрических станций. Контроль состояния металла. Нормы и требования.
4. Махутов, Н. А. Сопоставительная оценка нормативного и основанного на управлении риском подходов к оценке защищенности сложных технических систем / Н.А. Махутов, Д. О. Резников // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2011. – № 6. – С. 92–98.
5. Бутусов, Д. С. Мониторинг и управление напряжённо-деформированным состоянием технологических трубопроводов компрессорных станций как средства снижения уровня риска аварии от дефектов, вызванных коррозионным растрескиванием под напряжением / Д.С. Бутусов, Д.Г.Репин, С.Л.Перов и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 3 (93). – С. 88–97.
6. Осипов, К. О. комплексный контроль напряженно-деформированного состояния крупногабаритных металлоконструкций на основе акустико-эмиссионного и магнитного методов неразрушающего контроля / К. О. Осипов, Т.Р.Загидулин, Р.В.Загидулин // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции"Реальность – сумма информационных технологий". – 2015. – С. 125–129.
7. Загидулин, Т. Р. Исследование и разработка метода локального магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металла элементов корпусного оборудования и металлоконструкций / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Научно-исследовательский институт интроскопии МНПО "СПЕКТР". Rus, 2015. – 134 с.
8. Загидулин, Р. В. Экспериментальное исследование согласованного, плоского, напряженно-деформированного состояния металла образцов стальной трубы по магнитным диагностическим параметрам / Р.В.Загидулин, Т.Р. Загидулин, А.Ф. Аминев и др. // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14. № 4. – С. 142–150.
9. Муравьев, В. В. Контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес методом акустоупругости / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, Е. Н. Балобанов // Дефектоскопия, 2013. – №7. – С. 22–28.
10. Махутов, Н. А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин. – М.: Спектр, 2011.– 185 с.
11. Смирнов, А. Н. Анализ проблем, связанных с безопасной эксплуатацией элементов энергетического машиностроения / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 12–17.
12. Смирнов, А. Н. Структурно-фазовое состояние, поля внутренних напряжений и акустические характеристики в длительно работающем металле поврежденного барабана котла высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э.В. Козлов и др. // Контроль. Диагностика. – 2012. – №7. – С. 13–17.
13. Смирнов, А. Н., Хапонен, Н.А. Способ неразрушающего контроля степени поврежденности металлов эксплуатируемых элементов теплоэнергетического оборудования. Патент РФ, №2231057. 2004.
14. Смирнов, А. Н. Разрушение и диагностика металлов / А.Н. Смирнов, В.В.Муравьев, Н.В.Абабков. – Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение. 2016. – 479 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.В. Павлов, мастер производственного обучения,
Ю.А. Безменов, мастер производственного обучения,
Р.С. Запысов, преподаватель
ГПОУ «Юргинский техникум машиностроения и информационных технологий»
652050, г. Юрга ул. Ленинградская д.10, тел. (38451)4-18-45
E-mail: pavlin123@rambler.ru

Данная работа посвящена оптимизации параметров режима плазменной резки конструкционных материалов по состоянию поверхности реза и количеству и величине грата на нижней кромке. В качестве изменяемых параметров для оптимизации процесса плазменной резки были выбраны величина тока и скорость резки.

Развитие современной промышленности неотъемлемо связано с увеличением объёма использования металлического материала, требования к которым, по технологичности, прочности и экономичности, неуклонно возрастают.

Одним из способов снижения технологической себестоимости изготовления металлических изделий является использование методов обработки, позволяющих сократить или исключить определенные этапы технологического процесса. Примером может служить использование при раскрои листовых материалов газопламенной обработки. Это сопровождается низким качеством реза, что требует включение дополнительной технологической операции (механическая обработка) и введение при проектирование излишних припусков [1].

Применение плазменной обработки позволяет снизить указанные недостатки и при этом повысить качество реза [2]. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования влияния плазменной обработки на теплофизические свойства обрабатываемого металла свидетельствуют об эффективности использования данного способа разделительной резки в широком диапазоне толщин с сохранением высокой производительности процесса.

Данная работа посвящена оптимизации параметров режима плазменной резки конструкционных материалов по состоянию поверхности реза и количеству и величине грата на нижней кромке.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве материала была выбрана конструкционная углеродистая сталь обыкновенного качества в виде листового проката - марки Ст3пс.

Раскрой листовых материалов осуществлялся на автоматическом комплексе плазменной резки, состоящем из, представленных на рисунке 1, основных блоков.

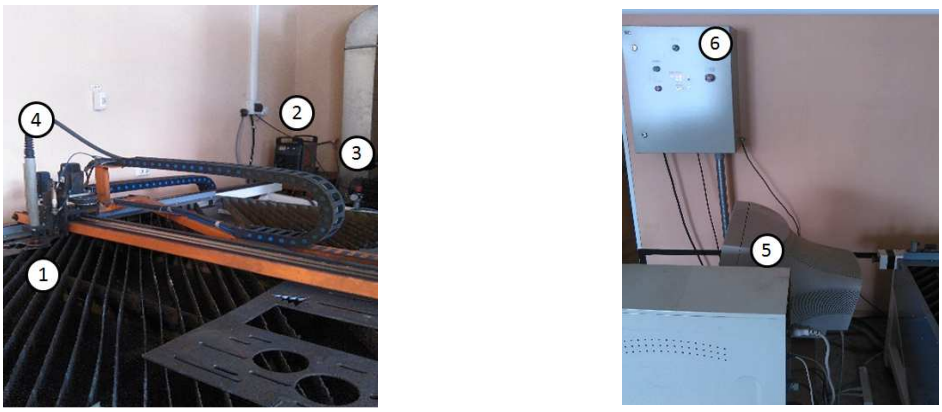


Рис. 1 Установка воздушно плазменной резки: 1 – координатный стол; 2 – источник питания Hypertherm Powermax 65; 3 – компрессор; 4 – плазмотрон; 5 – компьютер; 6 – блок управления

В качестве изменяемых параметров для оптимизации процесса плазменной резки были выбраны:- величина тока от 40 до 50А;- скорость резки от 900 до 2000мм/мин.Плазмообразующим газом являлся сжатый воздух, нагнетаемый компрессором.

Качественная оценка состояния поверхности реза и количества грата на нижней кромке осуществлялась при помощи визуальной и измерительной оценки с использованием штангенциркуля ШЦ-I-150.Экспериментальные исследования проводились в пять этапов.

1. Создание векторного изображения и подготовка файла.
2. Обработка векторного изображения (назначение режимов обработки) (рисунок 2).
3. Установка начальных координат обработки (рисунок 3).

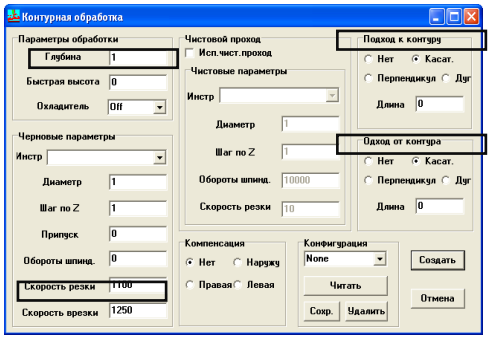


Рис. 2 Назначение режимов обработки

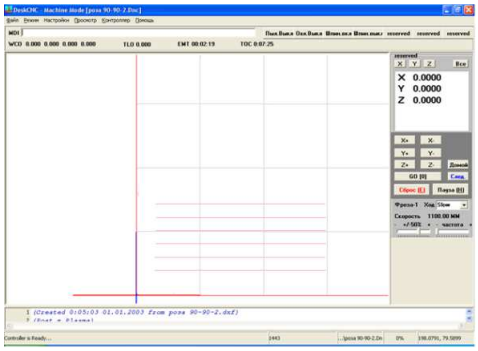


Рис. 3Установка начальных координат обработки

4. Процесс плазменной разделительной резки (рисунок 4).

а б

Рис. 4 Изделия после выполнения продольного реза: а) лицевая сторона; б) оборотная сторона

5. Качественная оценка состояния поверхности реза и количества грата на нижней кромке (таблица 1).

Таблица 1

Параметры реза и величина грата, полученные в ходе эксперимента

Материал	Толщина, мм	Сила тока, А	Скорость резки, мм/мин	Ширина реза, мм	Высота грата, мм
Ст3	3,0	40	900	2,3	2,0
			1100	2,3	1,7
			1300	2,3	1,7
			1500	2,2	1,3
			1700	2,2	1,3
			1900	2,1	1,8
		50	800	2,8	1,9
			1000	2,8	1,9
			1200	2,7	1,2
			1400	2,5	1,1
			1600	2,3	0,8
			1800	2,2	0,5
			2000	2,1	0,3

В результате анализа полученных значений установлено, для стали Ст3 при толщине 3 мм, целесообразно применять технологические параметры: сила тока 50А, скорость резки от 1800 до 2000 мм/мин. Данные режимы позволяют при высокой производительности процесса резки обеспечить небольшую величину ширины реза (2,1 и 2,2 мм) при наименьших значениях грата (0,5 и 0,3 мм), образующегося на оборотной стороне пластины.

Список литературы

1. Рахимянов Х.М. Моделирование процессов тонкоструйной плазменной резки для обеспечения
2. точности формирования криволинейных контуров / Х.М. Рахимянов, А.И. Журавлев, А.А. Локтионов, А.Х. Рахимянов // Научный вестник НГТУ. – 2009. – № 4 (37). – С. 123–134.
3. Рахимянов Х.М. Влияние технологий тонкоструйной плазменной резки на формирование шероховатости поверхности реза / Х.М. Рахимянов, А.А. Локтионов // Современные проблемы машиностроения: сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч. – техн. конф., Томск, 11–13 нояб. 2013 г. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2013. – С. 349–353.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАПЛАВКИ ДВУМЯ ЛЕНТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ С УПРАВЛЯЕМЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ПЕРЕНОСОМ

В.П. Иванов, к.т.н., доц., Е.В. Лаврова, к.т.н., доц.
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина
87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. Тел. +38 (097) -1109935
E-mail: ivanov_v_p@pstu.edu

Предложено устройство для наплавки двумя ленточными электродами с управляемым переносом электродного металла. Исследована кинематическая схема и параметры процесса. Установлено, что применение разработанного устройства позволяет обеспечить более равномерное распределение тепловой энергии по ширине ленточных электродов и контролируемый сброс капель жидкого металла.

A device for depositing two tape electrodes with controlled transfer of electrode metal is proposed. The kinematical scheme and parameters of the process are investigated. It is established that the application of the developed device allows providing a more equable distribution of thermal energy across the width of the tape electrodes and a controlled discharge of liquid metal droplets.

Использование механических способов принудительного переноса электродного металла позволяют не только управлять качеством и геометрическими параметрами сварных швов, но и существенно снижать энергозатраты на тепловложение в сварочную ванну [1]. Исследование возможностей такого способа для наплавки ленточным электродом [2] показало перспективность этого метода при электродуговой наплавке.

В случае использования двух и более электродов условия плавления электродного металла и его переноса в сварочную ванну отличны от способа наплавки одним электродом, особенно при различных значениях скорости подачи лент. Влияние этих параметров на перенос электродного металла в сварочную ванну до сих пор не изучено.

Целью настоящей работы является исследование кинематических параметров процесса механического управляемого переноса при электродуговой наплавке двумя ленточными электродами. Использование данной технологии позволяет повысить качество наплавленного слоя и снизить удельный расход электрической энергии на погонный метр наплавленного валика.

Для решения поставленной цели разработано устройство [3] для наплавки двумя ленточными электродами, позволяющее увеличить диапазон регулирования параметров импульсного механического переноса и предотвратить деформирование ленточных электродов (рис. 1).

Предлагаемое устройство обеспечивает попеременное возвратно-поступательное движение торцов ленточных электродов с оптимальными частотой и амплитудой. Поскольку возвратно-поступательное движение торцов накладывается на равномерное движение подачи электродов в ванну, это позволяет сохранить технологические параметры процесса наплавки и размеры наплавленного валика при возможности уменьшения расхода электродного металла на потери и перегрев, а также, соответственно, расходуемой энергии на плавление.

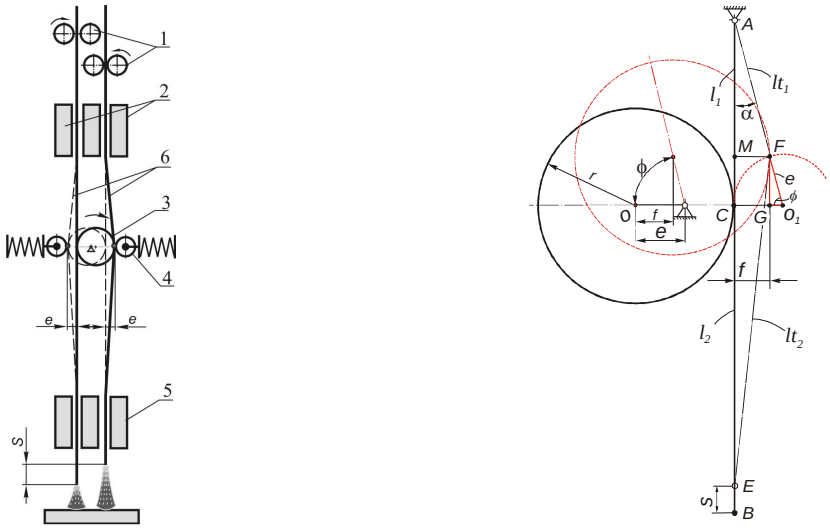
Применение устройства осуществляется следующим образом: при наплавке ленточные электроды (6) подаются в сварочную ванну со скоростями $V1_{пе}$ и $V2_{пе}$, соответственно. Вращение эксцентрика (2) обеспечивает наложение вертикальных колебаний торцов электродов на их подачу, за счет чего осуществляется контролируемый сброс капель с торцов ленточных электродов. При этом амплитуда колебаний торцов ленточных электродов изменяется в зависимости от величины эксцентриситета и расстояния между ленточными электродами.

Кинематическая схема устройства подачи двух лент представлена на рис. 1, б (показан только один электрод). В соответствии со схемой зависимость кинематических параметров перемещения торцов ленточных электродов определяется уравнением (1):

$$S(t) := l_2 + e\cdot\sin(\omega\cdot t) - \sqrt{\left[l - \sqrt{\left(l_1 - e\cdot\sin(\omega\cdot t)\right)^2 + [e\cdot(1-\cos(\omega\cdot t))]^2}\right]^2 - [e\cdot(1-\cos(\omega\cdot t))]^2} + V1_{пе}\cdot t \qquad (1)$$

где $V1_{пе}$ – скорость подачи ленточного электрода.

Зависимость S`(t) описывается таким же уравнением, но начальный момент времени сдвинут на половину периода (рис. 2). В случае несимметричного расположения ленточных электродов относительно эксцентрика графики перемещения будут различаться и по амплитуде.



а б

Рис. 1. Устройство для наплавки двумя ленточными электродами (а) и кинематическая схема взаимодействия кулачка с лентой (б): подающие ролики (1); направляющие (2); эксцентрик (3); прижимные ролики (4); токоподвод (5); ленточные электроды (6).

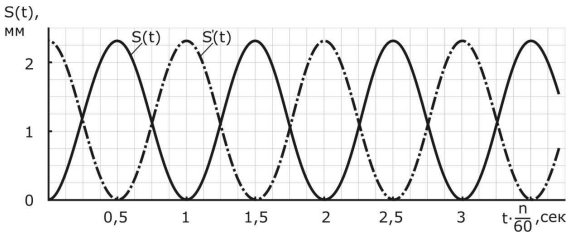
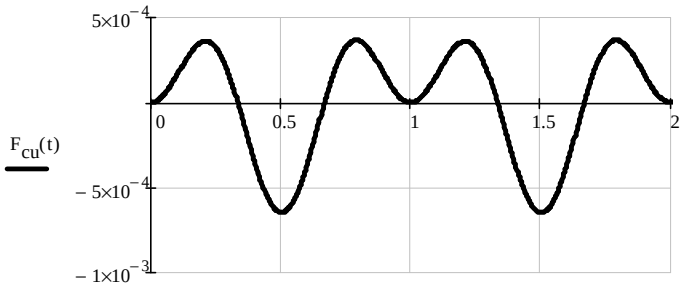


Рис. 2. Зависимость перемещения торцов ленточных электродов

Перемещение торцов ленточных электродов по зависимости (1) придает им соответственно периодически изменяющиеся значения скоростей и ускорений. Находящийся на торце электрода расплавленный металл за время колебательного движения приобретает ускорение под действием силы инерции в направлении ванны, что способствует его ускоренному сбросу в сварочную ванну в виде капли. В этом масса сбрасываемой капли будет определяться законами изменения кинематических параметров лент, их амплитудой и частотой колебаний. На рис. 3 представлена расчетная зависимость изменения силы инерции действующей на каплю электродного металла при использовании кинематической схемы устройства, приведенной на рис. 1. Средний диаметр капли принимался равным 2.6×10^{-3} м (масса капли 6.435×10^{-5} кг).



Угловая скорость вращения эксцентрика, c^{-1}

Рис. 3. Зависимость силы инерции F_{cu}, Н; действующей на каплю от времени

На рис. 4 представлены экспериментальные данные, характеризующие влияние силы тока, напряжения, частоты колебаний торца ленточного электрода на величину коэффициента расплавления

при автоматической наплавке с принудительным переносом электродного металла. Как видно из рис. 4, при изменении напряжения дуги с 24 В до 30 В, коэффициент расплавления электродного металла возрастает в диапазоне от 18-23 г/А·ч, при этом в случае использования принудительных колебаний с частотой 50 Гц он в среднем на 20 % выше, чем при наплавке без использования принудительных колебаний при аналогичных параметрах режима наплавки.

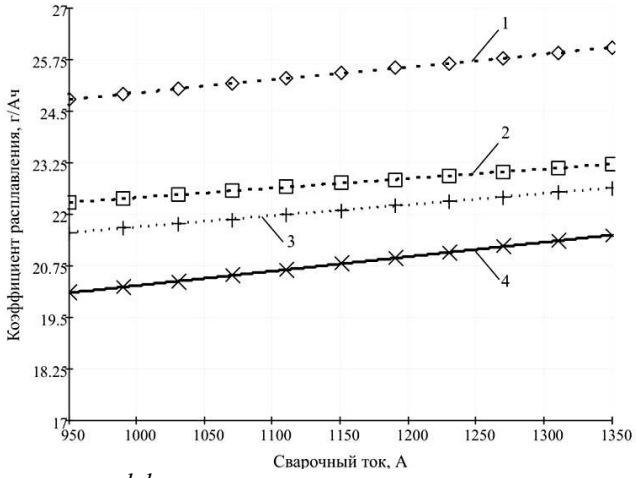


Рис. 4 – Зависимость коэффициента расплавления от параметров режима наплавки:
1 – U = 24 V, f = 0 Hz; 2 – U = 28 V, f = 0 Hz; 1 – U = 30 V, f = 0 Hz; 1 – U = 30 V, f = 50 Hz.

Разработанное устройство обеспечивает попеременное возвратно-поступательное движение торцов ленточных электродов с оптимальными частотой и амплитудой. Поскольку возвратно-поступательное движение торцов накладывается на равномерное движение подачи электродов в ванну, это позволяет сохранить технологические параметры процесса наплавки и размеры наплавленного валика при возможности уменьшения расхода электродного металла на потери и перегрев, а также, соответственно, расходуемой энергии на плавление.

При использовании наложенных колебаний повышается производительность наплавки за счет снижения температуры капель, попадающих в сварочную ванну с торцов и перераспределения температур в объеме сварочной ванны, что приводит к повышению эффективности расплавления ленточных электродов.

Это объясняется тем, что в процессе плавления электродного металла при наложении принудительных механических колебаний происходит равномерное оплавление торцов ленточных электродов за счет обеспечения равномерного распределения тепловой энергии по ширине лент и контролируемый сброс капель жидкого металла. Использование данной технологии позволяет повысить качество наплавленного слоя и снизить удельный расход электрической энергии на погонный метр наплавленного валика.

1. Разработано устройство для наплавки двумя ленточными электродами с управляемым переносом электродного металла.
2. Использование разработанного устройства позволяет повысить эффективность расплавления электродного металла (в среднем на 20%), обеспечить его управляемый перенос в сварочную ванну и, как следствие, равномерность высоты наплавленного слоя и глубины зоны проплавления по всей ширине ванны

Список литературы

1. Патент № 101288, МПК B23K 9/12 (2006.01). Устройство для наплавки ленточным электродом под флюсом / А.Н. Серенко, Е.В. Лаврова, В.П. Иванов, В.А. Серенко (Украина). – № а 201205838; Заявл. 14.05.12; Опубл. 11.03.13, Бюл. № 5.– 4 с.
2. Ivanov V.P. Improving the efficiency of strip cladding by the control of electrode metal transfer / V.P. Ivanov, E.V. Lavrova // Applied mechanics and materials. – Vol. 682 (2014). – pp. 266-269. doi:10.4028/ www.scientific.net/AMM.682.266
3. Патент № 113454, МПК B23K 9/04 (2006.01). Устройство для наплавки двумя ленточными электродами/ В.П. Иванов, Е.В. Лаврова (Украина). – № а 201504899; Заявл. 10.02.16; Опубл. 25.01.17, Бюл. № 2.– 4 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРОЧНЫХ РАБОТ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «РСП-М»

А.С. Новиков, студент группы 3-10А41, научный руководитель Ильященко Д.П.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В данной статье рассмотрены особенности выполнения сварочных работ на предприятии ООО «РСП-М»

В настоящее время на железных дорогах Российской Федерации компанией ОАО «РЖД» для сварки рельс регламентированны следующие виды сварки [1]:

- контактная ;
- газопрессовая;
- дуговая сварка плавлением;
- термитная.

Технико-экономические показатели производства сварных рельсов при использовании различных способах сварки представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1

Наименование характеристик	Способ сварки			
	Контактная	Газопрессовая	Термитная	Дуговая сварка плавлением
Временное сопротивление, не менее, кгс/мм^2	90	90	60	60
Стрела прогиба на пролете 1 м, не менее, мм	30	30	15	15
Предел выносливости сварных стыков, %	95-110	90-100	60-70	55-70
Выход рельсов по дефектам сварных стыков	1,0	1,5	8,0	10,0
Хрупкие изломы сварных стыков без дефектов в главном пути	Нет	Нет	Имелись	Рельсы не укладывались
Затраты времени на сварку	1	2	2	1,7

На предприятиях ООО «РСП-М» производится сварка рельсов, как в стационарных условиях (рельсовые плети), в сварочных цехах, так и сварка рельс непосредственно на железнодорожном полотне.

Сварка рельс в заводских условиях производится контактной сваркой пульсирующим оплавлением в плети длиной до 800 метров, а также производится ремонт старогодных рельсов. На ООО «РСП-М» свариваются рельсы как отечественного производства (НТМК, НКМК) , так и импортного (японского, австрийского) разных категорий качества и термоупрочнения, а также различной номинальной длины (25м, 100м). Предприятия ООО «РСП-М» оснащены современным оборудованием: сварочным – стационарные сварочные машины К-1100, МСР 63.01 (см. рис. 1), для горячей и холодной правки рельсов фирмы Geismar, установками индукционного нагрева УИН 001-100/РТ, оборудованием для ремонта старогодных рельсов (РФС 6992 М, Geismar).

Рис.1. Стационарные сварочные машины К-1100

Рис. 2. Комплекс сварочный мобильный КСМ-005 на базе автомобиля «Маз»

Для сварки и ремонта рельсов в пути используются путевые рельсосварочные самоходные машины (ПРСМ) и комплекс сварочный мобильный КСМ-005 на базе автомобиля «Маз» (рис. 2). На

сегодняшний день на фронтах железных дорог работают 94 машины ПРСМ-3,4,5,6 и одна КСМ-005. Машины ПРСМ (рис. 3) предназначены для контактной сварки рельсов пульсирующим оплавлением (рис. 4) в «полевых» условиях на фронтах ремонта пути. Сварка может производиться как в уложенных в путь рельсовых плетей, непосредственно по которому передвигаются машины, так и плетей, уложенных вдоль пути – внутри и снаружи колеи. Машины оборудованы современным сварочным оборудованием, а именно, подвесными сварочными головками К-922, МСР 120.01 и др., а также путевыми установками индукционного нагрева УИН.

Рис. 3. Машины ПРСМ предназначены для контактной сварки рельсов.

Рис. 4. Внешний вид сварного соединения

Список литературы
1. https://vunivere.ru/work7455/
2. Развитие конструкций железнодорожных рельсов, их стыковых соединений и технологий обработки: диссертация ... кандидата технических наук: 07.00.10 / Воронина Ольга Николаевна;[Место защиты: МГУПС (МИИТ)].- Москва, 2014.- 228 с.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.М.Соатов[1], студент, Т.А. Куренбин[2], инженер-технолог,И. М. Гончаренко[1,3], к.т.н, доц.
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56
[2]ООО ПК МИОН 634034, г Томск, ул. Вершинина, 46/6, тел. (3822)-99-6501
[3]Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр.-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-13-00
E-mail: Dalersoatov01@yandex.ru

В данной статье экспериментально исследуется получение тонких диборидных покрытий на подслои TiN, ZrN, CrN, Cr методом магнетронного распыления. Выявлено оптимальные адгезионные свойства подслоя для диборидных покрытий.

this article experimentally investigates the production of thin diboride's coatings on base coating, Crn, CrN, Cr sublayer by magnetron sputtering. The optimal adhesion properties of the base coat for diboride's coatings are revealed.

Диборид титана обладает уникальными физико-механическими свойствами [1,2]. Это, прежде всего, высокая твёрдость, высокая температура плавления, высокая теплопроводность, низкое электрическое сопротивление, стойкость к абразивному износу и воздействию агрессивных сред. Благодаря таким свойствам диборид титана используется в качестве износостойкого защитного покрытия на обрабатывающем инструменте [3]. Целью работы является получение и исследование эксплуатационных свойств тонких диборидных покрытий, осажденных методом магнетронного распыления в условиях высокого вакуума.

В настоящей работе проведено изучение особенностей нанесения тонких (h~2 мкм) жаропрочных покрытий TiB2 на образцы из инструментального сплава. Для выявления оптимальных адгезионных свойств указанного типа покрытия, подложки предварительно модифицировали путем нанесения переходящего подслоя. Были нанесены пленки следующих материалов: TiN, ZrN, CrN, Cr. Толщина всехподслоев составляла ~1 мкм. Указанные промежуточные покрытия наносили на установке ионно-плазменного напыления ННВ-6,6 дуговым методом. Перед напылением с целью очист-

ки и активации поверхности образца, все образцы подвергались бомбардировке ионами титана при подаче отрицательного потенциала порядка U~1000 В.

Для нанесения, следующего слоев TiB2 использовали магнетронную распылительную систему APEL-MRE-95/100 (рис. 1.) с источником питания APEL-M-3BP-100-2. Мишень диборида титана для данного типа магнетрона изготовлена в виде круглой шайбы со следующими параметрами: d= 70 мм; b=5 мм; m=80 гр.

Рис. 1 Магнетрон с мишенью TiB_2

При нанесении TiB_2 покрытия на образцы, все они находились в равных условиях.

Процесс нанесения покрытия проходил при следующих параметрах:

Давление:……$P = 2 \cdot 10^{-1}$ Па ($2 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.)

ГАЗ:…….Аргон, расход – 12%,(1,08 л/ч)

Ток разряда:……$I_{\text{разряда}} = 0.49\ A$

Напряжение разряда:…….$U_{\text{разряда}} = 520 \rightarrow 540$ В

Мощность:……..$W = 0.25\ kW$ (250 Вт)

Частота:……...$f = 80\ kHz$

Время нанесения покрытия:……..60 мин.

Все полученные в работе образцы подверглись измерению на микротвердость, адгезионную стойкость и толщины полученного слоя.

Первый этап – измерение толщины полученного слоя. Для измерения толщины слоя использовалась оборудование CALOTEST. В результате измерений было получено покрытие TiB2 толщиной ~2 мкм (табл. 1.)

Таблица 1.

Результаты измерений толщин покрытий.

№	Материал покрытия	Толщина мкм
1	Cr	1,36
2	CrN	1,8
3	ZrN	1,8
4	TiN	1,3
5	TiB_2	1,8
6	Cr+ TiB_2	1,82
7	CrN+ TiB_2	1,9
8	ZrN+ TiB_2	2,38
9	TiN+ TiB_2	1,7

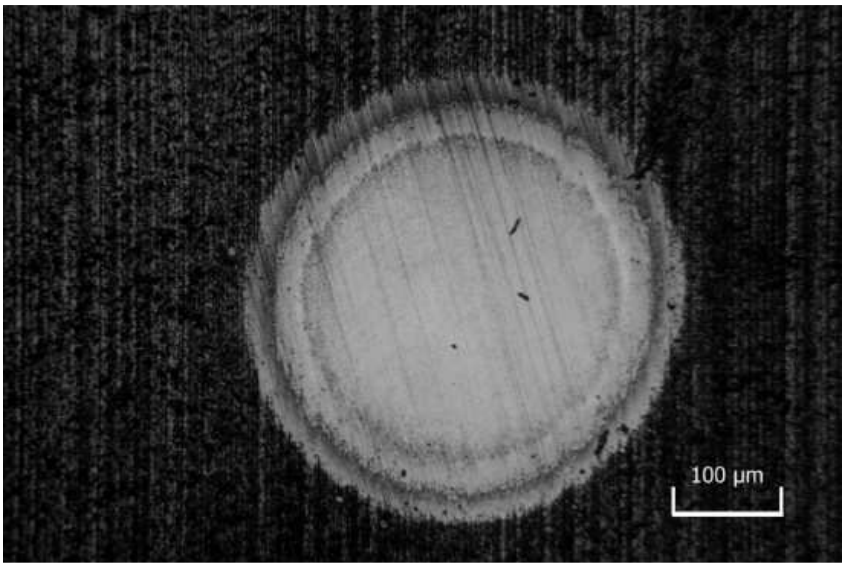


Рис. 2. Характерное изображение лунки полученной прибором CALOTEST на поверхности исследуемого образца с покрытием TiN+ TiB2.

Второй этап – измерение микротвёрдости покрытия TiB2. Измерение микротвердости проводилась по методу Виккерса, с помощью прибора ПМТ-3 при разных величинах испытательной нагрузки в диапазоне от 20 до 100 г. Результаты измерения микротвердости покрытий сведены в (табл. 2).

Таблица 2.

Результаты измерений микротвердости покрытий.

№	Материал покрытия	Твердость по Виккерсу Кг/мм^2
1	Cr	953
2	CrN	1035
3	ZrN	1561
4	TiN	1812
5	TiB_2	2105
6	Cr+ TiB_2	1520
7	CrN+ TiB_2	1643
8	ZrN+ TiB_2	1762
9	TiN+ TiB_2	2096

По результатам измерения микротвердости установлено, что твердость поверхности образцов с покрытием составила 1500-2000 кг/мм2 (15-20 ГПа).

Третий этап – измерения адгезии покрытия в зависимости от состава промежуточного слоя. Адгезия покрытия определялась визуально при увеличении оптического микроскопа 100Х по нарушению целостности покрытия в процессе испытания на твердость по Роквеллу при нагрузке 60 кг. (рис.2) Существует классификация HF1-6, по которой определяется класс качества полученного отпечатка. Результаты проведенных работ представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Результаты испытаний на адгезию полученных покрытий.

Материал покрытия	Cr+ TiB_2	CrN+ TiB_2	TiB_2	ZrN+ TiB_2	TiN+ TiB_2
Класс качества	HF6	HF5	HF6	HF6	HF3

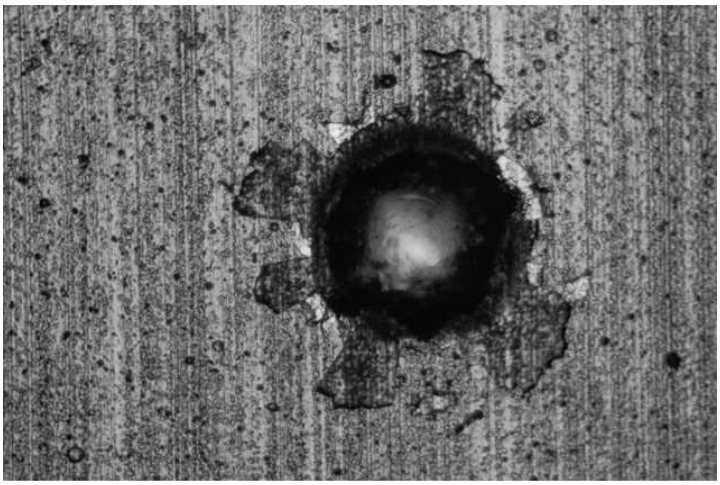


Рис. 3. Характерное изображение отпечатка пирамиды Роквелла на поверхности исследуемого образца с покрытием ZrN+ TiB_2, отпечаток соответствует классу HF6.

Результат показал, что адгезия полученного покрытия на подслоях CrN, Cr, ZrN и без подслоя соответствуют 5-6 класс. Об этом свидетельствуют обширные радиальные трещины и большие площади деламинации фрагментов покрытия вокруг испытательного кратера.

На подслое TiN адгезия соответствует 3 классу, это видно по незначительным нарушениям целостности материала вокруг кратера. Для этого случая адгезию можно считать удовлетворительной удовлетворительная.

В заключение отметим, что в целом результаты получения TiB2 покрытия магнетронным методом напыления получились весьма удовлетворительными. Что касается самого покрытия TiB2, то результат измерения микротвердости показал не лучший результат. Так как обычная твердость TiB2 составляет 30 ГПа, а в результате работы было получено 20 ГПа. Так же можно выделить, что лучшим адгезионным подслоем из четырех исследованных выше, в результате показал TiN.

Список литературы

1. Гончаров А.А, Коновалов В.А, Ступак В.А. Влияние потенциала смещения на структуру тонких пленок диборида тантала//Письма в ЖТФ. – 2007. – Т. 33. – С. 12-17.
2. Гончаров А.А, Характерные особенности формирования структуры, состава и свойств пленок диборидов переходных металов PVD-Методами//ФІП ФИП PSE. - 2011. – Т. 9. – С. 4-10.
3. Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, Н.А. Ширманов, А.Н. Шевейко, Е.А. Левашов и д.р., Наноструктурирование износостойкие покрытия для металлорежущего инструмента, полученные методами электронного испарения и магнетронного распыления// Вестник Машиностроения. – 2010. №9 – С. 62-73.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

М.С. Зубков, студент группы 10А42,
научный руководитель: Зернин Е.А.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В статье рассмотрены преимущества и недостатки газотермического напыления.

В виду того, что к рабочим поверхностям деталей машин, при разных условиях эксплуатации требуются определенные свойства: износостойкости, жаростойкости, коррозионной стойкости и т.д., и для того чтобы обеспечить деталям требуемые свойства не обязательно использовать другие материалы для детали, возможно использование напыления на поверхность детали для предания защитных свойств [1].

Напыление – это процесс нанесения на обрабатываемую поверхность покрытия с помощью высокотемпературной скоростной струи, которая содержит капли или частицы порошка напыляемого материала. Эти частицы (капли) оседают на поверхности обрабатываемой детали [2].

Технология напыления в зависимости от применяемого источника тепловой энергии делится на два основных вида: газопламенное напыление, выделяющее теплоту, использованную в процессе, при смеси кислорода и горючего газа, и электрическое напыление - основанное на использовании теплоты, выделяемой при горении электрической дуги [3].

За всё время применения, газопламенное напыление подверглось многим усовершенствованиям по улучшению качества и модернизации оборудования напыляемых деталей. Газопламенное напыление используют для того, чтобы нанести покрытия с высокой износо- и коррозионостойкостью из железных, никелевых, медных, алюминиевых, цинковых сплавов. Также применяются баббитовые покрытия для подшипников скольжения, электропроводные покрытия, электроизоляционные покрытия и декоративные покрытия. Обширно покрытия используются для восстановления формы и необходимо геометрии деталей различного насосно-компрессорного оборудования, крышек и валов электродвигателей, нестандартного оборудования. Полученные напылением покрытия, могут обрабатываться резанием либо шлифованием, отличаются пористостью в 2-10 % [4].

Напыление покрытий применяется [4]:

- для упрочнения деталей в общем машиностроении, а именно ролики, подшипники различного назначения, шестерни, калибры (в том числе резьбовые), станочные центры, матрицы и др.;
- автомобильная промышленность тоже использует напыление для нанесения покрытий на различные валы, детали тормозов, детали двигателя, диски сцепления, выхлопные клапаны;
- в авиационной промышленности для нанесения покрытий на сопла и другие элементы двигателей, лопатки турбин, для облицовки фюзеляжа;
- для покрытий конденсаторов, отражателей антенн - в электротехнической промышленности;
- в химической и нефтехимической промышленности для покрытия различных валов, сопел, плунжеров, цилиндров насосов, камер сгорания, для защиты от коррозии металлоконструкций, работающих в агрессивной среде;
- для напыления электродов озонаторов, зубных протезов в медицине.

Преимущества напыления:

1. Нанесения покрытий возможно на изделия, изготовленные практически из любого материала и не только из металла, но и из стекла, фарфора и фаянса, также из органических и большого разнообразия других материалов. Данным преимуществом не обладает только напыление, ни один из известных способов поверхностной обработки, не пригодны, так как одни пригодны лишь для металлов, другие для узкого количества материалов [5].
2. Для напыления возможно применять разные материалы с помощью одного и того же оборудования [9].
3. При напылении не важны размеры обрабатываемой поверхности изделия. Покрытие напыляется как на малые, так и на большие площади. Напыление приносит большие экономические выгоды в случае неприемлемости других способов упрочнения, например, когда необходимо нанести покрытие на часть большого изделия [10].
4. Использование напыления для увеличения размеров детали для ремонта или восстановления деталей машин. При механической обработке, когда с изделия срезан лишний слой металла для избегания брака, изделию можно придать нужную форму. Толщина напыляемого слоя составляет от 6 до 300 мкм [5].
5. Оборудования для напыления относительно простое, не сложно в использовании, небольшая масса, возможность быстро и легко перемещаться. К примеру, для газопламенного напыления достаточно иметь компрессор, горелку и газовые баллоны. При наличии источника электроэнергии, напыление можно проводить электрическими методами [10].
6. Для напыления возможен широкий выбор материала, можно использовать различные металлы, сплавы, соединения металлов с оксидами, пластмассы, различные химические соединения и их смеси. Возможность получения покрытия со специальными свойствами путём многослойного покрытия разнородными материалами [11].
7. Так как для многих способов поверхностной обработки используется нагрев до высоких температур, что в большинстве случаев становится причиной возникновения дефектов, то для напыления деформации будут незначительны [5].
8. Использование напыления, для изготовления деталей машин различной формы [12].
9. Трудоемкость процесса низкая, производительность нанесения покрытия довольно высокая, простота технологические операций напыления [10].

10. В отличие от средств очистки и нейтрализации при гальванических видах обработки изделия напыление не требуется специальной дорогостоящей обработки продуктов, загрязняющих окружающую среду [5].

Недостатки напыления:

1. При нанесении покрытий на мелкие детали большая часть напыляемого материала пролетает мимо, поэтому возникает излишний расход напыляемого материала [6].
2. Возникновение вредных условий работы для операторов при предварительной обработке, так как происходит загрязнение рабочего участка из-за того что для предварительной обработки требуется пескоструйная или дробеструйная обработка [7].
3. В процессе напыления происходит выделение вредных аэрозолей и дыма, что требует мощные вытяжные устройства [10].
4. Не всегда достаточная прочность сцепления покрытий с основой (5 – 45 МПа) при испытании на нормальный отрыв [6].
5. Возможное наличие пористости (находится в диапазоне от 5 до 25 %), что препятствует использованию покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки.
6. Невысокий коэффициент использования энергии газопламенной струи на нагрев порошка (2 - 12 %).
7. Практически невозможно нанести покрытия из тугоплавких материалов, температура плавления которых более 2800 °С.

Таким образом, изучая принцип газотермического напыления, выявлено, что напыление является экономически выгодным подходом, предающим необходимые параметры для конкретных условий работы изделий [8].

Список литературы

1. Гусева Е.А. Повышение износостойкости технологических узлов. – Иркустк 2011. – 46 с.
2. Плазменное напыление [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.avcd.ru/plazmennoe-napyilenie-2.html Дата обращения - 20.03.2018. – Загл.с экрана.
3. Современные технологии реновации и ремонта [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.tehnap.ru/tech/ Дата обращения - 20.03.2018. – Загл.с экрана.
4. Хасуи А. Моригаки О. Наплавка и напыление / Перевод с японского: Попов В.Н, редакторы: Степин В.С., Шестёркин Н.Г..-М.: Машиностроение 1985 -240с.
5. Технологические особенности газотермических методов напыления [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=652448 Дата обращения - 20.03.2018. – Загл.с экрана.
6. Газопламенное напыление [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://weldzone.info/technology /gas-sputtering/522-gazoplamennoe-napylenie Дата обращения - 20.03.2018. – Загл.с экрана.
7. Алёшин Н.П, Чернышёв Г.Г. и др. Справочник. Сварка. Резка. Контроль. / под редакцией Алёшина Н.П, Чернышёва Г.Г. Том-2. -М.: Машиностроение 2004 -480с.
8. Газотермическое напыление металла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://czpu.ru/gazotermicheskoe-napylenie-metalla/ Дата обращения - 20.03.2018. – Загл.с экрана.
9. Газотермическое напыление (Thermal spraying) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tehnap.ru/40-gazotermicheskoe-napylenie.html Дата обращения - 15.04.2018. – Загл.с экрана.
10. Технологические особенности газотермических методов напыления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=652448 Дата обращения 15.04.2018. – Загл.с экрана.
11. Газотермическое напыление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://postnauka.ru/video/74330 Дата обращения 15.04.2018. – Загл.с экрана.
12. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://booktech.ru/books/svarka/9015-vosstanovlenie-detaley-mashin-napyleniem-i-naplavkoy-1987-i-sidorov.html Дата обращения 15.04.2018. – Загл.с экрана.

СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

В.Е. Чаткин, студент группы 3-10А41,
научный руководитель Ильященко Д.П.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В статье рассмотрено современное состояние оборудования для сварки под флюсом.

Сварка под флюсом - это разновидность дуговой сварки плавлением, при которой горение дуги осуществляется под действием слоя флюса, способствующего защите сварочной зоны от негативного атмосферного влияния. Помимо выполнения защитной функции флюс обеспечивает стабильное горение дуги, оказывает металлургическое действие на металл, обеспечивая легирование, рафинирование и раскисление металлического расплава ванны, а также препятствует его разбрызгиванию [1].

Обладающий низкой проводимостью тепла расплавленный флюс в режиме автоматической сварки способен замедлять остывание шва, что позволяет растворенным в ванне газам со шлаковыми образованиями подниматься на ее поверхность, таким образом наплавленный металл подвергается рафинированию (очищается от загрязнений). Затвердевшая после расплавления часть флюса покрывает площадь шва толстой коркой из шлака, которая без труда удаляется по завершении дуговой сварки. Оставшийся нерасплавленным флюс собирают со шва по окончании работы с помощью пневматического приспособления для вторичного применения [1].

В качестве оборудования для дуговой сварки плавлением под слоем флюса используют трактора и портальные машины. Рассмотрим более подробно типы оборудования для рассматриваемого вида сварки.

Дуговую сварку под флюсом применяют при изготовлении сварных конструкций, имеющих швы длиной более 1 метра, например при изготовлении решетчатых конструкций (ферм, мостов и т.д.) мостов, емкостей для хранения жидкостей большого объема, магистральных трубопроводов большого диаметра и других изделий. Автоматы для дуговой сварки плавлением под слоем флюса рассчитаны на получение стыковых и угловых швов металлов толщиной 2.. .80 мм, специальные автоматы выполняют сварку металлов толщиной до 400 мм. В структуре условного обозначения полуавтоматов и автоматов буквы указывают вид изделия и способ защиты дуги (Ф - флюс, Г - газ, И - инертный газ, О - открытый дугой). Цифры обозначают номинальный сварочный ток (в десятках, сотнях, гектоамперах) и номер модификации. Далее указывается вид климатического исполнения и размещения и напряжение питающей сети.

Наиболее часто на промышленных предприятиях используются автоматы для дуговой сварки плавлением под слоем флюса (рисунок 1). Чаще всего используют для сварки под флюсом автоматы (трактора) (рисунок 1) у которых подача сварочной проволоки в место сварки полностью автоматизирована специальным устройством.

Рис. 1 Трактор для сварки под слоем флюса АДФ 1250

Сварочный трактор АДФ-1250 (комплектуется источником ВДУ-1250) предназначен для сварки и наплавки электродной проволокой под флюсом изделий из низкоуглеродистых сталей. АДФ-1250 – самоходное устройство, в котором подача сварочной проволоки, перемещение, и защита дуги происходит автоматически по определенной программ. Трактор позволяет, производит сварку стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, угловых швов наклонным электродом, а также

нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. В процессе работы трактор передвигается по изделию или по уложенной на нем направляющей линейке [2].

Автомат сварочный КА-001 (ТС-17) (рисунок 2) предназначен для сварки под слоем флюса соединений встык с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным и наклонным электродом, а также нахлесточных швов. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми [2].

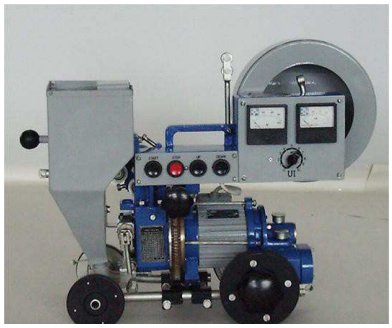


Рис. 2 Автомат сварочный КА-001

Автомат в процессе работы передвигается по изделию или по уложенной на нем легкой направляющей линейке. Состоит из собственно автомата и источника питания сварочного тока (переменного или постоянного тока) со встроенным блоком управления.

Трактор сварочный для сварки балочных конструкций, предназначен для автоматической одно- или двухдуговой сварки низкоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей (рисунок 3).

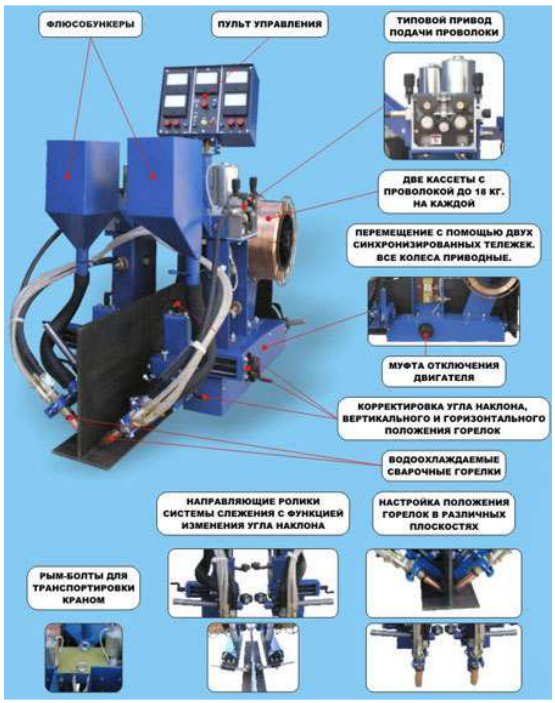


Рис. 3 Трактор сварочный для сварки балочных конструкций

Трактор может использоваться:

- для сварки под флюсом или в среде защитного газа (MIG/MAG);
- для сварки стыковых, угловых или нахлесточнык соединений, с разделкой и без разделки кромок, внутри и вне колеи трактора
- для сварки одной или двумя сварочными головками.

Трактор в процессе работы передвигается по изделию или направляющей профильной рейке. Точность движения обеспечивается механизмом слежения [2].

Существует и ряд портальных сварочных машин.

Портальная машина серии LMH (рисунок 4) предназначена для сварки стальных двутавровых балок. Сварочная колонна при помощи функции автоматического отслеживания дуги обеспечивает макс. точность сварочного пистолета. LMH оснащено автоматической подачей флюса сварки и системой восстановления, дополнительно повышающими производительность работы [3].

Рис. 4 Портальная сварочная машина

В последнее годы для производственных нужд промышленных предприятий назрел вопрос создания робота для процесса сварки под слоем флюса, поэтому компанией Lincoln Electric совместно с FANUC® M-710 был разработан робот (рисунок 5). В процессе создания робота была запатентована система подачи и удаления флюса Weld Engineering, которая обеспечивает подачу флюса, при этом флюс должен быть предварительно разогрет до температуры 177°C [4].

Рис. 5 Робот для сварки под слоем флюса

Промышленные предприятия используют классические сварочные трактора и портальные машины для сварки под флюсом, так и внедряют в производство инновационные разработки в области сварки, а именно сварочные роботы.

Список литературы

1. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков и др. - Под ред. А.И. Акулова. Учебник для вузов. - 2-е изд. - М.: Машиностроение, 2003. - 560 с.

2. http://www.svarkainfo.ru/rus/equipment/weldingapparatus/fluseq. Оборудование для сварки под флюсом. Дата обращения 26.04.2017г.
3. http://www.etwinternational.ru/4-1-4-gantry-saw-welding-machine-52031.html. Автоматическая портальная машина для сварки под флюсом, серия LMH. Дата обращения 26.04.2017г.
4. http://www.lincolnelectric.com/ru-ru/support/application-stories/Pages/east-end-welding-implements-robotic-submerged-arc-welding.aspx. EAST END WELDING: роботизированная сварка под флюсом в энергетической области. Дата обращения 26.04.2017г.

СПОСОБЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ НАНОПОРОШКАМИ

А.З. Ишанов, студент 10А42 группы
научный руководитель: Кузнецов М.А.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В статье рассмотрены способы модифицирования сварного соединения наноструктурированными порошками.

При различных способах сварки плавящимся электродом кристаллическое строение металла шва, обусловленное переходом жидкой сварочной ванны в твердое состояние, является одним из основных факторов, определяющих свойство и качества этого участка сварного соединения [1].

Существует два типа центров кристаллизации: естественные центры самопроизвольной кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны, центры несамопроизвольной кристаллизации в виде зерен другого материала (металла) на границе сплавления [2]. Центры несамопроизвольной кристаллизации применяются на практике для модифицирования — измельчения кристаллитов (структурных составляющих) при затвердевании [1].

Измельчение структуры наплавленного металла достигается за счет введения в жидкую сварочную ванну металлических и неметаллических нанопорошков. Свойства данных наноструктурированных порошков существенно отличаются от свойств макроскопических и микроскопических порошков с тем же химическим составом. Структурные составляющие измельчаются, что приводит к повышению механических и эксплуатационных свойств сварного соединения [3, 4, 5, 6].

В работе [3] рассмотрен способ сварки покрытыми электродами УОНИ13/55, при котором в электродное покрытие вводятся микрогранулы никеля, содержащие наноструктурированные частицы монокарбида вольфрама. В процессе сварки происходит следующее: микрогранулы, частично оплавляются на границе высокотемпературной зоны плазмы дуги, и попадают в сварочную ванну. В результате происходит измельчение структуры наплавленного металла, повышение твердости и ударной вязкости металла шва.

Также в литературе [4] представлен способ электрошлаковой сварки, при котором происходит введение наноструктурированных порошков в сварочную ванну. Введение данных порошков осуществляется за счет переплава дополнительного трубчатого электрода на никелевой основе, во внутренней полости которого находятся наноструктурированные частицы карбонитрида титана. По результатам экспериментальных исследований выявлено измельчение структурных составляющих зоны термического влияния, улучшение эксплуатационных и механических свойств металла шва.

В работе [5] представлена механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов. При данном способе происходит нанесение наноструктурных частиц на поверхность сварочной проволоки. На поверхности проволоки в медной матрице создается микрокомпозиционное покрытие из ультра- и наноструктурированных порошков галогенидов. По результатам исследований происходит улучшение стабильности горения дуги, мелкодисперсное формирование сварного шва и повышение производительности процесса сварки.

В работе [6] показаны способы введения частиц наноструктурированных порошков в сварочную ванну:

- никелекарбидные гранулы вводятся через порошковую проволоку;
- никелекарбидные гранулы со связующим калий-натриевым жидким стеклом наносятся на электродное покрытие;
- никелекарбидные гранулы наносятся на поверхность сварочной проволоки.

Наиболее эффективным способом является нанесение карбидов тонким поверхностным слоем на покрытие сварочных электродов.

Сотрудники кафедры Сварочного производства разработали способ модифицирования наплавленного металла, заключающийся во введении нанопорошков в жидкую сварочную ванну через защитный газ при помощи специального устройства. В данном способе возможна дозированная подача наноструктурированных частиц химических элементов.

Разработанное устройство предназначено для смешивания защитного газа и наноструктурированных порошков. В устройстве осуществляется регулирование частиц наноструктурированных порошков в объеме защитного (транспортирующего) газа, который подается в зону горения дуги.

Образование смеси в устройстве происходит за счет инжектирования наноструктурированного порошка защитным газом. Защитный газ, который подается через ниппель, проходит через осевой канал инжектора, попадает в смесительную камеру и создает разряжение 80 – 300 мм. рт. ст. в канале. Это приводит к подсасыванию наноструктурированных тугоплавких частиц из накопителя.

Регулирование концентрации наноструктурированных порошков в объеме защитного газа осуществляется за счет поворота регулировочного вентиля. Для исключения попадания в защитный газ с нанопорошком воздуха, в накопитель через ниппель подают дополнительный инертный газ аргон. Далее смесь нанопорошка с защитным газом попадает в жидкую сварочную ванну, проходя канал и дуговой промежуток.

Наноструктурированные порошки, попадая в жидкую сварочную ванну, служат несамопроизвольными центрами кристаллизации при образовании структурных составляющих сварного шва. Наноструктурированные порошки обладают высокой температурой плавления и не подвергаются растворению в жидкой сварочной ванне. Повышение количества центров несамопроизвольной кристаллизации в расплавленном металле приводит к образованию однородной, мелкодисперсной структуры сварного соединения.

Анализ экспериментальных исследований показал, что введение нанопорошков в жидкую сварочную ванну при дуговой сварке плавящимся электродом приводит к:

- модифицированию металла шва;
- повышению механических и эксплуатационных свойств сварного соединения;
- измельчению структурных составляющих наплавленного металла.

Список литературы

1. Лившиц Л.С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей). – М.: Машиностроение, 1979. – 253 с.
2. Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 559 с.
3. Соколов Г.Н., Трошков А.С., Лысак И.В., Самохин А.В., Благовещенский Ю.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Влияние нанодисперстных карбидов WC и никеля на структуру и свойства наплавленного металла. // Сварка и диагностика. – 2011. – №3. – с. 36-38.
4. Е.Н. Еремин Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. - №3. – с. 63-67.
5. С.Г. Паршин MIG-сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов. // Сварочное производство, 2011, №10, с.27-31.
6. Г.Н. Соколов, И.В. Лысак, А.С. Трошков, И.В. Зорин, С.С. Горемыкина, А.В. Самохин, Н.В. Алексеев, Ю.В. Цветков Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов, 2009, №6, с.41-47.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ СВАРОЧНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Е.А. Зернин, к.т.н., доц., Д.Е. Гусаров
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: zernin@tpu.ru

В работе рассмотрен принцип действия устройства для изготовления порошковой сварочной проволоки. Рассмотрена схема устройства, и основные этапы формирования заданной формы проволоки.

Порошковая проволока является одним из самых распространенных материалов, применяемых в сварочном производстве.

Такая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой (или более сложной) конструкции (рис. 1) с порошкообразным наполнителем, который представляет собой смесь газообразующих, шлакообразующих и легирующих компонентов в виде порошков металлов и ферросплавов [1].

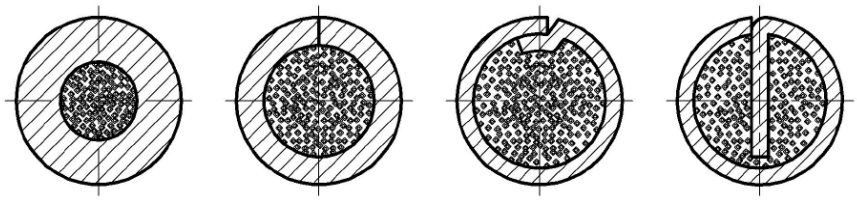


Рис.1 Некоторые конструкции сварочной порошковой проволоки [1]

Одним из направлений повышения эффективности применения порошковой проволоки в сварочном производстве является разработка новых составов наполнителей. Перспективным является применение нанопорошков неорганических материалов. Положительный эффект применения наноматериалов в сварочном производстве отражен в различных публикациях [2 – 7].

В данной работе приводится устройство для изготовления экспериментальных образцов сварочной порошковой проволоки (рис. 2). Отличительной особенностью данного устройства является его мобильность, и возможность адаптации к конкретным требованиям к составу наполнителя проволоки.

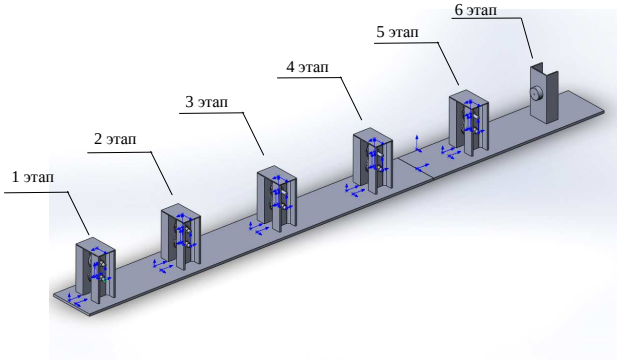


Рис.2 3D-модель устройства для изготовления порошковой сварочной проволоки

Этапы формования проволоки заданного диаметра представлены на рис. 3.

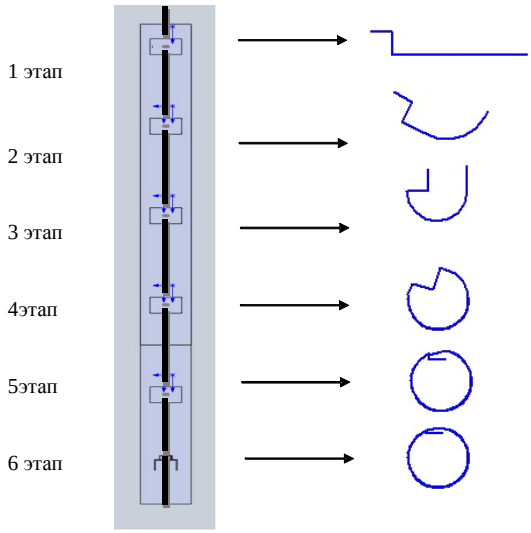


Рис. 3 Этапы формования сварочной проволоки.

На каждом этапе реализуются следующие изменения формы стальной ленты:

1 этап – прокатка ленты через ролики и получение ступени, которая будет служить в качестве замка для предотвращения высыпания шихты;

2 этап – постепенное предание ленте U - образной формы;

3 этап – получение U - образной формы и засыпание шихты, содержащей нанопорошок, которая поступает из бункера (на рисунках 2 и 3 не показан);

4 этап – на данном этапе края ленты сгибаются до соприкосновения замка с противоположной частью ленты;

5 этап – на предпоследнем этапе формируется трубка заданной формы, с защелкнутым замком;

6 этап – протяжка ленты через фильеру для придания порошковой проволоке заданного диаметра.

Устройство для получения порошковой проволоки позволяет изготовить из стальной ленты трубку с «замком», наполненную шихтой, поступающей из бункера по подводящим каналам. Принцип работы устройства основан на прокатывании ленты через ролики с разными формами. На начальном этапе необходимо изготовить замок, который предотвратит высыпание шихты. Придание U-образной формы достигается не сразу, а поэтапным прокатыванием ленты через ролики. Завершающими этапами являются закрытие «замка» ленты, и протяжка порошковой проволоки через фильеру с целью получения заданного диаметра проволоки.

Данное устройство позволяет изготавливать порошковую проволоку различного диаметра. При этом возможно изготовление проволоки небольшого количества, что особенно важно при использовании в составе наполнителя нанопорошков неорганических материалов.

Список литературы

7. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. – М.: Машиностроение, 2003. – 416 с.
8. Кузнецов М.А., Зернин Е.А. Нанотехнологии и наноматериалы в сварочном производстве // Сварочное производство. 2010. № 12. С. 23 – 26.
9. Кузнецов М.А., Колмогоров Д.Е., Зернин Е.А. Управление структурой и свойствами металлов методом модифицирования // Технология машиностроения. 2012. № 2. С. 5 – 8.
10. M.A. Kuznetsov, E.A. Zernin Nanotechnologies and nanomaterials in welding production (review) // Welding International. Vol. 26, Issue 4, November 2012, P. 311 – 313.
11. Патон Б.Е. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники / Б.Е. Патон, А.Я. Ищенко, А.И. Устинов // Автоматическая сварка. – 2008. – №12. – С. 5 - 12.
12. Черепанов А.Н. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов / А.Н. Черепанов, Ю.В. Афонин, А.Г. Маликов, А.М. Оришич // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №4. – С. 25 – 26.
13. Паршин С.Г. MIG – сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов / С.Г. Паршин // Сварочное производство. – 2011. – №10. – С. 27-31.

СТРУКТУРА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО КОМБИНИРОВАННЫМИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Е.М. Буракова[1], В.И. Данилов[1,2], д. ф-м.н., проф., Е.А. Зернин[1], к.т.н., доц., Г.В. Шляхова[2], к.т.н., доц., А.А. Зеленковский[1]
[1]Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4

В работе приведена структура металла, наплавленного штучными электродами с дополнительным покрытием, содержащим нанопорошки вольфрама. Рассмотрен принцип обработки жидкого стекла с нанопорошком на ультразвуковой установке.

Одной из основных задач применения нанопорошков в сварочных материалах является обеспечение равномерного распределения таких порошков по объему покрытия штучных электродов, шихты порошковой проволоки и т.д.

Наноматериалы имеют тенденцию к агломерации при перемешивании в жидкости. Поэтому требуются эффективные средства деагломерации и диспергирования для того чтобы преодолеть связующие силы, действующие после смачивания порошка. Ультразвуковое разрушение структур агломератов в водных и неводных суспензиях позволяет использовать весь потенциал наноразмерных материалов [1]. Диспергирование и деагломерация, полученные при помощи ультразвуковой обработки, являются результатом ультразвуковой кавитации [2].

В данной работе за основной сварочный материал были взяты покрытые штучные электроды Э-46. На поверхность электродов методом окунания наносили жидкое стекло, содержащее нанопорошок вольфрама. Предварительно жидкое стекло вместе с нанопорошком подвергали обработке, используя ультразвуковой процессор модели UIP1000hd (рис. 1). Этот аппарат предназначен для ультразвуковой обработки жидких образцов в лабораторных и промышленных условиях. Ультразвуковой процессор создает продольные механические колебания частотой 20кГц посредством электрического стимулирования (обратного пьезоэлектрического эффекта). Схема лабораторной установки для ультразвуковой кавитации жидкого стекла представлена на рис. 2.

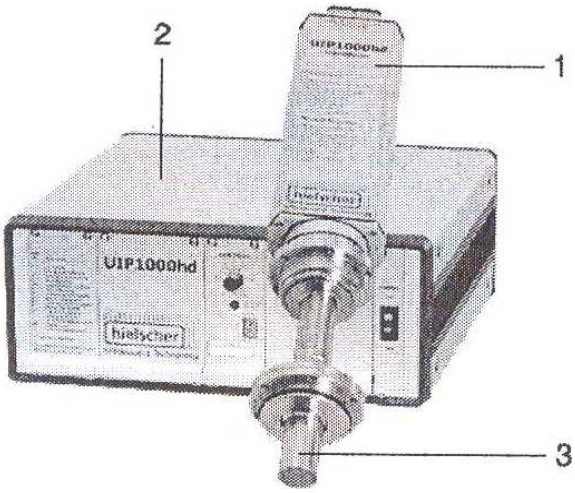


Рис. 1 Общий вид: ультразвуковой процессор UIP1000hd с волноводом BS2d34 и RFLA100 [3]: 1 – преобразователь; 2 – генератор; 3 - волновод BS2d34 с фланцем RFLA100

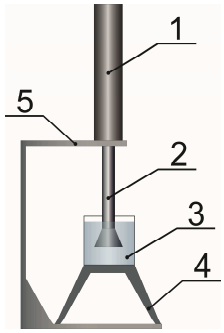


Рис. 2 Схема установки: 1 - ультразвуковой преобразователь; 2 – рожок преобразователя, волновод; 3 – сосуд для смешивания; 4 – лабораторный подъемник; 5 – подставка ST2.

Полученные комбинированные электроды использовали для наплавки на поверхность пластин из стали Ст3. После наплавки проводили микроструктурный анализ по схеме, представленной на рис. 3. При этом концентрация нанопорошка в жидком стекле, наносимом на электроды для наплавки, была различной.

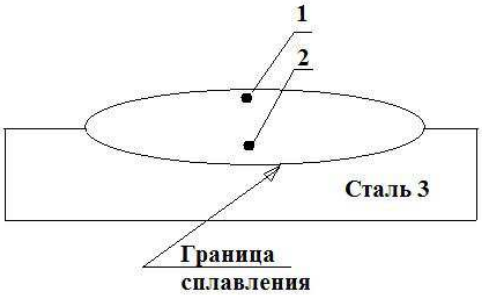
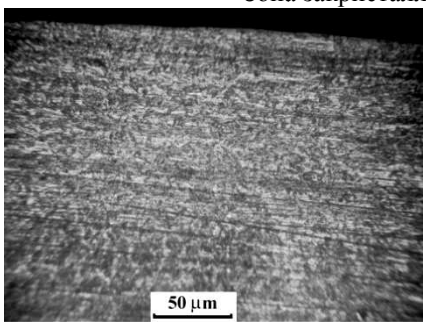
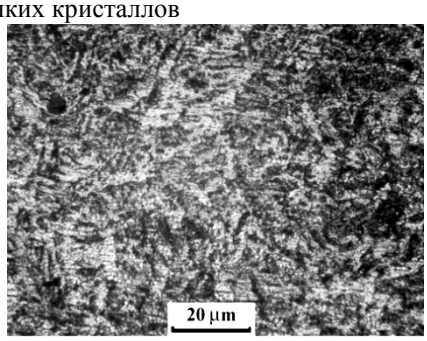


Рис.3. Схема исследования наплавленного металла:
1 - зона закристаллизованных мелких кристаллов; 2 - зона столбчатых кристаллов.

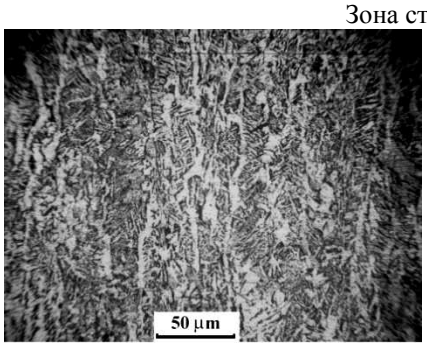
Микроструктура наплавленных слоев представлены на рис. 4.

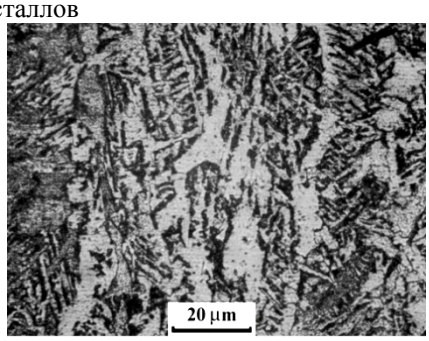
Зона 1
Зона закристаллизованных мелких кристаллов





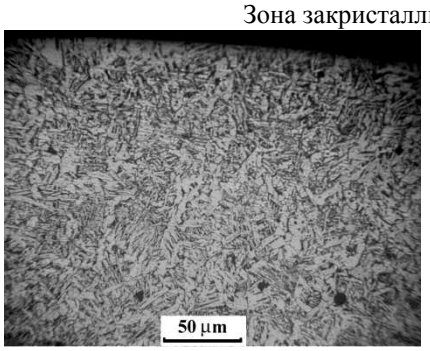
Зона 2
Зона столбчатых кристаллов

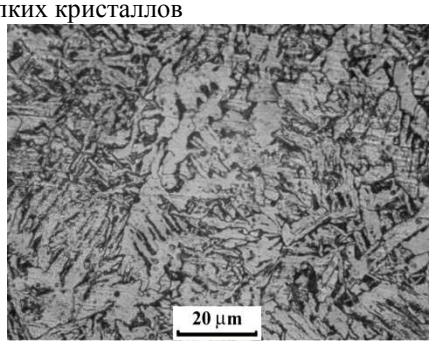




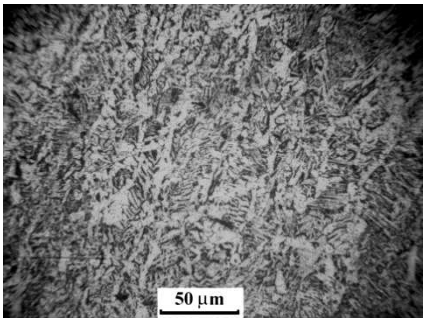
а

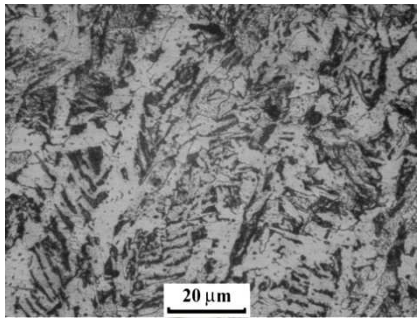
Зона 1
Зона закристаллизованных мелких кристаллов





Зона 2
Зона столбчатых кристаллов





x200 x500

б

Рис. 4 Микроструктура наплавленного металла: а –концентрация нанопорошка W 0,525 г на условную единицу объема жидкого стекла; б – концентрация нанопорошка W 0,875 г на условную единицу объема жидкого стекла). Примечание: в обоих случаях Зона 2 имеет ветвистое строение. «Ствол» – первичный феррит.

Экспериментальные данные приведены в таблице 1

Таблица 1

Образец с содержанием W, г	Средний размер зерна, мкм	Поперечный размер «ствола», мкм	Длина «веток», мкм
0,525	5,5±1,2	6,2±1,0	14,0±2,0
0,875	6,1±2,2	4,0±2,7	11,9±1,1

Предварительный анализ экспериментальных данных показал, что металл, наплавленный комбинированными электродами с нанопорошком, имеет некоторые отличия в величине зерна, поперечном размере «ствола» и длине «веток».

Однако, для более полного представления о влиянии нанопорошка в комбинированных электродах на структуру наплавленного металла, необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить закономерность влияния концентрации нанопорошка в жидком стекле на микроструктуру.
2. Определить оптимальную концентрацию нанопорошка в жидком стекле, обесечивающую необходимое модифицирование наплавленного металла.
3. Оценить равномерность распределения нанопорошка в жидком стекле при различных режимах обработки жидкого стекла для исключения агломерации при перемешивании.

Список литературы

1. Ультразвуковые лабораторные устройства и промышленные установки [Электронный ресурс]: режим доступа: http://www.ultrazvuc.ru/product/products_type_id/2/products_id/9. Дата обращения 14.04.2018.
2. Производство наноматериалов [Электронный ресурс]: режим доступа: http://www.ultrazvuc.ru/industrie/industries_area_id/2/industries_id/4. Дата обращения 14.04.2018.
3. Hielscher - Ультразвуковая техника. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]: режим доступа: http://www.hielscher.com. Дата обращения 14.04.2018.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Д.Е. Гусаров, студент группы 10А42,
научный руководитель: Зернин Е.А.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В статье рассмотрены физико-химические, энергетические и металлургические пути повышения эффективности применения сварки в защитных газах

Одним из ведущих мест во многих отраслях промышленности, в том числе машиностроении занимает сварка в защитных газах, как в России, так и в многих зарубежных странах [1].

Такие факторы как безопасность, качество, срок службы металлоконструкций и борьба конкурентов, вызывают внедрение и применение новых технологических решений [2].

Данные решения в основном направлены на изменение физико-химических, энергетических и металлургических процессов при сварке.

Так, например, характер переноса капель электродной проволоки и теплофизические параметры сварочной дуги на прямую зависят от элементов, которые входят в состав электродной проволоки и лежат на ее поверхностном слое. Введение элементов, в столб дуги, имеющих низкий потенциал ионизации широко применяется для повышения стабильности горения [2].

Применение функциональных покрытий, которые наносятся на поверхность изделия непосредственно перед сваркой является одним из многих способов повышения производительности и эффективности процесса сварки. Функциональные покрытия универсальные. Введение в зону столба дуги активирующих присадок в небольших количествах – является одной из основных функций. Положительный эффект от данных присадок на перенос электродного металла, горение дуги и формирование швов связанно с увеличением объемной ионизации в зоне столба дуги, и как следствие, с увеличением электропроводимости дугового промежутка. Данный фактор значительно увеличить

диапазон режимов сварки, процесс переноса электродного металла сделать более стабильным, снизить потери металла на разбрызгивание и угар [2].

Использование нестационарных импульсных процессов, реализация которых основывается на различных технических средствах влияет на энергетические функции режима сварки. Первый – управление процессом переноса капель электродного металла, основывающийся на импульсном режиме сварочной дуги, второй – механическое программирование режима перехода капли металла в сварочную ванну благодаря подачи электродной проволоки импульсами [3].

Сварка с импульсным режимом подачи электродной проволоки является нестандартным процессом, т.к., происходит изменение силы сварочного тока, что, оказывает влияние на характер плавления электродной проволоки и перенос металла через дуговой промежуток. В случае применения импульсного режима подачи электродной проволоки, дозы электродного металла, которые задаются шагом подачи, благодаря действиям силы инерции переходят в сварочную ванну в момент остановки проволоки. Поскольку ускорение электродной проволоки достаточно выше ускорения свободного падения, то и скорость отрыва капли металла будет больше при ее обрыве в обычном режиме, исходя из этого делаем вывод что импульсный способ перед сваркой с непрерывной подачей электродной проволоки имеет преимущества при сварке в разных пространственных положениях [3].

Механизм подачи электродной проволоки для реализации импульсного режима должен иметь высокие динамические параметры, которые позволят достичь высокого нарастания скорости подачи и не менее высокого ускорения торможения [3].

Технологии сварки разработанные на базе управления механизмом подачи электродной проволоки позволяют: достичь управляемого переноса капли электродного металла, что снизит разбрызгивание и улучшит формирование шва; увеличит механические свойства соединения и уменьшит зону термического влияния [3].

Одним из современных способов влияния на металлургию процесса сварки и кристаллизацию сварочной ванны является применение элементов-модификаторов. Модификатор – элемент, который существенно влияет на свойства и структуру обработанного им сплава или металла. Модифицирование – эффект от данной обработки [4, 5]. Модифицирование – процесс управления начала кристаллизации или степени изменения размерности кристаллизующихся фаз методом введения добавок в расплав отдельных элементов или их соединений [5, 6].

Измельчения микро и макрозерна можно добиться модифицированием; первичных кристаллов; фазовых составляющих эвтектик; формы; изменения размера а так же расположения неметаллических включений. Существует несколько способов, которыми можно осуществить модифицирование металлов: введением добавок-модификаторов в расплав; использование разных физических воздействий (управление температурой расплава, ультразвук, предварительное снижение температуры расплава при переливе, вибрация, электромагнитное перемешивание, литье в температурном диапазоне кристаллизации); сочетанием вышеизложенных способов [5].

Можно разделить модификаторы по природе влияния на 3 группы: модификаторы первого рода, второго и третьего рода. Модификаторы 1-го рода оказывают влияние на структуру благодаря изменениям энергетических характеристик (поверхностное натяжение и энергия активации) зарождение новой фазы. Модификаторы 2-го рода структуру изменяют, оказывая на нее влияние, как зародыши твердой фазы. Модификаторы 3-го рода – холодильники / инокуляторы – понижают температуру металла и увеличивают скорость кристаллизации, замедляя тем самым образование ликвации элементов [5].

Элементы модификаторы нашли применение на практике в различных отраслях машиностроения. Применение модификаторов в сварочном производстве отражено в работах [7, 8, 9, 10]. Введение таких элементов в сварочную ванну позволяет не только влиять на процесс кристаллизации, но и на эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Так, например, в работах [12, 13, 14, 15] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния наноразмерных модификаторов на процесс сварки, структуру и свойства сварных соединений. Основными выводами серии данных работ являются:

- установлено, что порошки-модификаторы положительно воздействуют на кристаллизацию. Использование модификаторов, полученных взаимодействием электровзрывного нанодисперсного алюминия с водой, более эффективно оказывают воздействие на механические свойства и структуру сварного шва, а модификаторы, полученные способом ЭВП, оказали положительное влияние на коррозионную стойкость сварного шва;

- одним из эффективных способов модифицирования [5] сварных швов является подача ультрадисперсных порошков в зону расплавленного слоя через транспортирующий газ, размер частиц при этом должен находиться в диапазоне 100-150нм;

- выявлено, что при модифицировании поверхностного слоя ультрадисперсными порошками [5] Mo AlO(OH) и W используется наибольший эффект модифицирования шва системы Fe–C–Cr–Ni–Ti и происходит увеличение его эксплуатационных свойств, что объясняется формированием в расплаве дополнительных центров кристаллизации, служащих инокуляторами в кристаллизующемся металле [5];

- экспериментальным методом выявлено, что в зависимости от компонентов используемых порошков-модификаторов микро твёрдость сварного шва возрастает на 10…15%, временное сопротивление на разрыв на 5-10%, предел текучести на 10-21%, относительное удлинение до 10-25%, склонность к появлению межкристаллитной коррозии снижается до 40-50%,

Список литературы

1. Зернин Е.А. Технологические и реологические свойства покрытий, применяемых при сварке в углекислом газе: научное издание – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 133 с.
2. Сабиров И.Р., Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Применение функциональных покрытий при дуговой сварке плавящимся электродом // Новые промышленные технологии. 2009. №1. С. 7 – 8.
3. Федько В. Т., Брунов О. Г., Солодский С.А. Крюков А. В, Соколов П. Д. Методы борьбы с разбрызгиванием при сварке в CO_2 // Технология машиностроения. 2005. №5. С. 24– 30.
4. Большая советская энциклопедия. Второе издание. Т 28. – М., 1969 – 1978. – 660 с.
5. Кузнецов М.А., Колмогоров Д.Е., Зернин Е.А. Управление структурой и свойствами металлов методом модифицирования // Технология машиностроения. 2012. № 2. С. 5 – 8.
6. Рябчиков И.В, Панов А.Г., Корниенко А.Э. О качественных характеристиках модификаторов // М. Сталь. – 2007. – №6. – с. 18 – 23.
7. Соколов Г.Н., Лысак И.В., Трошков А.С., Зорин И.В., Горемыкина С.С., Самохин А.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Модифицирование структуры наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – №6. – с. 41 – 47.
8. Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. – №3. – с. 63 – 67.
9. Жеребцов С. А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.
10. Афонин Ю. В., Черепанов А. Я., Оришич А. М., Батаев А. А., Буров В. Г., Маликов А. Г. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых инокуляторов. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научной - практической конференции. – Санкт – Петербург, 2008 – Т. 12 – с. 322 – 324.
11. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №4. – с. 25 – 26.
12. Кузнецов М.А. Строение, морфология и дисперсность металла, наплавленной дуговой сваркой плавящимся электродом в аргоне в присутствии наноструктурированных модификаторов / М.А. Кузнецов, Е.А. Зернин, Д.Е. Колмогоров, Г.В. Шляхова, В.И. Данилов // Сварка и диагностика. – 2012. – №6. – С. 8-10.
13. Кузнецов М.А. Влияние ультрадисперсных порошков-модификаторов на структуру сварного шва / М.А. Кузнецов, С.П. Журавков, Е.А. Зернин, Д.Е. Колмогоров, Н.А. Яворовский // Известия вузов. Физика. – 2013 – Т. 56 – №. 7/2. – С. 260-264.
14. Кузнецов М.А. Коррозионная стойкость сварных соединений, полученных с использованием нанопорошков / М.А. Кузнецов, Журавков, С.П. Е.А. Зернин, Н.А. Яворовский // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – №. 9/3. – С. 118-122.
15. Кузнецов М.А. Структурообразование сварных соединений в присутствии нанопорошка молибдена / М.А. Кузнецов, С.П. Журавков, Е.А. Зернин, Н.А. Яворовский // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – №. 9/3. – С. 123-127.

НАНОМАТЕРИАЛЫ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.В. Десятов, студент группы 10А72
научный руководитель: Кузнецов М.А.
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

В данной работе рассмотрены наноструктурированные материалы, применяемые в сварочном производстве, для модифицирования наплавленного металла.

Нанотехнологии – это высокотехнологичная отрасль, направленная на изучение атомов и молекул [1]. Одним из важных направлений является получение наноструктурированных частиц, наноструктурированных порошков и их использование в практике. Используя наноструктурированные порошки можно во много раз увеличить качество различных материалов и продуктов. Наноструктурированные материалы которые производятся на сегодняшний день, подразделяются на: оксиды металлов, сложные оксиды (состоящих из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси. Наноструктурированые материалы могут сохранять пластичность при повышение прочностных характеристик в отличие от обычных методов обработки металлов [2].

Применение наноструктурированных материалов (наноструктурированных частиц и порошков) в сварочном производстве, является достаточно новыми направлением. Хотя на сегодняшний день уже есть научные разработки по применению наноструктурированных порошков для изготовления сварочных материалов (электроды, порошковая проволока) и для модифицирования наплавленного металла.

В работе [3] показано применение наноструктурированных материалов при высокотемпературной обработке никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье и электрошлаковой сварке. Это дает возможно управлять микро- и макроструктурой данных сплавов и их эксплуатационными, физическими, механическими свойствами. Введение наноструктурированных частиц карбонитрида титана в расплав происходит в виде нанокристаллов, которые служат центрами кристаллизации.

В работе [4] показана технология лазерной сварки с применением наноструктурированных порошков тугоплавких соединений (TiC, TiN) с наноразмерными частицами. Применение данной технологии в производстве позволит получать сварные соединения с повышенными механическими свойствами и измельченной структурой. Сварное соединение с мелкодисперсной структурой в несколько раз прочнее, чем с дендритно-игольчатой. Уменьшение размера неметаллических включений, приводит к повышению механических и эксплуатационных свойств сварного соединения, увеличивается предел текучести и предел прочности.

В работах [5, 6] представлен процесс лазерной сварки с применением наноструктурированных инокуляторов. При применение наноструктурированных порошков происходит повышение скорости сварки (мощность луча одинаковая), это достигается увеличением коэффициента поглощения интенсивности лазерного излучения. Происходит уменьшение ширины сварного шва, зоны термического влияния, улучшение качества сварного соединения, измельчение структуры сварного шва, возрастание его механических характеристик.

В работе [7] представлен процесс лазерной сварки стали с титановым сплавом. При проведении экспериментальных исследований использовались коррозионно-стойкая сталь и титановый сплав с промежуточными медными вставками. Сварное соединение, полученное данным способом обладает высокой прочностью.

В работе [8] описан процесс диффузионной сварки жаропрочных никелевых сплавов с применение наноструктурированных материалов. В качестве соединительного слоя использовали пленки из Ni-Al сплава с различной структурой (наноструктурированные кристаллические монолиты интерметаллидов Ni_3Al и $NiAl_3$), это позволяет сохранить в сварном соединении структурную и кристаллографическую ориентировку исходного материала.

Следует отметить, что при всех способах сварки происходит нагрев материалов до температуры, обеспечивающей их расплавление или активацию диффузионных процессов в зоне соединения. Этот процесс приводит к необратимым структурным превращениям и деградации первоначальных физико-механических свойств материала.

Решения такой задачи в целом определяется тем, что в качестве сварочных присадок применяют быстрокристаллизующиеся аморфизированные гомогенные ленты или композиционные тонкопленочные материалы с нанослойной структурой, что позволит снизить температуру процесса соединения в твердой фазе можно снизить. В качестве сварочных присадок применяют многослойные наност-

руктурированные пленки, состоящие из многослойных композиций различных металлических элементов (Ti/Al, Ni/Al, Cu/Al). Данные пленки обладают высоким сопротивлением пластической деформации и упругим восстановлением, а также важными эксплуатационными характеристиками: высокая твердость, жаростойкость, износо- и коррозионная стойкость, устойчивость к ударным воздействиям, высокими значениями электросопротивления.

Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных фольг представлены в работах [9, 10]. В исследованиях использовали следующие способы сварки: дифузионная, электронно-лучевая, прессовая и контактная. Соединения, полученные без использования наноструктурных фольг, имеют слабые прочностные характеристики и наличие трещин в шве и зоне термического влияния. С использованием наноструктурированных фольг происходит интенсивное выделение тепла в стыке, что позволяет уменьшить время сварки, грата, зоны термического влияния, температуры сварки. Сварное соединение получается со стабильной макроструктурой. [10, 11].

В работе [12] представлено способом диффузионной сварки в вакууме сплавов на основе титана и алюминия с использованием нанопрослойки. При отклонении режима от оптимального в зоне термического влияния возникают напряжения, что приводит к образованию трещин. Соединение, полученное диффузионной сваркой без нанопрослойки, имеют низкую прочность, а сварные соединения с нанопрослойкой (Ti/Al) имеют структуру подобную основному металлу. Отсутствуют поры и трещины в сварном шве и в зоне термического влияния, что показывает высокое качество сварного соединения.

Список литературы

1. Патон Б. Е., Ищенко А. Я., Устинов А. И. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники // Автоматическая сварка. – 2008. - №12. – с. 5 - 12.
2. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург. Уро. РАН, 1998. – 199 с.
3. Новые материалы / под редакцией Ю. С Карабасова Ю. С. – М.: МИСИС, 2002 – 736 с.
4. Жеребцов С. А. Применение наноматериалов и высокотемпературной обработки никельхромовых сплавов при электрошлаковом литье: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новокузнецк, 2006. – 22 с.
5. Наночастицы в каждый самолет // Наука и жизнь. – 2008. - №4. – с. 8.
6. Афонин Ю. В., Черепанов А. Я., Оришич А. М., Батаев А. А., Буров В. Г., Маликов А. Г. Лазерная сварка титана с использованием нанопорошковых инокуляторов. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: сборник трудов 5 Международной научной - практической конференции. – Санкт – Петербург, 2008 – Т. 12 – с. 322-324.
7. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Маликов А. Г., Оришич А. М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной сварке и обработке металлов и сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №4. – с. 25 – 26.
8. Черепанов А. Н., Афонин Ю. В., Оришич А. М. Лазерная сварка стали с титановым сплавом с применением промежуточных вставок и нанопорошковых инокуляторов // Тяжелое машиностроение. – 2009. – №8. – с. 24 – 26.
9. Ющенко К. А. Задерий Б. А., Звягинцева А. В., Кушнарева Т. Н., Несмих В. С., Полищук Е. П., Савченко В. С. Применение наноструктурных материалов при диффузионной сварке жаропрочных никелевых сплавов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 11. – с. 3 - 10.
10. Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., наконечный А. А. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминиево-титановых фольг // Автоматическая сварка. – 2009. – №3. – с. 19 – 22.
11. Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сахацкий А. Г., наконечный А. А. Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием наноструктурных алюминиево-никелевых и алюминиево-медных фольг // Сварочное производство. – 2007. – №9. с. 12 – 14.
12. Устинов А. И., Фальченко Ю. В., Ищенко А. Я.,Харченко Г. К., Мельниченко Т. В., Муравейник А. Н Получение неразъемных соединений сплавов на основе γ-TiAl с использованием нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме // Автоматическая сварка. – 2009. – №1. – с. 17 – 21.

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМАГНИТНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

А.А. Николаева, студентка, П.Э. Тимофеева, студентка
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
19, г. Санкт-Петербург ул. Передовиков 13 корпус 1, тел. 8 (981) 802-53-72
E-mail: nikolka-vinni@mail.ru

В статье описывается изучение измерения концентрации кислорода в воздухе с помощью термомагнитного газоанализатора.

Задача измерения кислорода имеет первостепенную ценность. Где же нужны эти измерения? Широкое применение различных газов в технологических процессах большинства отраслей промышленности требует постоянного контроля отсутствия утечек этих газов с целью обеспечения безопасности производства и снижения рисков для персонала. Для постоянного мониторинга загазованности устанавливаются специальные системы обнаружения газов. Эти системы, состоящие из детекторов газа (газоанализаторов), контроллеров, устройств оповещения и исполнительных устройств, выполняют функции раннего предупреждения о развитии опасной ситуации. Тем самым системы обнаружения газов позволяют локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, а также увеличивают период времени для принятия соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций.

Ознакомление с типичными сферами применения газоанализаторов.

Чтобы системы контроля загазованности имели наибольшую эффективность при их проектировании необходимо учитывать специфику конкретного технологического процесса данной отрасли производства. Ведь универсального решения по построению систем детектирования газов для разных отраслей промышленности не существует - каждый случай уникален и требует индивидуального подхода с точки зрения архитектуры построения систем безопасности, выбора числа точек контроля загазованности и перечню детектируемых газов. Газоанализаторы применяются в следующих областях:

- Системы жизнеобеспечения;
- При производстве полупроводниковых и кремниевых материалов;
- Водопроводы;
- Газопроводы;
- Канализационные стоки;
- Шахтное дело.

Если концентрация кислорода приблизится к значениям 10 % об. и ниже, человек потеряет сознание. В зависимости от отрасли и вида технологических процессов, пороги измерения концентрации кислорода могут варьировать в пределах 17,8; 19,5 или 20,5 % об. Допустимые пределы концентрации кислорода в атмосфере базируются на многолетних научных исследованиях, и вытекают из двух основополагающих факторов – наличию непосредственной угрозы жизни или здоровью человека, и возможности принятия оперативных мер для устранения этой угрозы. Поэтому в современных приборах газового контроля существуют два порога срабатывания сигнализации – предупреждающий и аварийный.

Применение в производственных процессах опасных веществ, в частности легковоспламеняющихся, токсичных и кислородосодержащих газов, требует постоянного мониторинга ситуации. Ведь неизбежно в ходе нарушения технологии производства, производственных аварий и инцидентов могут случаться утечки газов, которые представляют потенциальную опасность для промышленного предприятия, экологии, персонала и людей, проживающих поблизости. Применение систем обнаружения газов позволяет существенно снизить риски и повысит безопасность производства.

Рассмотрение устройства и принципа работы газоанализатора

Термомагнитные газоанализаторы предназначены для измерения содержания кислорода в газовых смесях. Принцип действия термомагнитных газоанализаторов основан на различии магнитных свойств газов, оцениваемых величиной магнитной восприимчивости, характеризующей интенсивность намагничивания газа. Наиболее распространенный способ измерения кислорода – использование парамагнитных свойств кислорода.

По своим магнитным свойствам все газы могут быть разделены на парамагнитные и диамагнитные. Парамагнетизм — это свойство веществ, помещенных во внешнее магнитное поле, намагничиваться (приобретать магнитный момент) в направлении, совпадающем с направлением этого поля. Парамагнитные газы в холодном состоянии способны намагничиваться и втягиваться в магнитное

поле, а именно в те области, где напряжение магнитного поля выше по сравнению с окружающей средой. Из парамагнитных газов кислород обладает наибольшей магнитной восприимчивостью, величина которой уменьшается с повышением температуры газа.

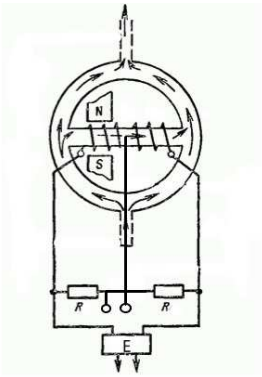


Рис. 1. Схематичное изображение кольцевой камеры газоанализатора.

В двух словах об устройстве. Основная часть его представляет собой кольцевую камеру с горизонтальной соединительной трубкой. На трубке имеется слева и справа две миниатюрные платиновые проволочки, накаливаемые током. Одна половина, кроме того, имеет катушку, пропускающую ток, создается магнитное поле, в эту область втягивается кислород из воздушного потока. Это увеличивает теплопроводность левой половины воздуховода и, следовательно, отдачу тепла от платиновых проволочек. Обе проволочки включаются в измерительный мост, и напряжение в измерительной диагонали моста пропорционально концентрации кислорода. Данное устройство градуируется на стандартных газовых смесях. Точность его зависит от качества градуировки.

В статье описано изучение измерения концентрации кислорода в воздухе с помощью термомагнитного газоанализатора.

Список литературы

1. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами : учеб. пособие / В.П. Ившин, М.Ю. Перухин. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 402 с.
2. Система управления химико-технологическими процессами: Учебное пособие / Федоров А.Ф., Кузьменко Е.А., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 224 с.
3. Газоаналитическое отображение явлений в производственных процессах: Монография / Н.В. Дараселия, И.В. Швецов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 92 с.
4. Датчики автомобильных электронных систем управления и диагностического оборудования:Учебное пособие/НабокихВ.А. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 240 с.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ МЕХАНОАКТИВАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ В СИСТЕМЕ TI-AL

А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., М. В. Логинова, к.т.н., с.н.с., А. Ю. Мясников, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

Работа посвящена изучению структурного состояния порошковой смеси состава Ti-Al на различных этапах механоактивационной обработки. Установлено, что с увеличением времени механоактивации (при энергонапряженности мельницы 40 g) изменение структурных параметров компонентов смеси носит несистематический характер, что обусловлено деформационными процессами, происходящими при механоактивационной обработке.

The work is devoted to the study of the structural state of a Ti-Al powder mixture at various stages of mechanical activation treatment. It was found that with the increase in the time of mechanoactivation (at a power stress of the mill 40 g), the change in the structural parameters of the components of the mixture is of an unsystematic nature, which is due to deformation processes occurring during mechanical activation treatment.

Механохимический синтез (МС) и предварительная механоактивационная обработка (МА), проводимые в высокоэнергетических шаровых мельницах, способствуют созданию активных состояний в твердом теле, позволяют изменять структуру и состав получаемых продуктов, получать порошковые композиционные наноразмерные материалы с уникальными свойствами [1-3]. Особый интерес представляют механокомпозиты, сформированные до реализации механохимического синтеза. Экспериментальные исследования показали, что использование механической активации позволяет создать эффективную технологию подготовки исходного материала для высокотемпературного синтеза [4-7]. Применение механокомпозитов в качестве прекурсоров при проведении высокотемпературного синтеза, увеличивает возможности протекания химических реакций в твердофазном режиме: расширяет концентрационные пределы горения, меняет температуру и скорость горения, температуру воспламенения и др. [8-12].

Известно, что механическая активация начинается с простого смешивания порошков исходных компонентов [13]. На начальной стадии обработки первоначальные столкновения частиц порошка с шарами приводят к пластической деформации частиц и их расплющиванию. Продолжение пластической деформации сопровождается увеличением отношения площади поверхности частиц к их объему. В процессе деформации частиц вскрываются чистые внутренние слои металла-компонента, которые вступают в тесный контакт с чистыми слоями другого металла-компонента, обуславливая процесс сварки. Сопровождающее пластическую деформацию упрочнение достигает критического значения, и образовавшийся объект разрушается. В дальнейшем происходит многократное параллельное повторение трех процессов: пластической деформации, сварки и разрушения обрабатываемых частиц. Материал при этом приобретает слоистое извилистое строение и, в конечном счете, его структура фрагментируется до наноразмерных объектов. По окончанию начальной стадии сплавления образуется смешанная гетерофазная система, называемая механокомпозитом [14]. Механокомпозит имеет морфологически метастабильную структуру с большой плотностью межфазных границ между исходными компонентами, которые обеспечивают развитую контактную поверхность и высокую концентрацию дефектов вследствие большого числа атомов на поверхностях и в приповерхностных слоях. Такая система обладает большой запасенной энергией, что, в совокупности с чрезвычайно большой контактной поверхностью между наноразмерными компонентами, обеспечивает высокую реакционную способность системы. Вместе с тем, несмотря на практически идеальную поверхность контакта реагентов в матрице, в объеме механокомпозита могут наблюдаться крупные включения более хрупкого компонента, находящегося в контакте с пластичным реагентом [15]. Следует отметить, что вопросы, связанные с возможностью изменения указанной структуры как на макро-, так и на микроуровне, могут иметь важное значение для последующего получения продукта синтеза требуемого состава, структуры и свойств.

В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования влияния режимов механоактивационной обработки на структурное состояние порошковой смеси Ti+Al, с целью подбора оптимальных режимов предварительной механоактивации для получения прекурсоров для реализации высокотемпературного синтеза. Выбор системы Ti-Al обусловлен тем, что интерметаллиды на основе алюминидов титана, обладая уникальному комплексу физических и механических свойств, являются перспективными высокотемпературными конструкционными материалами [16-19]. В этой

связи, получение мелкодисперсных порошков на основе алюминидов титана, как базового сырья для разработки новых конструкционных материалов, является актуальной задачей.

В качестве объектов исследований использовались порошки титана ПТХ и порошки алюминия АСД-1. Для механоактивационной обработки использовали планетарную шаровую мельницу АГО-2. Для защиты от окисления из цилиндров откачивался воздух, затем они заполнялись аргоном при давлении 0,3 МПа. После механической активации порошки извлекали из цилиндров в специальном боксе в аргоновой атмосфере [20]. Механоактивацию исходной порошковой смеси проводили в течение 1; 4; 7; 10; 13 мин., с энергонапряженностью мельницы 40 g [21-23].

Рентгеноструктурные исследования образцов проводились на дифрактометре ДРОН-6, с CuKα-излучением (λ=1,5418 Å). Шаг сканирования h=0,05°, время экспозиции t=3с. Структурные параметры рассчитывались по стандартному методу наименьших квадратов, с применением пакета программ PDWin. Расчет средних размеров ОКР и уровня микродеформаций <ε> производился методом вторых моментов в программной оболочке Size&Strain [24]. Уширение дифракционных линий всех образцов рассчитывали с поправкой на инструментальное уширение, используя экспериментальные данные эталонного материала, а также уширение, рассчитанное для основных инструментальных аберраций [25].

На рис. 1 приведены дифрактограммы исходной порошковой смеси состава Ti + Al и смесей идентичного состава, механоактивированных в течение 1; 4; 7; 10; 13 мин. при энергонапряженности мельницы 40 g.

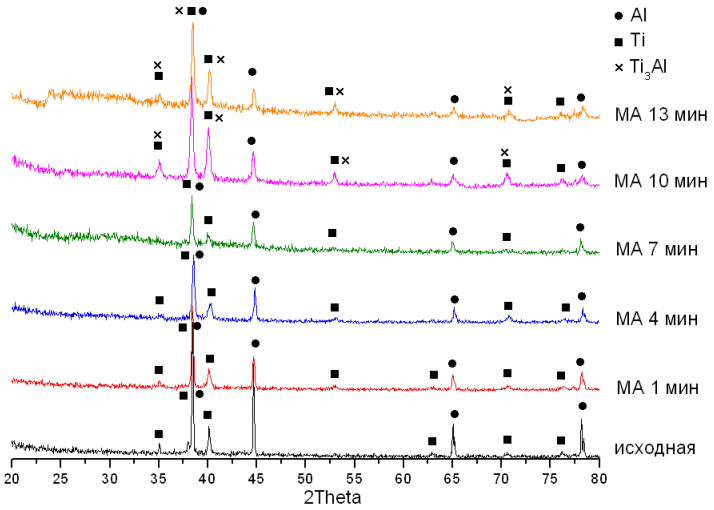


Рис. 1. Дифрактограммы смеси состава Ti + Al (исходной и механоактивированных при энергонапряженности мельницы 40 g).

Из сравнительного анализа дифрактограмм следует, что фазовый состав порошковой смеси после механоактивационной обработки, во временном диапазоне от 1 до 7 мин., не отличается от исходного. Увеличение времени механоактивационной обработки до 7 мин. приводит к повышению диффузного фона, уменьшению интенсивностей дифракционных отражений компонентов смеси, уширению пиков (рис. 1), что свидетельствует о наличии неравновесных дефектов в продуктах размола и уменьшении размеров кристаллитов. При увеличении времени МА до 10 мин. и 13 мин. на дифрактограммах наблюдается уменьшение интенсивностей пиков Al, и наряду с отражениями Ti и Al появляются пики интерметаллида Ti_3Al. Это выражается в увеличении интенсивности дифракционных максимумов, вклад в которые вносят отражения Ti и Ti_3Al.

На основании анализа дифрактограмм были проведены расчеты структурных параметров элементарных ячеек для титана и алюминия при времени механоактивации 1; 4; 7 мин. (таблицы 1, 2). Времена механоактивации 10 мин. и 13 мин. в расчетах параметров структуры не рассматривались по причине формирования соединения Ti3Al. Эталон Ti для расчета брался по (44-1294) ICDD Grant-in-Aid, Sailer, R., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA., 1993 (Базаданных порошковой ди-

фрактометрии PDWin 3.0). Эталон Al для расчета брался по (4-787) Natl.Bur.Stand.(U.S.),Circ.539, Swanson, Tatge., I, 11, 1953 (База данных порошковой дифрактометрии PDWin 3.0).

До 4 мин. механоактивации происходит увеличение объема ячеек обоих компонентов, при дальнейшей обработке объем ячейки титана незначительно уменьшается. У алюминия на 7 мин. МА происходит резкое уменьшение объема.

Резкое увеличение полуширины дифракционных отражений Ti в направлении (101) при 1 мин. МА с последующим незначительным уменьшением (при 4 мин.) и дальнейшим выходом на постоянное значение, свидетельствует о том, что уже на 1 мин. механоактивации происходит основное уменьшение размеров кристаллитов и насыщение дефектами. Для Al (200) максимальная полуширина пиков достигается при 4 мин. механообработки. При дальнейшем увеличении времени МА значение полуширины уменьшается (рис. 2).

Таблица 1

Структурные параметры Ti в порошковой смеси на различных временах механоактивации при энергонапряженности 40 g

Параметры ячейки	Структурные параметры титана				
	исходный порошок	после МА 1 мин. 40 g	после МА 4 мин. 40 g	после МА 7 мин. 40 g	Эталон Ti Sys: Hexagonal
a, нм	29,52	29,55	29,55	29,56	29,51
c, нм	46,83	46,85	46,95	46,81	46,82
V, нм^3	35338	35443	35490	35475	35300

Таблица 2

Структурные параметры Al в порошковой смеси на различных временах механоактивации при энергонапряженности 40 g

Параметры ячейки	Структурные параметры алюминия				
	исходный порошок	после МА 1 мин. 40 g	после МА 4 мин. 40 g	после МА 7 мин. 40 g	Эталон Al Sys: Cubic
a, нм	40,53	40,54	40,55	40,46	40,49
V, нм^3	66595	66651	66699	66253	66600

Различие в динамике изменения структурных параметров и полуширины дифракционных максимумов компонентов может определяться различной природой возникновения дефектов. Так как у титана преобладает уширение отражений, можно предположить, что основным видом дефектов здесь являются дислокации. У алюминия преобладают точечные дефекты, о чем может свидетельствовать резкое изменение структурных параметров ячейки при 7 мин. МА (табл. 2).

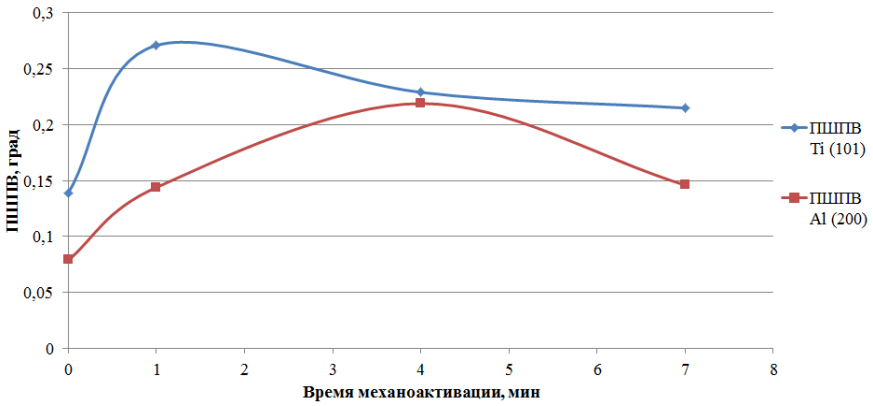


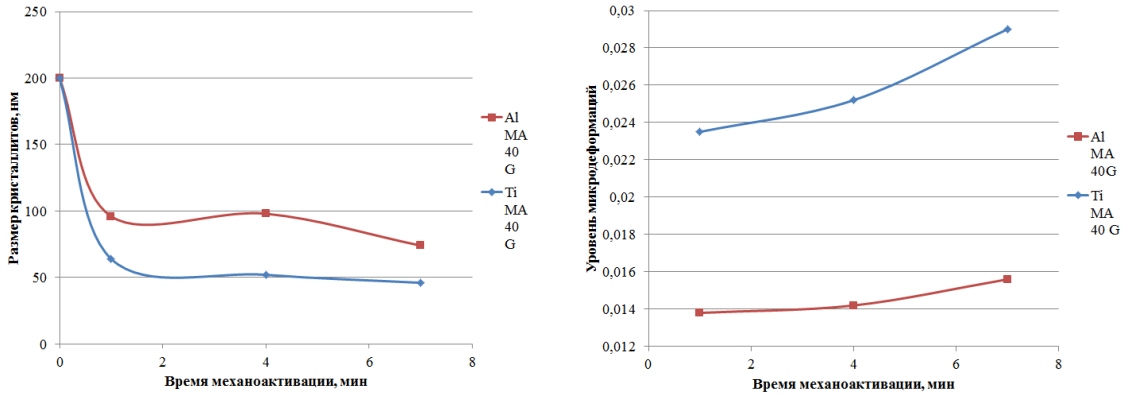
Рис. 2. Изменение ПШПВ титана и алюминия в зависимости от времени механоактивации при энергонапряженности мельницы 40 g

Из полученных данных были рассчитаны размеры кристаллитов и уровень микродеформаций компонентов. С увеличением времени механоактивационной обработки происходит уменьшение

средних размеров кристаллитов до наноразмерного уровня (у Ti до ~ 50 нм, у Al до ~ 75 нм) и рост микронапряжений как для алюминия, так и для титана (рис. 3). При энергонапряженности мельницы 40 g измельчение зерен происходит главным образом на первых минутах механоактивации. Далее размеры зерен меняются незначительно.

При механоактивационном воздействии на порошковую смесь состава Ti + Al установлено, что с увеличением времени МА при энергонапряженности мельницы 40 g изменение структурных параметров компонентов носит несистематический характер, что обусловлено деформационными процессами, происходящими при МА. Уменьшение размеров кристаллитов до наномасштабного уровня происходит на первой минуте механоактивационной обработки. Для алюминия установившийся размер кристаллитов составляет ~ 75 нм, для титана ~ 50 нм. После 10 мин. МА на дифрактограммах наблюдается уменьшение интенсивностей пиков Al и, наряду с отражениями Ti и Al, появляются отражения интерметаллида Ti_3Al.

Работа проводилась в рамках государственного Задания № 11.1085.2017/4.6 на НИОКР в 2018 году Министерства образования и науки РФ по теме «Фундаментальные основы синтеза механоактивированных материалов с аморфной, нанокристаллической, интерметаллидной структурой под воздействием концентрированных источников энергии».



а) *б)*

Рис. 3. Изменение размеров кристаллитов (а) и уровня микродеформаций компонентов (б) в зависимости от времени механоактивации при энергонапряженности мельницы 40 g

Список литературы

1. Gras Ch., Gaffet E., Bernard F., Niepce J.C. Enhancement of self-sustaining reaction by mechanical activation: case of an Fe Si system. // Mater. Science and Engineering A. 1999.Vol. 264.P. 94-107.
2. Уваров Н.Ф., Болдырев В.В., Размерные эффекты в химии гетерогенных систем // Успехи химии, 2001. Т. 70. № 4. С.307-329.
3. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Свиридов А.П. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017. № 12 (78). С. 20-25.
4. Aleksandrov V.V., Korchagin M.A. Mechanochemical synthesis in SHS systems. // International Journal of Self Propagating High-Temperature Synthesis. 1992. Vol. l. No. 3. P. 417-420.
5. Левашов Е.А., Курбаткина В.В., Колесниченко К.В. Закономерности влияния предварительного механического активирования на реакционную способность СВС-смесей на основе титана. // Известия вузов. Цветная металлургия. 2000. № 6. С. 61-67.
6. Radev D.D., Klissurski D. Mechanochemical synthesis and SHS of diborides of titanium and zirconium // J. Materials Synthesis and Processing. 2001. Vol. 9. No. 3. P. 131-136.
7. Mukasyan A.S., White J.D.E., Kovalev D., Kochetov N., Ponomarev V., Son S.F. Dynamics of phase transformation during thermal explosion in the Al-Ni system // Influence of mechanical activation : Physica B. 2010. V. 405. P. 778–784.
8. Shteinberg A.S., Lin Ya-Cheng, Son S.F., Mukasyan A.S. Kinetics of high temperature reaction in Ni-Al System: Influence of mechanical activation // Journal of Physical Chemistry A. 2010. V. 114. P. 6111–6116.

9. Bokhonov B.B., Korchagin M.A. Application of mechanical alloying and self-propagating synthesis for preparation of stable decagonal quasicrystals. // Journal of Alloys and Compounds. 2004. V. 368. P. 152-156.
10. Филимонов В.Ю., Корчагин М.А., Смирнов Е.В., Ляхов Н.З. Макрокинетика твердофазного синтеза активированной смеси 3Ni+Al в режиме теплового взрыва // Физика горения и взрыва. 2010. Т. 46. № 4. С. 90–98.
11. Terehova O.G., Shkoda O.A., Maksimov Yu.M., Chalun L.D. Effect of mechanical activation of silicon and niobium on SHS synthesis of niobium silicides. // Int. Journal of Self Propagating High-Temperature Synthesis. 1999. Vol. 8. №. 3. P. 299-306.
12. Loginova M.V., Filimonov V.Yu., Yakovlev V.I., Sytnikov A.A., Negodyaev A.Z., Shreifer D.V. Analysis of the influence of high temperature synthesis parameters on the structure formation in the mechanically activated 3TI+AL powder mixture // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 788. P. 117.
13. Ляхов Н.З. Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф. Влияние механоакивации на процессы фазо-и сруктурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. Новосибирск : Параллель, 2008. 168 с.
14. Turrillas C.C.X., Vaughan G.B.M., Terry A.E., Kvick A., Rodriguez M.A. Al-Ni intermetallics obtained by SHS; A time-resolved X-ray diffraction study // Intermetallics. 2007. Vol. 15. P. 1163–1171.
15. Под ред. Ломовского О. И. Механокомпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. 424 с.
16. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. М.: ВИЛС-МАТИ. 2009. 520 с.
17. Иванов В.И., Ясинский К.К. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов Ti_3A1 и TiAl для работы при температурах 600-800°С в авиакосмической технике // Технология легких сплавов. 1996. № 3. С. 7-12.
18. Chuprina V.G., Shalya I.M. Properties of some alloys of Ti–Al system // Abstracts Book of X Int. Conf. "ICHMS'07" (Crimea, Ukraine). 2007. P. 38-39.
19. Анташев В.Г., Ночовная Н.А., Павлова Т.В., Подюкова Н.М., Иванов В.И. Авиационные материалы «ВИАМ», 1932 – 2002 гг. // Юбилейный научно-технический сборник под общей редакцией член. кор. РАН Каблова Е.Н. 2002. С. 111-115.
20. Filimonov V.Yu., Sitnikov A.A., Afanas’ev A.V., Loginova M.V., Yakovlev V.I., Negodyaev A.Z., Schreifer D.V., Solov’ev V.A. Microwave Assisted Combustion Synthesis in Mechanically Activated 3Ti + Al Powder Mixtures: Structure Formation Issues // International Journal of Self Propagating High Temperature Synthesis. 2014. Vol. 23. No. 1. P. 18–25.
21. Filimonov V.Y., Sytnikov A.A., Yakovlev V.I., Loginova M.V., Afanasyev A.V., Negodyaev A.Z. The features of structure formation in mechanically activated powder mixture 3TI+AL in the thermal explosion mode // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 621. С. 71-76.
22. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов TI+AL после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.
23. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses // The Physics of Metals and Metallography. 2017. Т. 118. № 2. P. 170–175.
24. Дымченко Н.П. Применение ЭВМ при расчете тонкой кристаллической структуры поликристаллов методом вторых и четвертых моментов // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. 1974. Вып. 15. С. 37–45.
25. Хейкер Д. М., Зевин Л. С. Рентгеновская дифрактометрия. М.: Физматгиз, 1963. 380 с.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ АЗИДА СЕРЕБРА

Л.В. Кузьмина, д.ф-м.н, проф, Е.Г. Газенаур, к.ф-м.н, доц., С.В. Бледная, магистрант
Кемеровский государственный университет
650000, г. Кемерово, ул. Красная 6, тел. 89045763392
E-mail: specproc@kemsu.ru

Экспериментально установлено влияние магнитных полей (однородного и неоднородного) на процесс кристаллизации и некоторые физико-химические свойства (морфология, электрическое сопротивление, дефектная структура, реакционная способность) нитевидных кристаллов азида серебра.

На основании полученных экспериментальных результатов предложен метод выращивание кристаллов в постоянном однородном магнитном поле, позволяющий получать кристаллы с минимальным содержанием примеси и заданной реакционной способностью.

The influence of magnetic fields (homogeneous and inhomogeneous) on the crystallization process and certain physicochemical properties (morphology, electrical resistance, defect structure, reactivity) of silver azide whiskers has been experimentally determined.

On the basis of the obtained experimental results, a method is proposed for growing crystals in a constant homogeneous uniform magnetic field, which makes it possible to obtain crystals with a minimum impurity content and a specified reactivity.

Одним из факторов, влияющих на процесс кристаллизации, является магнитное поле. Ранее были проведены исследования процесса кристаллизации азида серебра в однородном магнитном поле [1]. Обнаружено, что с увеличением напряженности образуются более мелкие кристаллические структуры, которые более равномерно и упорядоченно распределены в поле зрения микроскопа в кювете. Но общее представление о механизме, а, следовательно, и количественное описание процесса взаимодействия магнитного поля с водно-солевой системой отсутствуют.

В связи с чем, считаем целесообразным исследование влияния магнитных полей (однородного и неоднородного) на процесс кристаллизации и некоторые физико-химические свойства (морфология, электрическое сопротивление, дефектная структура, реакционная способность) полученных кристаллов.

В качестве объектов исследования выбраны нитевидные кристаллы азида серебра, являющиеся модельными объектами химии твердого тела и инициирующими взрывчатыми веществами.

Кристаллы азида серебра получали при быстром смешивании 0,2 N раствора дважды пере кристаллизованного азида натрия и нитрата серебра марки «ЧДА» обменной реакцией:

$$NaN_3 + AgNO_3 \rightarrow AgN_3\downarrow + NaNO_3 \qquad (1)$$

Выпавший осадок несколько раз промывали бидистиллированной водой, отфильтровывали на воронке Бюхнера с последующей промывкой на фильтре. Для очистки от примесей полученный осадок растворяли в 5 %-ном водном растворе аммиака и вновь подвергали фильтрации. После фильтрования через бумажный и стеклянный фильтры раствор разливали в стеклянные бюксы, которые закрывали полиэтиленовой пленкой с отверстиями. Бюксы с раствором азида серебра помещали в однородное и неоднородное магнитные поля. Собранные таким образом конструкции устанавливали в заземленный металлический ящик. Распределение индукции магнитного поля измеряли миллитесламетром в точках через 0,5 см (погрешность прибора на измеряемом пределе 200 мТл составляла ~ ± 2%). Из этого же раствора (без наложения поля) готовили образцы для сравнения. Через 10 дней после полного исчезновения запаха аммиака кристаллы отмывали дистиллированной водой и использовали в дальнейших исследованиях. Характерные формы кристаллов азида серебра, выращенных в магнитных полях и в их отсутствии, наблюдали в микроскоп «Биолам» с увеличением ×120.

С целью исследования влияния магнитных полей на электрическую проводимость кристаллов азида серебра измеряли электрическое сопротивление выращенных кристаллов. При этом на кристаллы предварительно напыляли серебряные контакты с помощью вакуумного универсального поста (ВУП-5).

В ходе измерения электрических сопротивлений образцов специальную ячейку, где располагался кристалл с напыленными серебряными контактами, помещали в установку под металлический корпус, в котором создавался вакуум (р ~ 1,5 мм рт. ст.). Погрешность терраометра на интервале измерения от 106 до 108 Ом составляет ± 2,5%; от 3·108 до 1011 Ом: ± 4%; от 3·1011 до 1012 Ом: ± 6%; от 1013 Ом: ± 10%.

Для определения элементного (качественного и количественного) состава азида серебра проводили электронно-микроскопические исследования на растровом сканирующем электронном микроскопе JOEL

JSM 6390. Образцы для исследования на РЭМ должны быть электропроводящими. Для обеспечения их хорошего электрического контакта с предметным столиком и для фиксации образцов при наклоне стола используют специальные токопроводящие клеи. При исследовании непроводящих ток материалов – диэлектриков на их поверхность наносится напылением тонкая пленка электропроводников – золото, графит и т.д.

Исследование поверхности кристаллов азида серебра не представлялось возможным в виду взрывоопасности последнего. В данном случае для определения элементного состава навеску азида серебра растворяли в концентрированной азотной кислоте с последующим выпариванием в керамической чашке при температуре 90 ^{0}C в течение одного часа.

Для выяснения характера действия магнитного поля на процессы кристаллизации были проведены микрокристаллоскопические исследования азида серебра. Методика экспериментов состояла в следующем: в условиях наложения магнитных полей (однородного и неоднородного) каплю 0,2 N раствора дважды перекристаллизованного азида натрия помещали на предметное стекло и добавляли столько же раствора соли серебра либо азид получали при быстром одновременном смешивании двух капель данных растворов. Из этих же растворов (без наложения магнитного поля) готовили образцы для сравнения. За процессом кристаллизации азида серебра наблюдали в микроскоп «Биолам» с увеличением ×120, встроенный между полюсами постоянных магнитов. В качестве способов энергетического воздействия использовали электрическое и магнитное (0,5 ÷ 3000 Э) поля, УФ-облучение (365 нм). Для инициирования реакции разложения кристаллов азида серебра контактным электрическим полем (3 кВ/см) на образцы накладывали галлиевые контакты, на которые подавали напряжение от источника постоянного тока (межэлектродное расстояние – 1 мм, время воздействия 5 минут).

Поскольку известно, что реакционные области в кристаллах азида серебра совпадают с местами выхода дислокаций на поверхность [1], то возникает необходимость выявления последних. Контрастные ямки травления получались при травлении кристаллов AgN3 в 10%-ном водном растворе тиосульфата натрия. Приклеенный за оба конца кристалл опускали в раствор Na2S2O3 на 2-3 секунды, затем промывали в дистиллированной воде либо в спирте. Данную процедуру повторяли для достоверности в том, что плотность фигур травления (ямок) не увеличивается, а наблюдается лишь небольшое увеличение их размеров и глубины. В этом случае ямки травления можно связать с выходом дислокаций на поверхность [2].

Известно, что медленное разложение кристаллов азидов тяжелых металлов происходит в анионной подрешетке при взаимодействии двух радикалов $\cdot N_3$ по следующему уравнению реакции:

$$2N_3 \rightarrow 3N_2 \qquad (2)$$

Реакционную способность (в данном случае – способность к разложению) исследуемых кристаллов азида серебра изучали по методике Хилла [3]: кристаллы азида серебра после соответствующей обработки растворяли в водном 0,1 N растворе $Na_2S_2O_3$. Процесс растворения наблюдали под микроскопом «Биолам» в проходящем красном свете. При этом измеряли диаметр и пространственные координаты выделяющегося газообразного азота. Количество выделившегося газа определялось по результатам измерений диаметров пузырьков молекулярного азота.

В результате проведения экспериментов было установлено, что кристаллы азида серебра, выращенные в однородном и неоднородном магнитных полях, а также без наложения поля, обладали различными кристаллическими формами, а именно: в однородном магнитном поле кристаллы отличались меньшими размерами; в неоднородном магнитном поле кристаллы отличались большими размерами и присутствием видимых в микроскоп макродефектов (минимальный размер ≈ 3,5 мкм).

Обсудим возможные причины различия кристаллических форм азида серебра. Магнитное поле может оказывать влияние на движение заряженных частиц. Также следует отметить сложное движение заряженных частиц в неоднородном магнитном поле [4]. Так, при действии внешнего неоднородного магнитного поля, в системе возникают дополнительные силы, действующие на парамагнитные частицы и зависящие от напряженности магнитного поля:

$$F = -\frac{\chi}{2} gradB^2, \qquad (3)$$

где χ – магнитная восприимчивость вещества, grad B^2 – градиент квадрата индукции магнитного поля.

В неоднородном магнитном поле и даже слабо неоднородном, когда радиус кривизны траектории r мал, по сравнению с размерами области, в пределах которой вектор напряженности магнитного поля H заметно меняется по величине или направлению, силовые линии изогнуты, что приводит к более сложному движению заряженной частицы [4]. Такое движение складывается из:

1) вращения по ларморовской окружности с радиусом r и частотой ϖ :

$$r = \frac{m\upsilon_{\perp}c}{qH} \quad (4),$$

$$\varpi = \frac{qH}{mc} \quad (5),$$

где $\upsilon_{\perp}$ – скорость движения частицы перпендикулярно силовым линиям поля;

2) перемещения вдоль силовых линий с шагом ℓ :

$$\ell = \upsilon_{II} T \quad (6);$$

3) более медленного «дрейфового» движения, при котором частицы как бы скользят в направлении, перпендикулярном к силовым линиям.

Если частица движется строго вдоль силовой линии, которая поворачивает, то частица по инерции отклоняется от нее, и скорость начнет составлять угол с линией напряженности магнитного поля H. В результате, возникнет сила, перпендикулярная к плоскости скорости движения частицы υ и линий напряженности поля H. Эта сила и вызывает дрейфовое движение, перпендикулярное силовым линиям:

$$\upsilon_{др} = \frac{1}{R\varpi}\upsilon_{II}^{2} \quad (7),$$

где R – радиус кривизны силовых линий; ϖ – ларморовская частота;

υ_{II} – скорость движения частицы по касательной силовым линиям поля.

Также известно, что под воздействием магнитного поля валентный угол молекулы воды уменьшается более чем на 2°, что приводит к увеличению дипольного момента молекулы в целом [5]. Таким образом, магнитное поле может оказывать ориентирующее действие на гидратные оболочки ионов, содержащихся в водном растворе. Вероятно, в однородном магнитном поле данная ориентация более упорядочена и структурирована. Но при наложении неоднородного магнитного поля упорядоченность в ориентации гидратных оболочек нарушается, возникает вероятность их деформации. Это может привести к образованию различных форм кристаллизующегося вещества.

Кроме того, согласно литературным источникам, механизм роста кристаллов азида серебра заключается в том, что из-за некоторого «винтового» нарушения (винтовой дислокации) на поверхности кристалла его дальнейший рост происходит как бы по винтовой лестнице путём присоединения частиц к постепенно продвигающейся спирали [6].

На основании экспериментальных результатов и литературных данных сделано предположение о возможных причинах влияния магнитного поля на процесс кристаллизации азида серебра: механизм роста кристаллов азида серебра по спирали (по винтовой дислокации), сложное движение заряженных частиц, различная ориентация гидратных оболочек ионов с возможностью их деформации обуславливают различные по форме кристаллические формы азида серебра.

Что касается дефектной структуры кристаллов азида серебра, то следует отметить сложный характер влияния магнитных полей на содержание в них примесей.

Ранее методом эмиссионной спектроскопии были установлены составы примесей в кристаллах азида серебра (Cu2+, Fe3+, Al3+, Bi3+, Pb2+, Ca2+, Si4+,Ti2+), при этом следует отметить снижение содержания примесей до 30% в зависимости от напряженности магнитного поля, в котором выращивали кристаллы [1].

Согласно исследованиям, проведенным методом растровой электронной микроскопии, общее содержание примесей в кристаллах азида серебра, выращенных без наложения внешнего магнитного

поля, составляет $4{,}1\cdot10^{13}$ мол. %, в условиях наложения однородного магнитного поля – $2{,}9\cdot10^{13}$ мол. %, неоднородного магнитного поля – $3{,}2\cdot10^{13}$ мол. %.

В ходе микрокристаллоскопических исследований, позволяющих визуализировать процесс кристаллизации, было обнаружено влияние магнитного поля на скорость кристаллизации азида серебра.

При приложении магнитного поля, время образования видимых структур увеличивается и достигает максимума при ≈0,01 Тл (100 Э), после чего резко уменьшается (почти в 3 раза по сравнению с обычными условиями роста кристаллов) и далее не зависит от величины индукции. Как показывает эксперимент, выращивание кристаллов азида серебра при напряженностях внешнего магнитного поля от 0,04 до 0,09 Тл (400÷900 Э) позволяет получить более совершенные кристаллы.

Проведены эксперименты по исследованию электропроводности кристаллов азида серебра, выращенных различными способами.

Удельная электропроводность кристаллов азида серебра, выращенных в однородном магнитном поле меньше по значению, чем обычных кристаллов более чем в 2 раза.

Удельная электропроводность кристаллов азида серебра независимо от способа получения с увеличением времени хранения увеличивается, что может быть связано с образованием серебряных кластеров на поверхности.

В литературе отмечается, что класс полупроводниковых материалов, как правило, обладает широкой запрещенной зоной, поэтому их проводимость обычно имеет примесный характер [8]. Однако, учитывая результаты, полученные методом эмиссионной спектроскопии (уменьшение содержания примеси, примерно, на 30%, в кристаллах азида серебра, выращенных в однородном магнитном поле, по сравнению с кристаллами, выращенными в обычных условиях) можно предположить влияние концентрации примеси на сопротивление кристаллов.

Ранее было показано, что кристаллы, выращенные в однородном магнитном поле, в течение 6 месяцев являются стабильными и химически инертными по отношению к некоторым видам энергетических воздействий (УФ-облучению в области собственного поглощения (≈365 нм), контактному электрическому полю (3 кВ/см)) [1]. Такие кристаллы не изменяют размеров в магнитном поле, в них не обнаруживаются дислокации методом ямок травления. Данные свойства были связаны с уменьшением содержания примесей в кристаллах на 30%, учитывая, что реакционная способность азида серебра связана с количеством примеси и плотностью краевых дислокаций [1].

Указанные свойства релаксируют постепенно в течение нескольких месяцев (не менее 6 месяцев). По истечении указанного времени, кристаллы подвергаются интенсивному разложению в анионной подрешетке при действии магнитных полей напряженностью более 3 кЭ, а также разлагаются при действии контактного электрического поля (3 кВ/см), УФ-облучения в области собственного поглощения, то есть проявляют свойства кристаллов, выращенных обычным способом [7].

В тоже время кристаллы, выращенные в неоднородном магнитном поле, проявляют высокую чувствительность к различным видам воздействия, например, к механическому напряжению, возникающему в образце при наложении галлиевых контактов. Такие кристаллы при растворении разлагаются в анионной подрешетке, о чем свидетельствует выделение газообразных продуктов, количество которых явно превосходит фоновое. При помещении кристаллов азида серебра, выращенных в неоднородном магнитном поле, в растворитель после инициирования процесса разложения контактным электрическим полем, они быстро чернеют и постепенно растрескиваются. Очевидно, что использование в научных исследованиях кристаллов с подобными свойствами создает определенные трудности.

Из полученных результатов следует, что разные грани кристаллов азида серебра обладают не одинаковой реакционной способностью.

Из литературных данных известно, что по мере роста разные грани кристалла захватывают разные количества примесей, содержащихся в маточной среде [9]. Поэтому реальные кристаллы всегда имеют неоднородное распределение примеси, и на границах областей разного состава в кристалле возникают внутренние напряжения. Это приводит к образованию дислокаций и трещин [10]. Согласно результатам, полученным методами растровой электронной микроскопии, а также эмиссионного спектрального анализа, влияние магнитных полей на количественный и качественный составы азида серебра имеет сложный характер. Поэтому сделать однозначный вывод о влияние количества примесей на то или иное свойство азида серебра, на данном этапе исследований не представляется возможным.

Из полученных результатов можно заключить, что для кристаллов азида серебра, хранящихся длительное время, в целях предотвращения их интенсивного старения необходима магнитная защита.

Таким образом, установлен сложный характер влияния магнитного поля на скорость кристаллизации и морфологию кристаллов; определены оптимальные условия для выращивания более совершенных кристаллов азида серебра: область значений напряженности внешнего магнитного поля составляет 400÷900 Э с неоднородностью не более 1,5 %. Из полученных результатов можно заключить, что кристаллы азида серебра, выращенные в магнитном поле и хранящиеся длительное время (до 6 месяцев) не подвержены процессу старения, после чего становятся реакционноспособными, в то время как кристаллы, выращенные обычным способом, разлагаются при любых видах энергетического воздействия. Установлена высокая чувствительность к различным видам воздействия кристаллов азида серебра, выращенных в неоднородном магнитном поле. Показано, что удельная электропроводность кристаллов азида серебра увеличивается в зависимости от времени их хранения, что может быть связано с образованием серебряных кластеров на поверхности.

Список литературы

1. Кузьмина, Л. В. Физико-химические свойства кристаллов азида серебра, выращенных в постоянном магнитном поле / Л. В. Кузьмина, В. И. Крашенинин., Д. В. Добрынин, М. А. Дорохов // Материаловедение. – 2005. – № 11. – С. 17-21.
2. Сангвал, К. Травление кристаллов. Теория, эксперимент, применение / К. Сангвал. – М.: Наука. – 1990. – 496 с.
3. Heal, H. G. A microgazometric procedure / H. G. Heal // Nature. – 1953. – V. 172. – P. 30.
4. Арцимович, Л. А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях / Л. А. Арцимович, С. Ю. Лукьянов – М: Наука. – 1972. – 224 с.
5. Мокроусов, Г. М. Физико-химические процессы в магнитном поле / Н. П. Горленко, Г. М. Мокроусов – Томск: Томский университет. – 1988. – 128 с.
6. Иванов, Ф. И. О выращивании нитивидных кристаллов азидов серебра и свинца / Ф. И. Иванов, Л. Б. Зуев, М. А. Лукин, В. Д. Мальцев // Кристаллография. – 1983. – Т. 28. – № 1. – С. 194-196.
7. Захаров, В. Ю. Медленное разложение азидов тяжелых металлов / В. Ю. Захаров, В. И. Крашенинин. – Томск.: Изд-во научно-технической литературы. – 2006. – 168 с.
8. Блатт, Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах / Ф. Блатт – М.: Мир. – 1971. – 470 с.
9. Чернов, А. А. Современная кристаллография / А. А. Чернов, Е. И. Гиваргизов, Х. С. Багдасаров и др. – М.: Наука. – 1980. – Т.3. – 408 с.
10. Фридель, Ж. Дислокации / Ж. Фридель – М.: Мир. – 1967. – 643 с.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ НА ПАРАМЕТРЫ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

А.Р. Махмудалиев [1], студент, А.К. Каримов[1], студент, И.М. Гончаренко[1,2], к.т.н., доц.
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-60-63-33
[2]Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр.-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-13-00
E-mail: Abu5510@mail.ru E-mail:aliyor.karimov87@mail.ru

В работе были исследованы процессы азотирования стальных деталей машиностроения в плазме тлеющего разряда при замене традиционного аммиака на смесь газов, состоящую из азота, аргона и метана. Проведено сравнение параметров азотированных слоев в зависимости от состава рабочей среды и длительности обработки. Оценены технологические параметры и возможности применения метода в реальном производстве.

In the work, the processes of nitriding of steel parts of machine building in a glow discharge plasma were investigated when traditional ammonia was replaced by a mixture of gases consist of nitrogen, argon and methane. The parameters of the nitrided layers are compared depending on the composition of the working environment and the processing time. The technological parameters and possibilities of application of the method in real production are estimated.

Вопросы увеличения твердости и прочности рабочих поверхностей стальных деталей всегда были наиболее актуальными в различных областях машиностроения. В частности, получение требуемого комплекса упрочнения конструкционных сталей можно реализовать с помощью азотирования. Традиционно газовое (или ионное, с применением электрических разрядов) азотирование сталей проводят в азото-водородной среде на основе диссоциированного аммиака. В плазме тлеющего разряда на чистом азоте недопустимо присутствие кислорода, ввиду формирования в процессе нагрева оксидных пленок на поверхности обрабатываемых стальных деталей, препятствующих насыщению. Изменение концентрации водорода в азотно-водородной смеси в пределах от 1:9 до 9:1 практически не влияет на структурно-фазовые параметры диффузионного слоя. Процесс ионного азотирования в водородосодержащих средах (аммиак, смесь азота с водородом) достаточно хорошо изучен в отечественной и зарубежной литературе [1 – 5]. Водород, являясь хорошим восстановителем, оказывает существенное влияние на кинетику формирования азотированного слоя, интенсифицируя (ускоряя) процесс. Однако в современных условия обработки материалов наиболее востребованными являются технологические мероприятия по оптимизации параметров, как самих процессов, так и поиску эффективных методов, обеспечивающих безопасность, экологию и производительность.

В предлагаемой работе представлены экспериментальные результаты изучения технологических особенностей и физических процессов азотирования сталей в тлеющем разряде при замене традиционного аммиака на менее опасную и более доступную газовую смесь «азот-аргон-метан». Забегая вперед, следует отметить, что полученные новые результаты перспективны для реального практического применения.

Приводятся сравнительные данные процессов упрочнения в тлеющем разряде, как в части исследования явлений и закономерностей, происходящих в плазме, так и в части изменения свойств поверхности обрабатываемых материалов.

В качестве материала исследований использовались точеные шайбы диаметром ~40 мм и высотой ~10 мм из стали марки 40Х состава C=0.4%,%, Mn=0.5%, S=0.03%, Si=0.22, P=0.035%, Ni=0.31%, Cr=0.8-1.0%, Cu=0.3% (массовые проценты).

Были выявлены закономерности влияния режимов обработки на толщину и структуру поверхностных слоев экспериментальных образцов после азотирования по разным режимам. Данные исследования проводили путем измерения значений микротвёрдости и с помощью рентгеноструктурного анализа.

Для формирования газоразрядной плазмы тлеющего разряда была использована вакуумная камера установки НШВ-9.18/6ИЗ. Поскольку установка рассчитана на обработку в тлеющем разряде промышленных деталей большой массы (от 10 до 600 кг) при температуре T~500 °C, экспериментальные образцы закладывали вместе с партией макетных деталей, чтобы обеспечить реальные характеристики работы оборудования в целом. Массу, габариты и конфигурацию макетных деталей не меняли на протяжении всего эксперимента и использовали многократно, чтобы сохранить единые условия обработки. Общая масса деталей вместе с катодной оснасткой установки во всех экспериментах сохранялась неизменной и составляла ~100 кг. В качестве рабочего газа использовали диссоциированный аммиак (NH3), а также смесь азота, аргона и метана (N2 75%, Ar 20%, CH4 5%). Для снятия температурных зависимостей в камере была установлена «хромель-капелевая» термопара. Давление газа (аммиак или смесь азота, аргона и метана) в рабочем пространстве вакуумной камеры регулировалось в пределах 1,0–600 Па путем изменения газового потока с помощью системы напуска и при постоянной скорости откачки. При давлении ниже 1,0 Па тлеющий разряд перестает существовать. При давлениях выше 600 Па тлеющий разряд переходит в дуговую форму за счет увеличения плотности тока, вызванного интенсивной ионизацией рабочей среды. Нагрев деталей, находящихся под катодным (отрицательным) потенциалом, в тлеющем разряде зависит от целого ряда параметров. Примерно 80% энергии разряда превращается на катоде в тепло и существенно зависит от давления рабочего газа в вакуумной камере [6].

В настоящей работе была предпринята попытка исследовать кинетику нагрева стальных деталей в зависимости от составов газов, управляя только изменением давления. По полученным данным были построены зависимости кинетики нагрева стальных деталей в зависимости от состава насыщающей среды. На основе этих кинетических кривых была представлена результирующая диаграмма динамики нагрева в плазме тлеющего разряда при постоянном напряжении в зависимости от применяемой азотосодержащей среды (рис.1.) с ростом величины давления.

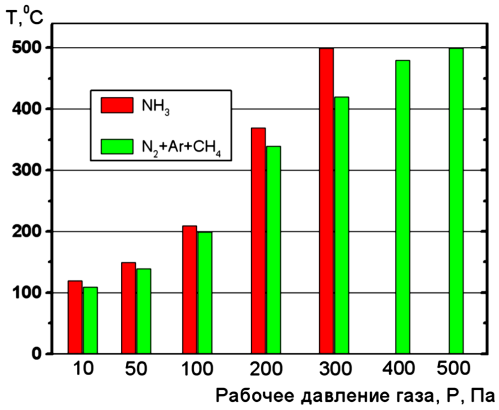


Рис.1. Влияние состава азотосодержащей газовой смеси при увеличении значений рабочего давления на температуру нагрева деталей при постоянном значении напряжения разряда U = -500 В.

Анализ результатов измерения микротвердости поверхностных слоёв выявил следующую особенность упрочнения стали после азотирования в разных по составу насыщающих средах. Протяженность слоев повышенной твердости, сформировавшихся после 8 часового азотирования в плазме тлеющего разряда без аммиака (в тройной газовой смеси азот – аргон - метан), почти на 10-15 % (h~340 – 360 мкм) превышает толщину упрочненных слоев за те же 8 часов, полученных после азотирования в диссоциированном аммиаке. При этом значения твердости непосредственно на самой поверхности образцов остаются без изменения (HV=7,5-8,0 ГПа) и не зависят от состава среды.

На дифрактограмме поверхности исходного образца из стали 40Х видна кристаллическая структура, характерная только для Fe-α (ОЦК, феррит). Другие рефлексы не обнаруживаются, либо их интенсивность находится на уровне фонового «шума». Параметр кристаллической решётки, измеренный в направлении нормали к исследуемой поверхности составляет $\boldsymbol{a}\perp$=2.8690±0.0005 А.

На дифрактограмме (рис.2) поверхности образца 40Х после азотирования в тройной азотосодержащей смеси без аммиака (75%N_2 + 20%Ar + 5%CH_4) при температуре T=500 ºС в течении 10 часов обнаружены рефлексы ε–фазы и γ′–фазы, характерные для азотированных слоев. Кроме того, здесь явно наблюдаются карбонитридные варианты этих фаз $Fe_{2\text{-}3}$(C,N), Fe_4(C,N), а также фазы, состоящие из карбидов и карбонитридов хрома Cr_3C_2, Cr_2(C, N). Полученные данные свидетельствуют, что вследствие обработки в смеси азота, аргона и метана происходит интенсивная диффузия углерода в приповерхностные слои образца и обогащение γ′–фазы углеродом. Здесь присутствует незначительная доля сложного оксида $Fe(Cr)_3O_4$. Исходная кристаллическая структура Fe-α (ОЦК) с параметром $a\perp$=2.8747±0.0007 Å также сохраняется.

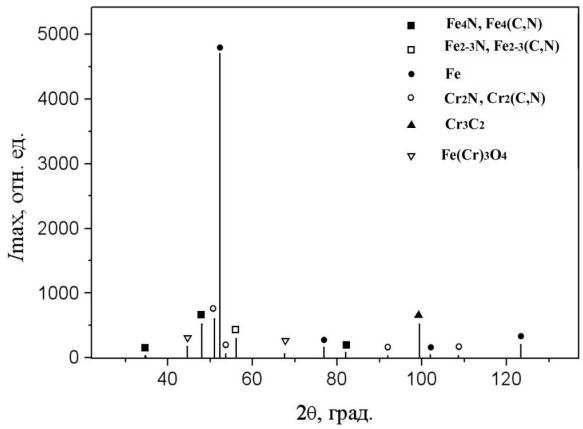


Рис.2. Схема дифрактограммы образца из стали 40Х после ионного азотирования в плазме тлеющего разряда в среде тройной азотосодержащей смеси без аммиака (75%N2 + 20%Ar + 5%CH4). Температура T=500 ºС, время t=10 часов.

В работе [1] на примере классической газовой нитроцементации в смеси аммиака с пропан бутаном было отмечено, что при одновременной диффузии азота и углерода в сталь различие параметров решётки твердого раствора и формирующихся на поверхности ε и γ′–фаз менее значительное по сравнению с насыщением стали только азотом. Поэтому карбонитридные фазы, получаемые при одновременном диффузионном процессе углерода и азота, по сравнению с диффузией чистого азота, получаемого из аммиака, менее хрупкие и обладают повышенной износостойкостью.

Из представленных экспериментальных данных можно судить о положительном влиянии замены аммиака на тройную смесь (азот-аргон-метан) для процесса азотирования в тлеющем разряде. Технологические этапы, основные электрофизические параметры, а также продолжительность процессов азотирования в тлеющем разряде, как в аммиаке, так и в смеси газов «азот-аргон-метан» практически идентичны. Принципиальное отличие состоит только в величинах рабочего давления, необходимого для достижения максимальной плотности тока и температуры насыщения. Для аммиачной среды величина давления составляет P=330 Па, для тройной смеси без аммиака – P=500 Па для нагрева обрабатываемых деталей до температуры T=500 ºС. Анализ результатов измерения микротвердости показал, что по скорости формирования упрочненного слоя ионное азотирование в среде газовой смеси (75%N2 + 20%Ar + 5%CH4) имеет явное преимущество перед традиционным ионным азотированием в аммиаке. Кроме того, данный метод более экономичен и безопасен, по сравнению с азотированием в аммиаке.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. и др. Теория и технология азотирования. М.: Металлургия, 1991, 320с.
2. Арзамасов Б.Н. и др. Ионная химико – термическая обработка сплавов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 400с.
3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Структура и прочность азотированных сплавов. М.: Металлургия, 1982, 192с.
4. Абдулин И.Ш., Ибрагимов Г.Н. и др. Установка для ВЧ – плазменной обработки. Тез. докладов VI конф. по физике газового разряда. Казань, 23 – 24 июня 1992, ч2, с.117 - 118.
5. Панайоти Т.А. Создание максимальной насыщающей способности газовой среды при ионном азотировании сплавов. ФХОМ, 2003, №4, с.70 –78
6. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. –М..-Л.: Гостехиздат, 1950. –807 с.

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ

А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., А. Ю. Мясников, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

Работа посвящена подбору материала фильтра, получаемого с применением технологий механической активации и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), а также установлению возможности протекания реакции в режиме СВС между выбранными компонентами.

The work is devoted to the selection of the filter material obtained with the use of the technologies of mechanical activation and self-propagating high-temperature synthesis (SHS), as well as the establishment of the possibility of the reaction in the SHS mode between the selected components.

Современное состояние металлургии характеризуется коренным изменением масштаба производства качественного металла. Развитие машиностроения и других металлопотребляющих отраслей во всех странах предопределяет разнообразные мероприятия, проводимые металлургами с целью повышения чистоты производимых сплавов. Наряду с широко известными способами рафинирования в последние десятилетия широкое применение получил относительно новый для металлургической отрасли фильтрационный метод очистки металлов и сплавов, отличающийся высокой эффективностью и доступностью, поскольку не требует для его реализации больших капитальных вложений и при этом легко вписывающийся в существующие технологические процессы. Суть этого способа состоит в пропускании металлического расплава через фильтрующее устройство, при прохождении через который в результате физико-химических, адгезионных и адсорбционных, механических и других явлений происходит рафинирование металлического расплава от неметаллических включений и вредных примесей [1].

Фильтрационный метод очистки металлических расплавов, не уступая известным методам по рафинирующей способности, обладает рядом отличительных особенностей и технологических преимуществ: во-первых, при фильтровании рафинированию подвергается последовательно весь объем жидкого металла; во-вторых, простотой конструкции фильтра и технологии фильтрования. Фильтрационный метод рафинирования не требует: капитальных затрат на приобретение дорогостоящего оборудования; подготовки специальных материалов (например, синтетических шлаков, флюсов, тонкодисперсных порошков и др.); дополнительных производственных площадей; обеспечивает стабильное удаление неметаллических и газовых включений, вредных примесей [2].

Одним из широко применяемых элементов в различных областях техники является кремний. Наибольшее применение имеет технический кремний [3]. Его используют в металлургии в качестве легирующего компонента, раскислителя и восстановителя, для изготовления электронагревательных элементов и производства кислотоупорных материалов и др.

Технический кремний в промышленных условиях получают электротермическим способом – путем восстановления кремнезема (SiO_2) углеродом. Восстановительная плавка технического кремния осуществляется в дуговых рудно-термических печах с использованием в качестве восстановителя древесного угля, а также нефтекокса и каменного угля. При этом, наряду с кремнием, из исходного сырья восстанавливаются элементы-примеси (Al, Ca, Mg, Al, Fe и др.), которые присутствуют в жидком кремнии в растворенном состоянии. Для доведения содержания в расплаве примесей до нормируемых уровней его подвергают окислительному рафинированию.

В качестве основы для фильтров применяется большое количество материалов, которые работают в различных условиях. Например, при выплавке стали или чугуна их очистку осуществляют фильтрами на основе железа для того, чтобы избежать дополнительного загрязнения расплава примесями в случае разрушения фильтра. По аналогии с этим для фильтрации кремния предлагаем применять фильтры на основе оксида кремния. Кроме того, основа фильтра из SiO_2 выбрана из-за возможности реализации подложечного эффекта, сущность которого заключается в том, что на фильтре может осаждаться также часть растворенной, то есть химически не связанной примеси [1, 2].

Перспективной технологией изготовления фильтра является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с предварительной механической активацией [4-6]. Во время механической активации реакционная смесь подвергается обработке в планетарной шаровой мельнице в течение некоторого времени с определенной энергонапряженностью [7-10]. В дальнейшем эту порошковую смесь используют в качестве реагентов для проведения высокотемпературного синтеза целевого продукта [11-14].

На основе анализа технической и патентной литературы [3, 15] для фильтров на основе оксида кремния применяются только два компонента. Ими являются Al или Zr, поскольку фильтры с этими компонентами будут обладать необходимыми свойствами по термостойкости и прочности.

Для установления возможности проведения реакций между SiO2 + Al и SiO2 + Zr в режиме СВС использован программный комплекс Астра-4, моделирующий протекание реакции и показывающий температуру, при которой произойдет реакция, а также энергию активации, содержание компонентов и т.д.

Целью работы является установление возможности протекания реакции SiO_2 + Al и SiO_2 + Zr в режиме СВС в программном комплексе Астра-4.

Для проведения моделирования в программном комплексе Астра-4 задавали следующие параметры:

1. 1-й состав в процентном соотношении по массе: от 10% SiO2 + 90% Al до 90% SiO2 + 10% Al с шагом 10%;
2. 2-й состав в процентном соотношении по массе: от 10% SiO_2 + 90% Zr до 90% SiO_2 + 10% Zr с шагом 10%;

Эти составы выбраны из-за возможности применения при высокой температуре. Также в соответствии с анализом патентной, научно технической литературы эти составы обладают высокой прочностью [1, 5].

3. атмосферное давление 0,1 МПа;
4. температуру начала реакции варьировали от 298 К до 4000 К.

Главным требованием к отбору результатов, полученных при моделировании реакции в программном комплексе Астра-4, была минимальная температура проведения реакции и наименьшая внутренняя энергия. В качестве определяющего выбрана наименьшая температура проведения реакции, что обусловлено удобством контроля при проведении натурного исследования.

Результаты и их обсуждение

Из имеющихся составов была сделана выборка, наиболее подходящими по требованиям выбраны составы 90% SiO_2 + 10% Zr (рис. 1) и 60% SiO_2 + 40% Al (рис. 2), у которых температура протекания реакции наименьшая.

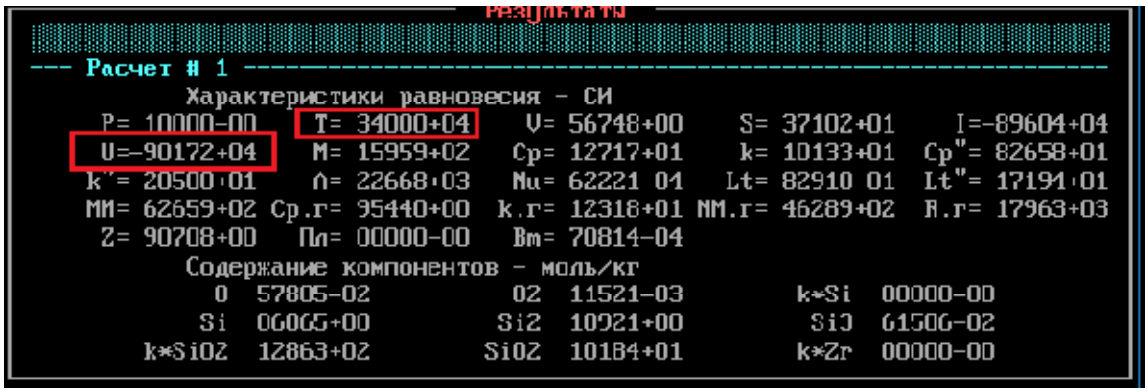


Рис. 1. Результаты моделирования протекания реакции 90% SiO_2 + 10% Zr

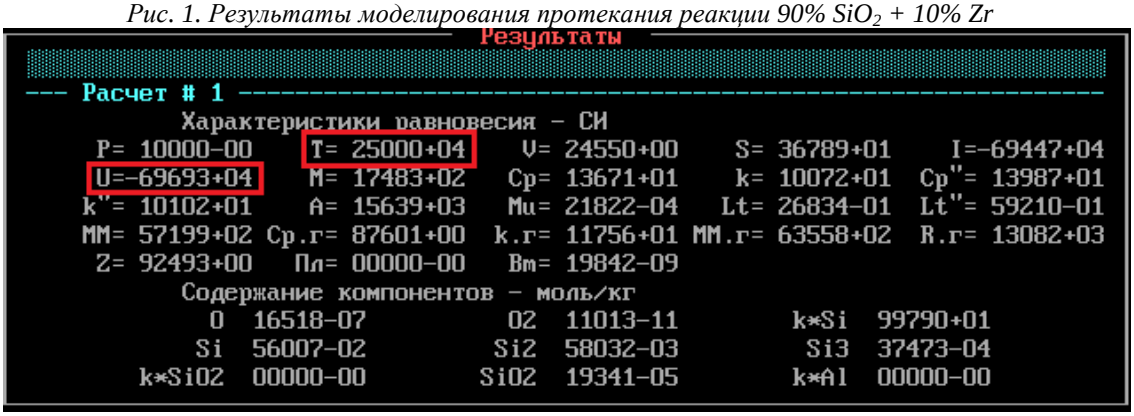


Рис. 2. Результаты моделирования протекания реакции 60% SiO_2 + 40% Al

Из двух составов наиболее предпочтительным является образец с Al, т.к. в этом случае минимальная температура, при которой возможно осуществление реакции, составляет 2500 К.

На следующем этапе исследований в выбранном составе SiO_2 + Al проводили определение наиболее рационального процентного соотношения компонентов.

Выбор осуществляли по тем же требованиям – минимальной температуре протекания реакции и наибольшей внутренней энергии (рис. 3).

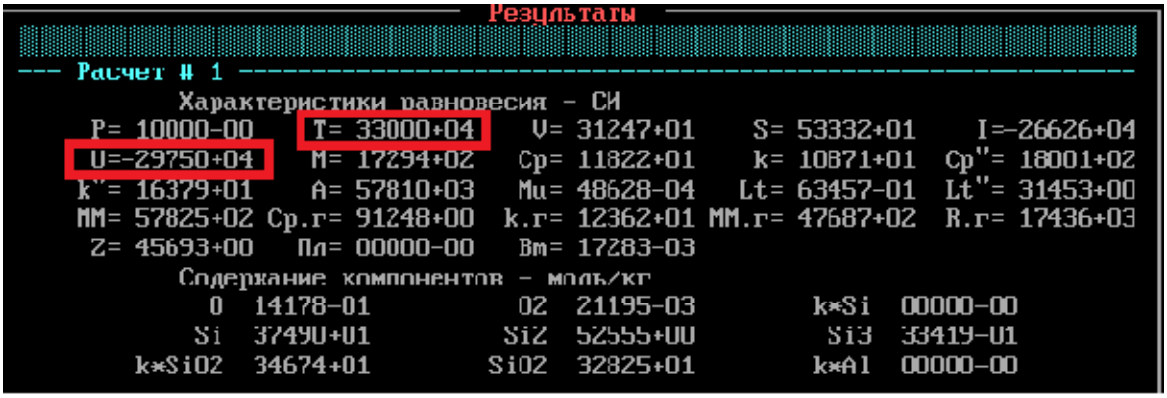


Рис. 3. Результаты моделирования протекания реакции 70% SiO_2 + 30% Al

При моделировании установлено, что наиболее рациональным для фильтрации кремния является фильтр на основе оксида кремния следующего предлагаемого состава 60% SiO2 + 40% Al (масс.%).

Условия протекания реакции между указанными компонентами представлены минимальной температурой (2500 К) и наименьшей внутренней энергией (69693 кДж/кг).

Список литературы

1. Тен Э.Б. Основы фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть I // Литейное производство. 2013. № 1. С. 15-19.
2. Тен Э.Б. Оценка фильтрационного рафинирования жидких металлов. Часть II // Металлургия машиностроения. 2013. № 1. С. 45-50.
3. Черных А.Е., Зельберг Б.И. Производство кремния. Иркутск: Изд. «МАНЭБ», 2004. 255 с.
4. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении 2012. № 9. С. 17–22.
5. Питюлин А. Н. Силовое компактирование в СВС-процессах // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. Черноголовка : Изд-во «Территория», 2001. С. 333–353.
6. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses // The Physics of Metals and Metallography. 2017. T. 118. № 2. P. 170–175.
7. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Свиридов А.П. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017. № 12 (78). С. 20-25.
8. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 30. № 5. С. 48–51.
9. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 3. С. 345–347.
10. Bernard F., Gaffet E. Mechanical alloying in SHS research // International Journal of SHS. 2001. № 2. P. 109–131.
11. Евстигнеев В. В., Вольпе Б. М., Милюкова И. В., Сайгутин Г. В. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М. : Высшая школа, 1996. 284 с.
12. Fu Z.Y., Wang H., Wang W.M., Yuan R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. 2003. V. 137. P. 30–34.
13. Gotman I., Koczak M.J., Shtessel E. Fabrication of Al matrix in situ composites via self-propagating synthesis // J. Mater. Sci. Eng. A. 1994. Vol. 187. P. 189–199.
14. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов TI+AL после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.
15. Логинов А.Ю., Иванов А.А., Костяков В.В., Литуненко Б.Т., Пушкин В.Т. Керамический мембранный фильтр асимметричной структуры, способ и материал для его изготовления // патент на изобретение RUS 2190461 06.12.2001.

ДИНАМИКА ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА 12Х18Н10Т С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.[1], н.с.[2], Н.Н. Шамарин, асс.[1], О.А. Подгорных, зав. лаб.[1]

[1]Юргинский технологический институт (филиал)Томского политехнического университета,

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61

[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81

E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовалась нержавеющая сталь аустенитного класса 12Х18Н10Т с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методами АВС прессования и прокатки. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии.

Нержавеющие стали аустенитного класса широко применяются в различных отраслях промышленности за счет их высокой коррозионной стойкости, механической прочности и пластичности. Сталь 12Х18Н10Т широко применяется в химической промышленности при изготовлении центрифуг, смесителей, фармацевтических и биореакторов, а также в качестве запорной арматуры, клапанов и т.д., которые находятся в непосредственном контакте с агрессивными средами в том числе при повышенных температурах [1–11].

Исследование динамики фрикционных процессов является одним из наиболее актуальных направлений в современной трибологии [12–18]. Исследование динамики трения является одним из ключевых аспектов формирования современной модели динамики процессов формообразования при резании [19–24].

Целью данной работы является исследование динамического поведения аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т в исходном состоянии и с ультрамелкозернистой структурой в условиях сухого трения скольжения.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Трение скольжения осуществлялось по схеме палец-диск на трибометре Tribotechnic. Изменение динамики фрикционных процессов оценивалось с применением лазерного Доплеровского виброметра PSV-500-3D-HV и комплекса АЭ диагностики ЭЯ-2. Испытания проводились на образцах с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой. УМЗ образцы получены методом АВС прессования и прокатки.

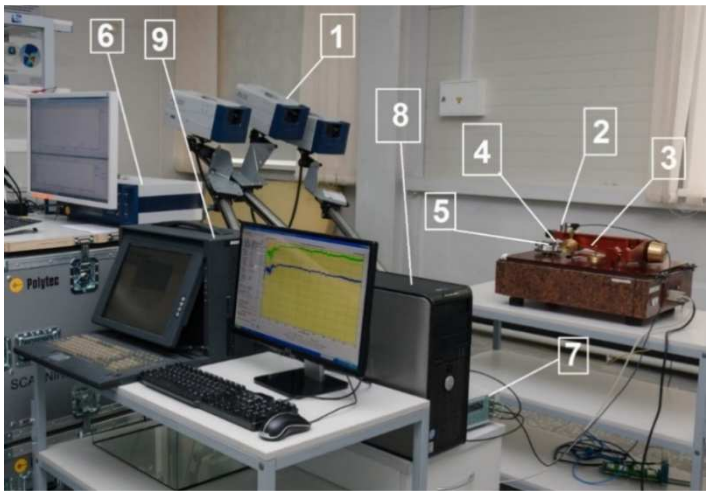
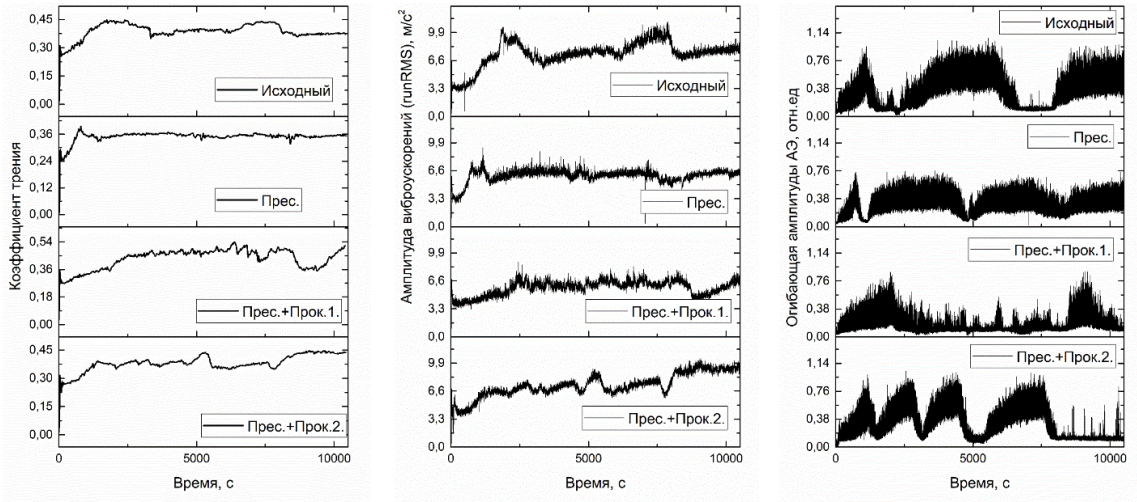


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лазерный доплеровский виброметр, 2 – датчик АЭ, 3 – трибометр, 4 – образец, 5 – контртело, 6 – система обработки данных виброметра, 7 – усилитель АЭ, 8 – система обработки данных трибометра, 9 – система обработки данных АЭ.

С начала процесса трения происходит монотонное увеличение коэффициента трения достигая максимального значения в первые 1000-2000 секунд трения (рисунок 2а). Затем происходит немонотонное изменение величины коэффициента трения, связанное с адгезионным взаимодействием между контртелом и исследуемым образцом. Для исходного образца среднее значение коэффициента трения составляет 0,39, а максимальное 0,44. Для образца после прессования среднее значение КТ 0,35, максимальное – 0,39. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение КТ 0,43, максимальное 0,53. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение КТ 0,38, максимальное 0,43. Динамика изменения амплитуды виброускорений (рисунок 2б) повторяет динамику изменения коэффициента трения. Для исходного образца среднее значение амплитуды виброускорений составляет 7,37 м/с^2, а максимальное 11,14 м/с^2. Для образца после прессования среднее значение амплитуды виброускорений 6,01 м/с^2, максимальное – 9,32 м/с^2. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение амплитуды виброускорений 5,78 м/с^2, максимальное – 8,83 м/с^2. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение амплитуды виброускорений 7,3 м/с^2, максимальное 10,47 м/с^2. Отклик акустической эмиссии (рисунок 2в) на изменение динамики трения указывает на обратную зависимость амплитуды

АЭ от амплитуды вибраций и коэффициента трения. Для исходного образца среднее значение огибающей амплитуды АЭ составляет 0,33, а максимальное 1,07. Для образца после прессования среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,3, максимальное – 0,76. Для образца после прессования и первого режима прокатки среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,16, максимальное – 0,89. Для образца после прессования и второго режима прокатки среднее значение огибающей амплитуды АЭ 0,31, максимальное – 1,035.



а *б* *в*

Рис. 2. Динамика изменения коэффициента трения (а), амплитуды виброускорений (б) и огибающей амплитуды акустической эмиссии (в) в процессе сухого трения скольжения

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сухом трении скольжения материала с ультрамелкозернистой структурой происходит уменьшение динамики фрикционных колебаний, что подтверждается данными виброметрии. Обратная зависимости сигналов акустической эмиссии от вибрации трибологической системы согласуется с ранее выполненными работами авторов. При этом уровень вибраций в трибологической системе при трении образцов с УМЗ структурой ниже, чем при тернии образца с исходной структурой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00058.

Список литературы

1. M. Golzar Shahri, M. Salehi, S.R. Hosseini, M. Naderi, Effect of nanostructured grains on martensite formation during plasma nitriding of AISI 321 austenitic stainless steel, Surf. Coatings Technol. 310 (2017) 231–238. doi:10.1016/j.surfcoat.2016.12.019.
2. S. Pour-Ali, A.R. Kiani-Rashid, A. Babakhani, S. Virtanen, M. Allieta, Correlation between the surface coverage of severe shot peening and surface microstructural evolutions in AISI 321: A TEM, FE-SEM and GI-XRD study, Surf. Coatings Technol. 334 (2018) 461–470. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.11.062.
3. A.M.A. El-Rahman, An investigation on the microstructure, tribological and corrosion performance of AISI 321 stainless steel carbonitrided by RF plasma process, Surf. Coatings Technol. 205 (2010) 674–681. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.08.036.
4. K. Mankari, S.G. Acharyya, Failure analysis of AISI 321 stainless steel welded pipes in solar thermal power plants, Eng. Fail. Anal. 86 (2018) 33–43. doi:10.1016/j.engfailanal.2017.12.020.
5. K. Mankari, S.G. Acharyya, Development of stress corrosion cracking resistant welds of 321 stainless steel by simple surface engineering, Appl. Surf. Sci. 426 (2017) 944–950. doi:10.1016/j.a psusc.2017.07.223.
6. J.S. Corte, J.M.A. Rebello, M.C.L. Areiza, S.S.M. Tavares, M.D. Araujo, Failure analysis of AISI 321 tubes of heat exchanger, Eng. Fail. Anal. 56 (2015) 170–176. doi:10.1016/j.engfailanal.2015.03.008.
7. S. Pour-Ali, A.R. Kiani-Rashid, A. Babakhani, S. Virtanen, Thermal stability of nanocrystalline surface layer of AISI 321 stainless steel, Vacuum. 146 (2017) 297–303. doi:10.1016/j.vacuum.2017.09.053.

8. M.B. Leban, R. Tisu, The effect of TiN inclusions and deformation-induced martensite on the corrosion properties of AISI 321 stainless steel, Eng. Fail. Anal. 33 (2013) 430–438. doi:10.1016 /jengfailan al.2013.06.021.
9. A. Pardo, M.C. Merino, A.E. Coy, F. Viejo, M. Carboneras, R. Arrabal, Influence of Ti, C and N concentration on the intergranular corrosion behaviour of AISI 316Ti and 321 stainless steels, Acta Mater. 55 (2007) 2239–2251. doi:10.1016/j.actamat.2006.11.021.
10. R.K.C. Nkhoma, C.W. Siyasiya, W.E. Stumpf, Hot workability of AISI 321 and AISI 304 austenitic stainless steels, J. Alloys Compd. 595 (2014) 103–112. doi:10.1016/j.jallcom.2014.01.157.
11. K.S. Min, S.W. Nam, Correlation between characteristics of grain boundary carbides and creep-fatigue properties in AISI 321 stainless steel, J. Nucl. Mater. 322 (2003) 91–97. doi:10.1016/S0022-3115(03)00274-5.
12. A.V. Filippov, S.Y. Tarasov, S.V. Fortuna, O.A. Podgornykh, N.N. Shamarin, V.E. Rubtsov, Microstructural, mechanical and acoustic emission-assisted wear characterization of equal channel angular pressed (ECAP) low stacking fault energy brass, Tribol. Int. 123 (2018) 273–285. doi:10.1016/j.triboint.2018 .03.023.
13. D.V. Lychagin, A.V. Filippov, E.A. Kolubaev, O.S. Novitskaia, Y.I. Chumlyakov, A.V. Kolubaev, Dry sliding of Hadfield steel single crystal oriented to deformation by slip and twinning: Deformation, wear, and acoustic emission characterization, Tribol. Int. 119 (2018) 1–18. doi:10.1016/j.triboint.2017.10.027.
14. A.V. Filippov, V.E. Rubtsov, S.Y. Tarasov, O.A. Podgornykh, N.N. Shamarin, Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 95 (2018) 157–169. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
15. S.Y. Tarasov, A.V. Filippov, E.A. Kolubaev, T.A. Kalashnikova, Adhesion transfer in sliding a steel ball against an aluminum alloy, Tribol. Int. 115 (2017) 191–198. doi:10.1016/j.triboint.2017.05.039.
16. A.V. Filippov, A.Y. Nikonov, V.E. Rubtsov, A.I. Dmitriev, S.Y. Tarasov, Vibration and acoustic emission monitoring the stability of peakless tool turning: Experiment and modeling, J. Mater. Process. Technol. 246 (2017) 224–234. doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.03.030.
17. D.V. Lychagin, A.V. Filippov, O.S. Novitskaia, Y.I. Chumlyakov, E.A. Kolubaev, O.V. Sizova, Friction-induced slip band relief of -Hadfield steel single crystal oriented for multiple slip deformation, Wear. 374–375 (2017) 5–14. doi:10.1016/j.wear.2016.12.028.
18. A.V. Filippov, V.E. Rubtsov, S.Y. Tarasov, Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting, Appl. Acoust. 117 (2017) 106–112. doi:10.1016/j.apacoust.2016.11.007.
19. S. Atlati, A. Moufki, M. Nouari, B. Haddag, Interaction between the local tribological conditions at the tool- chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024???T351, Tribol. Int. 105 (2017) 326–333. doi:10.1016/j.triboint.2016.10.006.
20. S. Bahi, G. List, G. Sutter, Modeling of friction along the tool-chip interface in Ti6Al4V alloy cutting, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 84 (2016) 1821–1839. doi:10.1007/s00170-015-7752-4.
21. T. Özel, The influence of friction models on finite element simulations of machining, Int. J. Mach. Tools Manuf. 46 (2006) 518–530. doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.07.001.
22. T. Özel, T. Altan, Determination of workpiece flow stress and friction at the chip-tool contact for high-speed cutting, Int. J. Mach. Tools Manuf. 40 (2000) 133–152. doi:10.1016/S0890-6955(99)00051-6.
23. S. Bahi, G. List, G. Sutter, Analysis of adhered contacts and boundary conditions of the secondary shear zone, Wear. 330–331 (2015) 608–617. doi:10.1016/j.wear.2015.01.016.
24. S. Atlati, B. Haddag, M. Nouari, A. Moufki, Effect of the local friction and contact nature on the Built-Up Edge formation process in machining ductile metals, Tribol. Int. 90 (2015) 217–227. doi:10.1016/j.triboint.2015.04.024.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, НАПЫЛЕННЫХ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТАМИ

А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., В. И. Яковлев, к.т.н., доц., А. М. Бащук, магистрант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

В работе проведено исследование износостойких свойств покрытий поршневых колец, напыленных с помощью газодетонационного метода. В качестве напыляемого порошка использовался СВС-механокомпозит состава TiC–NiCr. Установлено, что износ поршневых колец с разработанным покрытием на 27 % ниже, чем у аналогичных колец с гальваническим хромированием.

This paper focuses on the wear-resistant properties of coatings of piston rings sputtered with a gas detonation method. As a spraying powder a SHS-mechanical compositite of the composition TiC-NiCr was

used. It is established that wear of the piston rings with the developed coating is 27% lower than in similar rings with galvanic chrome plating.

В настоящее время детали, узлы и агрегаты машин зачастую работают в экстремальных условиях под воздействием высоких нагрузок и значительных температур. В автомобиле в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации находятся поршневые кольца двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Использование технологий нанесения различных покрытий этих ответственных изделий является оправданным, поскольку позволяет увеличить эксплуатационную надежность машин и агрегатов, а также сэкономить ремонтные затраты [1]. Так, теплозащитные покрытия деталей цилиндро-поршневой группы ДВС обеспечивают снижение на 10–15 % потерь теплоты в охлаждающую жидкость, что приводит к повышению экономичности двигателя порядка 4 %. Расход топлива при этом снижается на 3–4 %, а общий моторесурс ДВС повышается на 20 %. Использование покрытий также позволяет снизить на 30 % рабочую температуру поршня в области первого кольца, что ведет к уменьшению износа кольца и практически полностью исключает вероятность заклинивания двигателя.

Поршневые кольца изготавливаются, как правило, из серого чугуна, однако в последнее время все большее внимание уделяется применению стальных поршневых колец. Наиболее широкое использование нашла сталь 65Г. По эксплуатационным показателям поршневые кольца из этой стали практически не уступают чугунным, но для увеличения износостойкости на кольца наносят защитные покрытия методами фосфатирования, сульфидирования, оксидирования; в последние годы используют также покрытия на основе карбидов и диборидов титана, циркония и др.

Однако отсутствие единых требований и технологических рекомендаций по созданию заданных параметров поверхностного слоя и восстановлению деталей требуют внедрения новых технологий нанесения покрытий [2]. Из существующих методов газотермического нанесения покрытий газодетонационный обладает рядом преимуществ, и может быть применен для упрочнения и восстановления деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок, ударного воздействия, эрозионного и абразивного износа [3–6].

Дальнейшее развитие метода газодетонационного напыления (ДГН), наряду с модернизацией оборудования, состоит в совершенствовании технологии, например, путем использования новых материалов [7, 8]. С этой целью в процессах газодетонационного напыления могут применяться композиционные порошковые смеси, подверженные предварительной механической активации. Получение новых материалов, кроме этого, также возможно с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [9, 10].Объединение технологий СВС, ДГН и механоактивации в единый технологический цикл может иметь хорошие перспективы для развития нанотехнологий [11–13].

В данной работе исследовали покрытия на основе наноструктурных материалов, полученных методами механохимии с проведением реакции высокотемпературного синтеза в металлической матрице, и нанесенные газодетонационным способом.

Объекты и методы

Для газодетонационного напыления использовалась установка «Катунь-М» (рисунок 1). Она предназначена для напыления покрытий на основе порошковых материалов на различные детали для обеспечения принципиально других свойств в сравнении с исходным изделием [14, 15]. Установка расположена в изолированном помещении с принудительной вентиляцией.

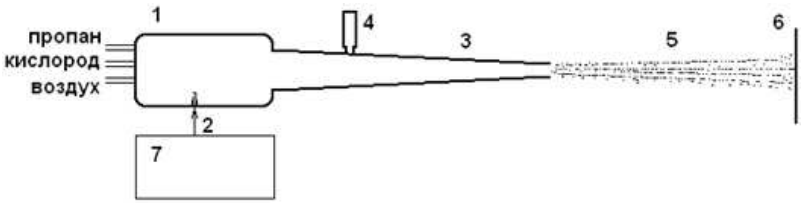


Рис. 1. Схема установки газодетонационного напыления «Катунь-М»:
1 – форкамера, 2 – система зажигания, 3 – ствол, 4 – дозатор порошка, 5 – поток напыляемых частиц, 6 – напыляемая деталь, 7 – блок управления.

Установка газодетонационного напыления «Катунь-М» включает в себя: блок напыления, который, в свою очередь, состоит из форкамеры 1 и ствола 3; систему зажигания 2; порошковый доза-

тор 4 и блок 7 управления установкой. В состав блока управления входит газораспределительная станция, система охлаждения блока напыления и устройство перемещения установки.

Определение трибологических характеристик поршневых колец проводили на машине 2168 УМТ для испытания материалов на трение (рисунок 2). Триботехнический комплекс позволяет проводить испытания материалов на трение и износ в широком диапазоне нагрузок, скоростей и схем испытаний [16]. При этом, машина позволяет одновременного испытывать исследуемый и эталонный образец при их постоянном перемещении по спирали Архимеда.

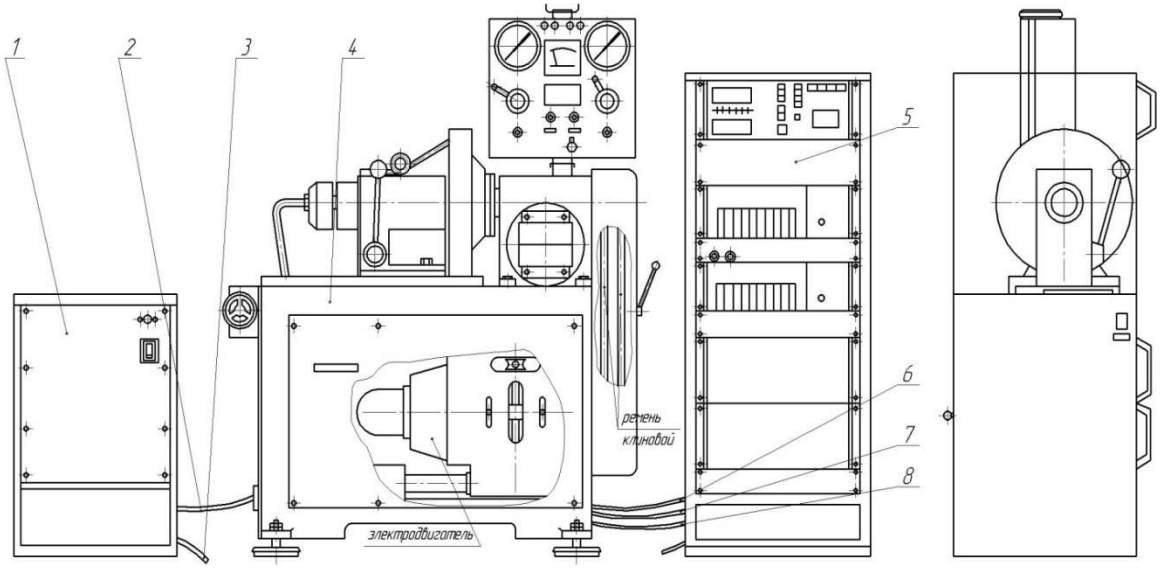


Рис. 2. Триботехнический комплекс 2168 УМТ:
1 – силовой пульт; 2, 3, 6, 7, 8 – соединительные устройства; 4 – испытательная установка; 5 – пульт управления

Определение износостойкости напыленных покрытий проводилось по ГОСТ 23.204-78. Обеспечение износостойкости изделий. Методы определения истирающей способности поверхностей при трении.

Исследования сравнительной износостойкости выполнялись в условиях сухого трения по схеме «диск – палец». Диск изготовлен из чугуна, соответствующего по химическому составу и термообработке гильзе дизельного двигателя. Диску сообщается вращательное движение, а образцу («пальцу») – радиальное возвратно-поступательное перемещение, обеспечивающее примерно равномерное изнашивание диска. Усиление прижима образца к диску регулируется до обеспечения удельного давления, идентичного расчетному давлению кольца на гильзу от его собственной упругости.

Продолжительность испытаний каждого образца составляла 14 часов (исходя из имеющегося опыта подобных исследований) [17].

Для оценки износостойкости покрытий применялся весовой метод. Суть метода состоит в оценке износа через взвешивание образцов до и после изнашивания. Контроль износа образцов производился через каждый час. Перед взвешиванием образец промывался для удаления продуктов износа, сушился. Взвешивание производилось на аттестованных аналитических весах с точностью измерений 0,1 мг.

Испытанию подвергалось по 3 образца, вырезанных из разных поршневых колец одного вида. По результатам измерений рассчитывался средний весовой износ для трех образцов по 14 контрольным точкам.

Для проведения исследований использовались следующие образцы и абразивы: чугунные маслосъемные кольца с хромированным покрытием, произведенные на ставропольском заводе поршневых колец; кольца из стали 65Г в исходном состоянии с покрытием, и обработанные методом ионной имплантации; чугунные диски без обработки; закаленные чугунные диски; диски из стали 65Г с закалкой, а также диск из фосфористого чугуна.

Как уже отмечалось, порошки монокарбида титана имеют широкое применение в различных отраслях машиностроения [18, 19]. В этой связи по разработанной технологии были получены СВС-материалы, предназначенные для использования в качестве напыляемого порошка. Используя УДГН «Катунь-М», было проведено нанесение покрытий на основе TiC + NiCr на образцы поршневых колец, изготовленных из стали 65Г.

Кроме того, испытанию подвергались образцы, полученные из колец разных изготовителей с различными видами поверхностного упрочнения. Таким образом, оценка износостойкости проводилась для следующих поршневых колец:

- кольца, изготовленные из стали 65Г с детонационно-газовым напылением покрытия из СВС-механокомпозита состава TiC + NiCr;
- кольца, изготовленные из стали 65Г с гальваническим хромированием;
- кольца, изготовленные из стали 50ХФА с оксикарбонитрацией (ОКН) поверхностного слоя (~ 200 мкм);
- кольца производства Чехии;
- кольца производства Ставропольского завода поршневых колец (чугунные с гальваническим хромированием).

Рассчитанные средние значения весового износа образцов из разных колец сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Весовой износ образцов

Образец(кольцо)	Весовой износ (мг) при различном времени испытания (час)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
65Г+(TiC+NiCr)	0,5	0,7	1,0	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,8	3,1	3,6	4,0	4,2	4,4
65Г+ Cr	0,7	0,9	1,3	1,7	2,2	2,5	3,1	3,5	3,9	4,1	4,5	5,2	5,7	6,0
50ХФА+ОКН	1,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,8	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,5	5,0	5,2
Чехия	0,8	1,4	2,2	2,5	3,0	3,7	4,0	4,3	4,7	5,3	5,9	6,0	6,5	7,2
Ставрополь	1,7	2,2	2,5	2,8	4,0	4,5	5,2	5,7	6,2	6,9	7,7	8,2	8,6	9,2

По полученным данным построены графики износа образцов, представленные на рисунке 3.

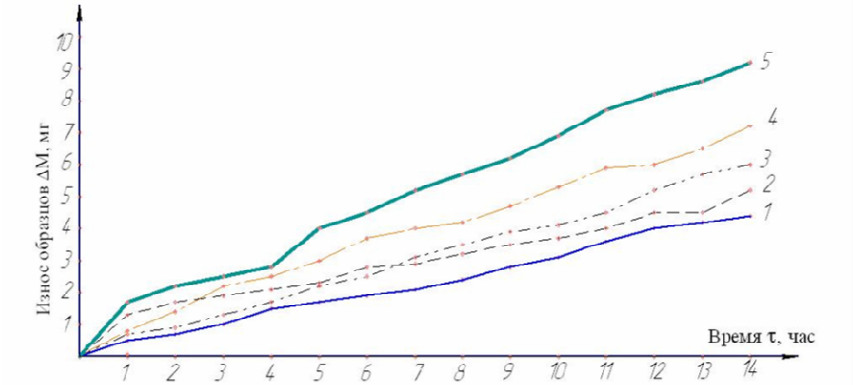


Рис. 3. Износ образцов из колец с различными видами поверхностного упрочнения:
1 – детонационное напыление TiC + CrNi; 2 – оксикарбонитрация; 3 – гальваническое покрытие; 4 – кольцо производства Чехии; 5 – кольцо Ставропольского завода

В начальный период наблюдается повышенная интенсивность износа, что обусловлено начальной приработкой и соответствует общей теории износа. Наиболее заметен процесс приработки на образцах из 50ХФА с оксикарбонитрацией вследствие наличия слоя мягких окислов, облегчающих процесс приработки реального кольца к гильзе.

По истечении периода приработки (от 1 до 5 часов) интенсивность износа стабилизируется, и зависимость износа от времени становится близкой к линейной (период нормального износа).

В результате проведенных исследований установлено, что наилучшей износостойкостью обладают образцы из колец, напыленных СВС-материалами на основе карбида титана газодетонационным способом (кривая 1, рисунок 3). Величина общего износа за весь период испытаний на 16 % ниже, чем у колец, подвергаемых оксикарбонитрации (кривая 2), и на 27 % ниже, чем у аналогичных колец с гальваническим хромированием (кривая 3). Таким образом, использование технологии СВ-синтеза в механоактивированных системах Ti–C–NiCr и последующее газодетонационное напыление этих составов позволяет получать покрытия на прецизионные детали машиностроения, которые могут заменить гальваническое хромирование.

Список литературы

1. Гаркунов Д.Н., Балабанов В.И. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 18–22.
2. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. Киев: Техника, 1986. С. 233.
3. Бартенев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. Л. : Машиностроение, 1982. С. 215.
4. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий / А. А. Ситников, А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, М. В. Логинова, А. П. Свиридов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2017. – № 12 (78). – С. 20–25.
5. Robert B.H. Plasma-Spray Coating. Principles and Applications. Weinheim; New York; Basel; Cambrige; Tokyo: VCH. 1996. 339 p.
6. Андреев А.А., Картамазов Г.Н., Кунченко В.В. Покрытия для поршневых колец // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 9.
7. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after gamma irradiation in small doses / M. V. Loginova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov, A. V. Sobachkin, S. G. Ivanov, A. Z. Negodyaev, A. V. Gradoboev // Physics of Metals and Metallography. – 2017. – Vol. 118. – №. 2. – P. 170–175.
8. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения / М. В. Логинова, В. И. Яковлев, В. Ю. Филимонов, А. А. Ситников, А. В. Собачкин, С. Г. Иванов, А. В. Градобоев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14. – № 4. – С. 464–469.
9. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Бохонов Б.Б., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Механическая активация и самораспространяющийся высокотемпературный синтез при получении монофазных высокодисперсных интерметаллидов // Вопросы материаловедения. 2002. № 1. С. 419–423.
10. Fu Z.Y., Wang H., Wang W.M., Yuan R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. 2003. V. 137. P. 30–34.
11. Собачкин А.В., Попова А.А., Назаров И.В. Структура и свойства газодето-национных покрытий различного функционального назначения на основе порош-ков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 16–22.
12. Leong C.C., Lu L., H.Fuh J.Y., Wong Y.S. In-situ formation of copper matrix composites by laser sintering // Mater. Sci. Eng. A. 2002. Vol. 338. P. 81–88.
13. Tu J.P., Wang N.Y., Yang Y.Z., Qi W.X., Liu F., Zhang X.B., Lu H.M., Liu M.S. Preparation and properties of TiB2 nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing // Mater. Lett. 2002. V. 52. P. 448–452.
14. Яковлев В.И., Шабалин В.Н., Собачкин А.В. Детонационное напыление покрытий из базальта // Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств : сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2009. С. 237–242.
15. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А., Логинова М.В., Иванов С.Г., Свиридов А.П. Особенности формирования покрытий из алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала при газодетонационном напылении // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т. 12. № 4. С. 444–449.
16. Собачкин А.В., Свиридов А.П., Яковлев В.И., Ситников А.А., Радионов Р.В. Антифрикционные газодетонационные покрытия поршня двигателя внутреннего сгорания на основе наноструктурированного композиционного материала // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 2. С. 67–73.
17. Собачкин А.В., Ситников А.А., Свиридов А.П. Оценка износостойкости изделий на основе механоактивированных материалов // Электротехника. Энергетика. Машиностроение : сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых. 2014. С. 248–251.
18. Kermedy A.R., Karantzalis A.E., Wyatt S.M. The microstructure and mechanical properties of TiC and TiB_2-reinforced cast metal matrix composites // J. Mater. Sci. 1995. V. 34. P. 933–940.
19. Гаркунов Д.Н., Балабанов В.И. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 18–22.

ДИНАМИКА ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ СПЛАВА АМГ2 С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

*А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.[1], н.с.[2], Н.Н. Шамарин, асс.[1], О.А. Подгорных, зав. лаб.**
[1]Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81
E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовался алюминиевый сплав АМг2 с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методом равноканального углового прессования. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии.

Алюминиево-магниевые сплавы обладают комплексом физико-механических свойств, обеспечивающим их широчайшее применение в различных промышленных отраслях. Малая масса и хорошая формуемость наряду с высокой коррозионной стойкостью сплава АМг2 позволяют применять его в машиностроении при производстве цистерн, в ракетно-космической технике при изготовлении корпусных деталей, а также в судостроении. В тоже время одним из существенных недостатков этого сплава является низкий предел текучести и предел прочности. Для повышения прочности и, следовательно, эксплуатационных характеристик данного сплава применяют методы интенсивной пластической деформации, которые обеспечивают измельчение структуры материала до ультрамелкозернистого (УМЗ) состояния. Обеспечив выполнение закона Холла-Петча можно добиться многократного роста пределов прочности и текучести (при статических испытаниях) сплава АМг2 и тем самым расширить область его промышленного применения [1,2].

Изменение структуры материала и его механических свойств в процессе интенсивной пластической деформации влечет за собой изменение в характере отклика материала на его механическую обработке в процессе формообразования изделия. Этот отклик выражается в изменении морфологии и механических свойствах поверхностного и приповерхностного слоев. Поскольку повышенная прочность требует приложения более интенсивного механического воздействия при обработке материала, постольку следует ожидать изменение степени наклепа в поверхностном слое изделия, что может оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на усталостную прочность изделия. Кроме того, повышенные нагрузки в процессе формообразования влекут за собой изменение в динамическом отклике технологической системы на механическое воздействие формующего инструмента (резец, фреза, штамп и т.д.) [3–18].

В процессе механической обработки резанием контакт между инструментом и заготовкой происходит в условиях экстремально высокой нагрузки, приходящейся на малую площадь, что влечет за собой интенсификацию деформационных процессов в приповерхностном слое обрабатываемого материала, обусловленных с одной стороны деформацией сдвига, с другой стороны интенсивным сухим адгезионным трением скольжения [19–28]. Изменение динамики фрикционных процессов влечет за собой изменения в степени деформации приповерхностного слоя материала, что существенно влияет на его усталостную прочность.

В связи с выше сказанным целью данной работы является исследование динамического поведения алюминиевого сплава АМг2 в исходном состоянии и с ультрамелкозернистой структурой в условиях сухого трения скольжения.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Трение скольжения осуществлялось по схеме палец-диск на трибометре Tribotechnic. Изменение динамики фрикционных процессов оценивалось с применением лазерного Доплеровского виброметра PSV-500-3D-HV и комплекса АЭ диагностики ЭЯ-2. Испытания проводились на образцах с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой. УМЗ образцы получены методом равноканального углового прессования (РКУП). Число проходов при РКУП составляло от 2 до 8. Число проходов эквивалентно степени деформации материала.

Динамика развития фрикционных процессов указывает на то, что с начала процесса трения коэффициент трения принимает максимальное значение ~0,42 для всех образцов и затем начинает не монотонно снижаться в пределах периода времени 1600-2500 секунд (рисунок 2а). Указанный период является этапом приработки трибосопряжения в котором происходит формирование начальной микро шероховатости на поверхности образцов алюминиево-магниевого сплава. Затем трение реализуется достаточно монотонно с небольшими всплесками величины коэффициента трения, которые обуслов-

лены механизмами формирования (на поверхности стального шарика) и обратного переноса (с поверхности стального шарика на поверхность алюминиевого сплава) слоя адгезионного переноса. В режиме установившегося трения коэффициент трения для исходного образца составляет ~0,248, для образца после 2 проходов РКУП ~0,231, для образца после 4 проходов РКУП ~0,245, для образца после 8 проходов РКУП ~0,254. Небольшое увеличение коэффициента трения для образцов с УМЗ структурой по мере увеличения числа проходов РКУП обусловлено повышением вклада адгезии в трение за счет уменьшения дисперсности структуры материала.

Амплитуда виброускорений в плоскости действия силы трения (рисунок 2б) изменяется качественно подобно коэффициенту трения. Однако, набегающая величина среднеквадратичного значения амплитуды виброускорений указывает на то, что максимум вибраций трибологической системы приходится на образец сформированный двумя проходами РКУП. С увеличением числа проходов уровень вибраций в трибологической системе приходит к значениям эквивалентным исходному образцу для которого регистрировались минимальные колебания. Увеличение амплитуды виброускорений при трении двухпроходного образца обусловлено его неравновесной структурой, поскольку двух проходов РКУП недостаточно для начала процессов динамической рекристаллизации, которая обеспечивает формирование равноосной зеренной структуры с октаэдрическими зернами и полностью сформированными границами.

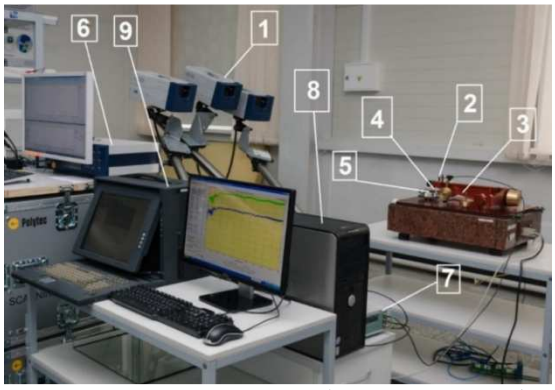
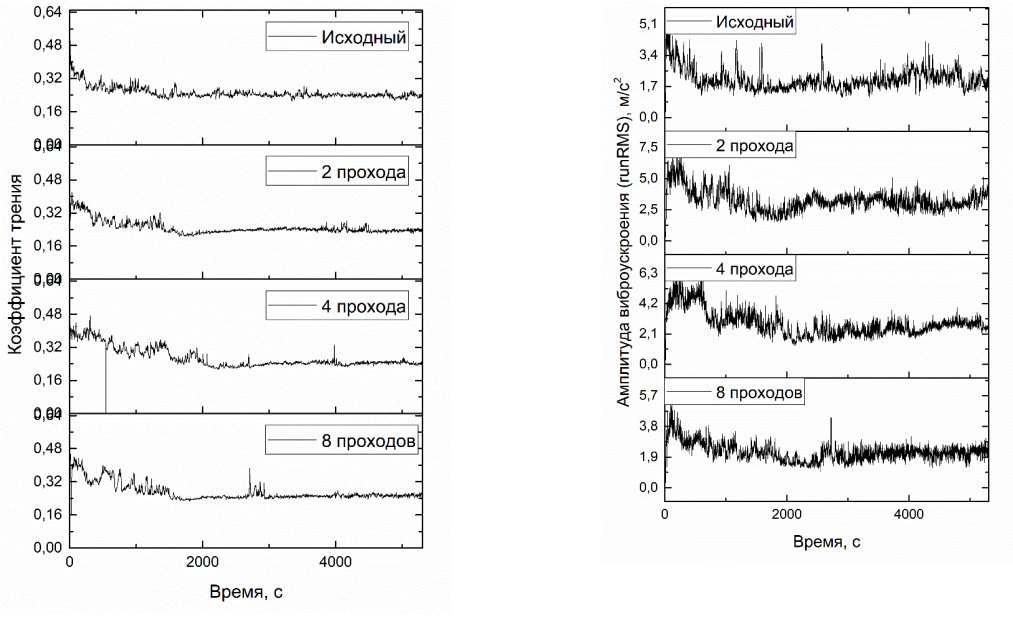


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лазерный доплеровский виброметр, 2 – датчик АЭ, 3 – трибометр, 4 – образец, 5 – контртело, 6 – система обработки данных виброметра, 7 – усилитель АЭ, 8 – система обработки данных трибометра, 9 – система обработки данных АЭ.



а *б*

Рис. 2. Динамика изменения коэффициента трения (а) и амплитуды виброускорений (б) в процессе сухого трения скольжения

Амплитуда сигналов акустической эмиссии также существенно зависит от изменения динамики фрикционных процессов при трении исходных образцов и образцов с ультрамелкозернистой структурой (рисунок 3). Динамика изменения огибающей амплитуды АЭ сигналов указывает на немонотонный характер трения всех рассматриваемых образцов, что согласуется с данными по динамике изменения коэффициента трения и амплитуды виброускорений. Нарастание величины огибающей амплитуды АЭ по мере увеличения длительности испытаний свидетельствует о развитии интенсивных деформационных процессов на контактных площадках, которые являются основными источниками повышения мощности АЭ.

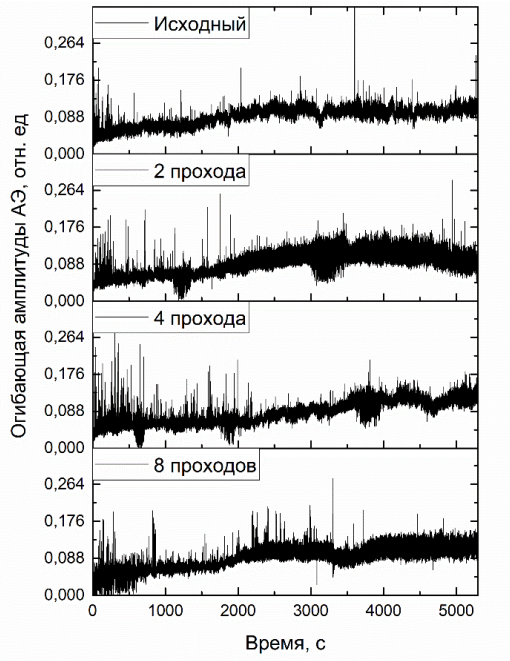


Рис. 3. Динамика изменения огибающей амплитуды акустической эмиссии в процессе сухого трения скольжения

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сухом трении скольжения материала с ультрамелкозернистой структурой, сформированной после двух проходов РКУП, в трибосопряжении достигается минимальное значение коэффициента трения. При трении образцов с УМЗ структурой амплитуда акустической эмиссии изменяется в больших пределах и достигает большей величины, чем при трении материала с исходной стурктурой, что указывает на развитие более интенсивных деформационных процессов при трении УМЗ материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00058.

Список литературы

20. Valiev R., Islamgaliev R., Alexandrov I. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. vol. 45. 2000. doi:10.1016/S0079-6425(99)00007-9.
21. Valiev RZ, Alexandrov I V, Zhu YT, Lowe TC. Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation. J Mater Res 2002;17:5–8. doi:10.1557/JMR.2002.0002.
22. Sedlaček M, Podgornik B, Vižintin J. Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear. Wear 2009;266:482–7. doi:10.1016/j.wear.2008.04.017.
23. Wang WZ, Chen H, Hu YZ, Wang H. Effect of surface roughness parameters on mixed lubrication characteristics. Tribol Int 2006;39:522–7. doi:10.1016/j.triboint.2005.03.018.
24. Grzesik W, Brol S. Hybrid approach to surface roughness evaluation in multistage machining processes. J Mater Process Technol 2003;134:265–72. doi:10.1016/S0924-0136(02)01105-6.

25. De Chiffre L, Lonardo P, Trumpold H, Lucca D a., Goch G, Brown C a., et al. Quantitative Characterisation of Surface Texture. CIRP Ann - Manuf Technol 2000;49:635–52. doi:10.1016/S0007-8506(07)63458-1.
26. Jiang XJ, Whitehouse DJ. Technological shifts in surface metrology. CIRP Ann - Manuf Technol 2012;61:815–36. doi:10.1016/j.cirp.2012.05.009.
27. Grzesik W. Surface Integrity. Adv Mach Process Met Mater 2017:533–61. doi:10.1016/B978-0-444-63711-6.00020-X.
28. Grzesik W. Prediction of surface topography in precision hard machining based on modelling of the generation mechanisms resulting from a variable feed rate. Int J Adv Manuf Technol 2017. doi:10.1007/s00170-017-1129-9.
29. Alfyorova EA, Lychagin DV. Self-organization of plastic deformation and deformation relief in FCC single crystals. Mech Mater 2018;117:202–13. doi:10.1016/J.MECHMAT.2017.11.011.
30. Lychagin D V., Alfyorova EA. Slip as the basic mechanism for formation of deformation relief structural elements. Phys Solid State 2017;59:1433–9. doi:10.1134/S1063783417070137.
31. Alfyorova EA, Lychagin DV. Deformation relief in crystals as a way of stress relaxation. Lett Mater 2017;7:155–9. doi:10.22226/2410.
32. Filippov AV, Tarasov SY, Fortuna SV, Podgornykh OA, Shamarin NN, Rubtsov VE. Microstructural, mechanical and acoustic emission-assisted wear characterization of equal channel angular pressed (ECAP) low stacking fault energy brass. Tribol Int 2018;123:273–85. doi:10.1016/j.triboint.2018.03.023.
33. Lychagin DV, Filippov AV, Kolubaev EA, Novitskaia OS, Chumlyakov YI, Kolubaev AV. Dry sliding of Hadfield steel single crystal oriented to deformation by slip and twinning: Deformation, wear, and acoustic emission characterization. Tribol Int 2018;119:1–18. doi:10.1016/j.triboint.2017.10.027.
34. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY, Podgornykh OA, Shamarin NN. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals. Int J Adv Manuf Technol 2018;95:157–69. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
35. Lychagin DV, Filippov AV, Novitskaia OS, Chumlyakov YI, Kolubaev EA, Sizova OV. Friction-induced slip band relief of -Hadfield steel single crystal oriented for multiple slip deformation. Wear 2017;374–375:5–14. doi:10.1016/j.wear.2016.12.028.
36. Filippov AV, Nikonov AY, Rubtsov VE, Dmitriev AI, Tarasov SY. Vibration and acoustic emission monitoring the stability of peakless tool turning: Experiment and modeling. J Mater Process Technol 2017;246:224–34. doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.03.030.
37. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY. Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting. Appl Acoust 2017;117:106–12. doi:10.1016/j.apacoust.2016.11.007.
38. [19] Ulutan D, Özel T. Determination of tool friction in presence of flank wear and stress distribution based validation using finite element simulations in machining of titanium and nickel based alloys. J Mater Process Technol 2013;213:2217–37. doi:10.1016/j.jmatprotec.2013.05.019.
39. Atlati S, Moufki A, Nouari M, Haddag B. Interaction between the local tribological conditions at the tool- chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024???T351. Tribol Int 2017;105:326–33. doi:10.1016/j.triboint.2016.10.006.
40. Filice L, Micari F, Rizzuti S, Umbrello D. A critical analysis on the friction modelling in orthogonal machining. Int J Mach Tools Manuf 2007;47:709–14. doi:10.1016/j.ijmachtools.2006.05.007.
41. Guo Y, Compton WD, Chandrasekar S. In situ analysis of flow dynamics and deformation fields in cutting and sliding of metals. Proc R Soc A Math Phys Eng Sci 2015;471. doi:10.1098/rspa.2015.0194.
42. Uysal A, Altan E. A New Slip-Line Field Modeling of Orthogonal Machining with a Rounded-Edge Worn Cutting Tool. Mach Sci Technol 2014;18:386–423. doi:10.1080/10910344.2014.925375.
43. Calistes R, Swaminathan S, Murthy TG, Huang C, Saldana C, Shankar MR, et al. Controlling gradation of surface strains and nanostructuring by large-strain machining. Scr Mater 2009;60:17–20. doi:10.1016/j.scriptamat.2008.08.027.
44. Shankar MR, Rao BC, Lee S, Chandrasekar S, King AH, Compton WD. Severe plastic deformation (SPD) of titanium at near-ambient temperature. Acta Mater 2006;54:3691–700. doi:10.1016/j.actamat.2006.03.056.
45. Swaminathan S, Brown TL, Chandrasekar S, McNelley TR, Compton WD. Severe plastic deformation of copper by machining: Microstructure refinement and nanostructure evolution with strain. Scr Mater 2007;56:1047–50. doi:10.1016/j.scriptamat.2007.02.034.

46. Lee S, Hwang J, Shankar MR, Chandrasekar S, Compton W. Large strain deformation field in machining. Metall Mater Trans A 2006;37:1633–43. doi:10.1007/s11661-006-0105-z.
47. Swaminathan S, Ravi Shankar M, Lee S, Hwang J, King AH, Kezar RF, et al. Large strain deformation and ultra-fine grained materials by machining. Mater Sci Eng A 2005;410–411:358–63. doi:10.1016/j.msea.2005.08.139.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ, СОДЕРЖАЩЕЙ КЕРАМИЧЕСКУЮ ФАЗУ

А.С. Калиниченко[1], д.т.н., доц., В.В. Мешкова[1], мл. науч. сотр., Е.Э. Фельдштейн[2], д.т.н., проф.
[1]Белорусский национальный технический университет
[2]Зеленогурский университет
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45
E-mail: vera.miashkova2015@gmail.com

Исследовано влияние структурных особенности покрытий, полученных на стали плазменным напылением смеси порошков самофлюсующегося сплава на никельхромовой основе с различным процентным соотношением оксидной керамики на износостойкость полученных покрытий.

The influence of structural features of coatings formed on steel specimens by means of plasma spraying of a mixture of nickel-chromium base powder and different percentage of oxide ceramics one on the coatings wear resistance is investigated.

Важной задачей современной науки и промышленности является повышение эксплуатационных характеристик деталей, работающих в условиях трения [1]. Традиционно, процессом, позволяющим эффективно восстанавливать изношенные поверхности, а также создавать износостойкие покрытия на новых деталях, является плазменное напыление. Для обеспечения стойкости деталей протяжных устройств в процессе эксплуатации требуется технология получения износостойких покрытий на рабочих поверхностях роликов, так как они подвергаются высоким удельным давлениям. Было предложено использовать технологию плазменного напыления покрытий из механической смеси порошков самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-ХН80СР4 (системы Ni-Fe-Cr-Si-B-C) с нейтральной оксидной керамикой Al_2O_3. Покрытия из самофлюсующихся сплавов рекомендуется применять для защиты поверхностей от износа при одновременном воздействии коррозионной среды и высоких температур с умеренными ударными нагрузками. Самофлюсующиеся сплавы обладают высокими эксплуатационными характеристиками, однако применение их ограничено высокой стоимостью. Для снижения стоимости обработки, а также для снижения адгезии между медным проводом и никелевой матрицей самофлюсующегося покрытия предложено использовать примесь нейтральной оксидной керамики Al_2O_3 в количестве 15-30 %.

Для плазменного напыления использовалась установка УПУ-3Д с плазмотроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применялся азот. Расход газа – 3 $м^3$/ч. Напряжение дуги 80 В, сила тока 410 А, объемный расход плазмообразующего газа (N_2) G = 40…50 л/мин. Толщина напыленного слоя составила 0,8…1,1 мм. Для покрытия использовалась смесь самофлюсующегося порошка ПГ-ХН80СР4 на никельхромовой основе системы Ni-Fe-Cr-Si-B-C с оксидной керамикой Al_2O_3 с процентным содержанием 15, 20, 25 и 30%. Предварительно для повышения адгезии покрытия образцы грунтовались тонким слоем самофлюса. Покрытие наносилось в режиме наплавки (заготовка предварительно нагревалась до 800°C) с оплавлением.

Ранее было установлено, что при содержании Al_2O_3 25-30% в покрытии наблюдается пористость и значительно повышается риск трещинообразования, что снижает физико-механические свойства, в частности, твердость [2]. Для повышения качества нанесенных слоев были отработаны технологические режимы, обеспечивающие формирование слоев без пористости и трещин. При получении покрытия с помощью указанной технологии существовала опасность сегрегации напыляемой смеси из-за значительной разницы удельных плотностей оксидной керамики и никелевой матрицы самофлюсующегося покрытия. Однако, исследования структуры материала посредством СЭМ показали, что частицы Al_2O_3 равномерно распределены в толще покрытия (рисунок 1). Для детального рассмотрения структуры и последующего исследования фаз в покрытии проводился элементный анализ. Все покрытия имеют сходную структуру: темные участки – частицы Al_2O_3, светло-серые – никелевая эвтектика; темно-серые участки – соединения хрома.

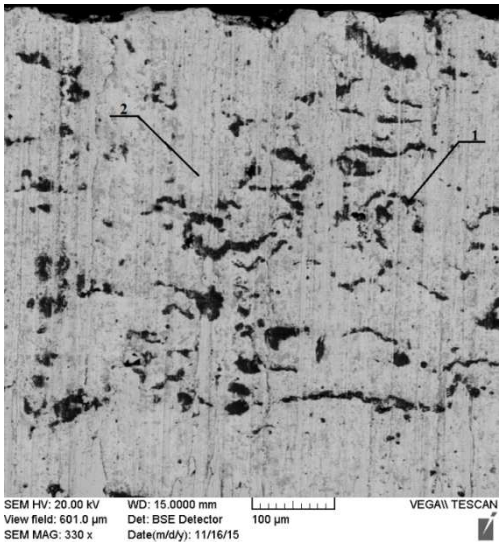


Рис. 1. Структура покрытия с содержанием Al_2O_3 в смеси порошков 15%, ×330: 1 – частица Al_2O_3; 2 – матрица.

Исследования износа образцов с покрытиями выполнялись на машине трения А-135 типа Amsler. Составляющими узла трения были колодки с покрытиями с номинальными размерами 10 (поверхность трения)×14×20 мм и медные ролики. Для сравнения в качестве эталона базовой технологии использовался образец из сплава с покрытием, состоящим из механической смеси самофлюсующегося сплава ПС-12НВК-01 с карбидом вольфрама (ПГ-10Н-01 + 35% WC). Исследования выполнялись в условиях сухого трения, нагрузка 1000 Н. Регистрирующая система машины трения содержит комплект датчиков, позволяющих на измерение числа оборотов ролика в ходе цикла трения, а также изменений работы трения, момента трения и температуры колодки во времени.

Результаты измерения коэффициентов трения приведены на рисунке 2:

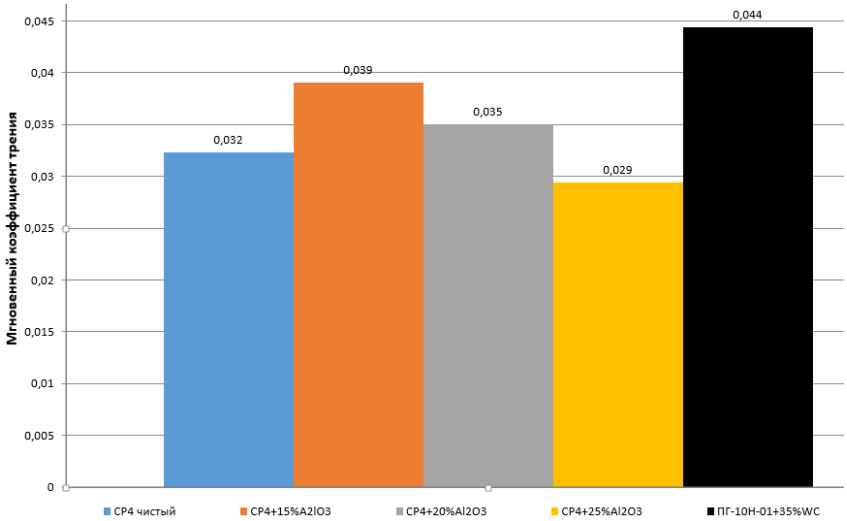


Рис. 2 – Коэффициенты трения чистого самофлюса, механических смесей СР4 с оксидом алюминия и ПГ-10Н-01 с карбидом вольфрама

Коэффициенты трения чистого самофлюса и механических смесей самофлюса с оксидом алюминия при данных условиях ниже эталонного коэффициента трения механической смеси с карбидом вольфрама. При этом, самый низкий коэффициент трения наблюдается в смеси, содержащей 25% Al_2O_3, однако, как следует из предыдущих исследований, данная смесь при напылении склонна к образованию микротрещин, что снижает твердость покрытий в сравнении с другими смесями. Исхо-

дя из этого, можно рекомендовать для получения износостойких покрытий, содержащих керамическую фазу, механические смеси порошков, содержащие не более 20% Al_2O_3, что обеспечивает снижение коэффициента трения, по сравнению с эталонной смесью и сохранение высокого уровня физико-механических свойств покрытий.

Список литературы

1. Kotkunde N., Ojha H. Review of laser cladding on steel // International J. of Multidispl. Research & Advcs. in Engg. (IJMRAE), Vol. 3, No. II (April 2011), pp. 25-34.
2. Калиниченко А.С., Девойно О.Г., Мешкова В.В. Влияние содержания оксидной керамики на структуру и свойства никельхромовых плазменный покрытий / Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл.ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015. С. 171- 174.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

С.А. Теслев, начальник ПТО «ЮФЗ», Е.П. Теслева, к. ф–м. н., доц., Д.В. Халтурина, студ.
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета
652050, г. Юрга, ул. Достоевского 1, тел. 7–77–42

Рассматривается возможность использования ископаемых углей в качестве компонентов восстановительных смесей при производстве ферросилиция.

Ферросилиций – это сплав железа с кремнием, который применяется для раскисления и легирования стали, а также для получения отливок из чугуна с заданным содержанием кремния [1-3]. Вводить в сталь кремний в виде его сплава с железом, а не в чистом виде удобнее вследствие более низкой температуры плавления и выгоднее, так как стоимость сплава ниже по сравнению со стоимостью кристаллического кремния.

Процесс производства ферросилиция является восстановительным. В любом восстановительном металлургическом процессе шихта состоит из рудной составляющей и восстановителя. В производстве ферросилиция рудным компонентом шихты является кварцит, а восстановителем – углеродистые материалы, которые условно можно классифицировать на ископаемые (антрацит, каменные, бурые угли, торф) и искусственные (металлургический кокс, коксовый орешек, специальный кокс, полукокс) [4].

Эффективная работа электропечей зависит от показателей качества используемых в производстве углеродистых материалов. В зависимости от этих показателей в различных технологических процессах используют различные виды углеродсодержащих материалов. Одни из них находят применение в качестве восстановителей в углетермических процессах, другие в качестве огнеупорных материалов для футеровки металлургических агрегатов, третьи в качестве наполнителей при изготовлении электродных масс [5].

Традиционно используемые для этих целей различные виды кокса, полукокса и термоантрацита имеют ряд преимуществ: меньшее содержание примесей, высокая температура сгорания, высокая электропроводность, большая реакционная способность и низкое содержание влаги. Однако в условиях рыночных отношений данные материалы становятся не только дефицитным, но и дорогостоящим сырьем. В качестве альтернативной замены этих углеродсодержащих материалов, а также для снижения себестоимости ферросплавной продукции в последние годы активно применяются восстановительные смеси, состоящие из кокса в различных комбинациях с углями.

Не все виды угля пригодны для эффективного использования в качестве восстановителя в связи с различием их вещественных составов и физико-химических свойств. Недостатком использования каменного угля в восстановительной смеси является высокий уровень низшей теплоты сгорания рабочего топлива, который для всех марок угля (А, Т, СС и Д) находится в пределах 5200-6500 ккал/кг. Высокая калорийность каменного угля снижает стойкость печного оборудования, неблагоприятно сказывается на режиме коксования самоспекающихся электродов. Это приводит к увеличению горячих простоев печей и потере производительности [6].

Например, в работе [6] предложена многокомпонентная восстановительная смесь для выплавки ферросилиция, содержащая коксовый орешек, бурый уголь марки Б с низшей теплотой сгорания рабочего топлива, равной 3200 ккал/кг, и содержанием рабочей влаги до 40%, а в качестве рыхлителя – длиннопламенный уголь и древесная щепа в следующем массовом соотношении компонентов, % (по углероду) (табл. 1):

Таблица 1

Состав восстановительной смеси

восстановитель	%, по углероду
уголь длиннопламенный	25-50
уголь бурый марки Б	14-20
щепа древесная	2-5
коксовый орешек	остальное

Данная смесь позволяет увеличить производительность печей и снизить удельный расход электроэнергии на 5 % и при этом повысить извлечение кремния в сплав на 1,5 %.

Не все виды каменного угля способны улавливать монооксид кремния из колошниковых газов. Многие смеси имеют низкую фильтрующую способность, что отрицательно сказывается на степени извлечения кремния в сплав. В работе [7] предложена многокомпонентная восстановительная смесь состоящая из коксового орешка 58-70%, угля марки Д 25-35% и древесной щепы 5-7% по углероду (табл. 2).

Таблица 2

Состав восстановительной смеси

восстановитель	%, по углероду
длиннопламенный уголь марки Д	25-55
древесная щепа	5-7
коксовый орешек	остальное

В качестве фильтрующего компонента в данной смеси введен длиннопламенный уголь марки Д с выходом летучих веществ более 40% и пористостью более 15%, а в качестве рыхлителя шихты используется древесная шихта. угли марки Д обеспечивают улавливание монооксида кремния из колошниковых газов.

Применение предлагаемой восстановительной смеси позволяет увеличить производительность печей на 8,6-11,4%, снизить удельный расход электроэнергии на 9,4-10,9%, повысить извлечение кремния в сплав на 1,8-2,1%.

Перспективным также является способ, в котором предлагается восстановительная смесь, содержащая коксовый орешек и ископаемые угли в количестве 50% по углероду, а плавку осуществляют в условиях оптимального соотношения параметров электрического режима работы. При этом использование в восстановительной смеси длиннопламенного и бурого углей коэффициент избытка углерода поддерживают на уровне 0,98, а погружение электродов в шихту при выплавке высококремнистого ферросилиция осуществляют на глубину в 1,67 раза больше диаметра электрода (табл. 3) [8].

Таблица 3

Соотношения параметров электрического режима работы печи в зависимости от доли замены кокса углем

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Доля замены кокса углем, 0%	Доля замены кокса углем, 50%
1	Сила тока в электроде	А	65000	62500
2	Фазное напряжение на электроде	В	98	101,3
3	Полное фазное сопротивление в печи	мОм	1,51	1,62
4	Полное фазное сопротивление в шихте	мОм	3,2	12,8
5	Фазная активная мощность в дуге	кВт	2400	3300
6	Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/т	10330	8104
7	Суточная производительность печи	т/сут	35,7	47,9
8	cos j		0,813	0,851

Применение данного способа производства ферросилиция позволяет увеличить производительность печей на 15–17%, снизить удельный расход электроэнергии на 12–15%, повысить извлечение кремния в сплав на 5–7%.

Таким образом, использование углей в качестве компонента восстановительных смесей является перспективным способом замены дорогостоящих восстановителей. Возможность применения восстановительных смесей разного состава позволяет регулировать электрические и термические параметры печи, увеличивая как производительность так и извлечение кремния в сплав.

Список литературы

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
2. Зубов В.Л., Гасик М.И. Электрометаллургия ферросилиция. Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.
3. Теслев С. А., Теслева Е. П. Использование железорудных неофлюсованных окатышей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Юрга, 21-23 Мая 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 155-158.
4. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.
5. Кашлев И.М. Разработка технологии производства ферросилиция и электродной массы с использованием каменного угля [Текст]: автореф.дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / И. М. Кашлев. – Новокузнецк, 2000. – 19 с.
6. Многокомпонентная восстановительная смесь для выплавки ферросилиция: 2366740 C2 Рос. Федерация: МПК C22C 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. Платонов, М.М. Михайлов, И.М. Кашлев, С.Ф. Павлов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2006134897/02; заявл. 02.10.2006; опубл. 10.09.2009, Бюл. No 25.– 4 с.
7. Восстановительная смесь для выплавки ферросилиция: 2380440 C2 Рос. Федерация: МПК C22C 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. Платонов, М.М. Михайлов, И.М. Кашлев, С.Ф. Павлов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2006134896/02; заявл. 02.10.2006; опубл. 27.01.2010, Бюл. No 3.– 4 с.
8. Способ выплавки ферросилиция в рудотермической печи: 2451098 C2 Рос. Федерация: МПК C22C 33/04 А.А. Максимов, Г.А. Чашин, В.Ю. И.М. Кашлев, А.В. Астахов, А.А. Маматов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Кузнецкие ферросплавы". – No 2010119793/02; заявл. 17.05.2010; опубл. 27.11.2011, Бюл. No 33.– 9 с.

МИКРОТВЕРДОСТЬ ВАЛИКОВ ИЗ БРОНЗЫ ПГ-19М-01, НАНЕСЕННЫХ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ МУЛТИМОДАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

О.Г. Девойно, д.т.н., проф., Н.И. Луцко, науч. сотр., А.С. Лапковский, науч. сотр.,
Белорусский национальный технический университет
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65, тел. (375 17)331-00-45
E-mail: nilucko@tut.by

В статье рассматриваются преимущества лазерной наплавки и возможности использования лазерной наплавки для создания мультимодальных покрытий из разнородных металлических материалов. Приведены результаты исследований микротвердости в поперечном сечении наплавленных валиков из алюминиевой бронзы. Показано влияние скорости лазерной наплавки на микротвердость в наплавленных валиках.

The advantages and the capabilities of laser cladding are analyses for used laser cladding for applying multimodal coatings from heterogeneous metal work materials. Results of microhardness investigations in cross section of cladding tracks from Al-bronze are exhibited. The influence of cladding velocity on microhardness are examined.

Машины и механизмы, используемые современной промышленностью, в большинстве случаев предполагают наличие высоких скоростей и нагрузок. Поэтому постоянно растет потребность в высоко-износостойких материалах. Пределы упрочнения однокомпонентных материалов в настоящее время уже близки к исчерпанию. По этой причине возрастает роль композиционных материалов, позволяющих значительно увеличить износостойкость, в том числе композиционных упрочняющих покрытий. Особенно высокие физико-механические свойства показывает такой вид композиционных покрытий, как мультимодальные покрытия [1, 2]. Модой считается значение какого-либо признака (размера частиц упрочняющей фазы, величины пористости, вида материала), которые встречаются

наиболее часто. Если имеют место несколько значений какого-либо признака, имеющие одинаковую частоту повторения, то покрытие является мультимодальным (бимодальным).

Лазерная наплавка позволяет наносить валики небольших размеров, поперечные сечения которых сравнимы с размером лазерного пятна на поверхности наплавки, при этом тепловой вклад в прилегающие области покрытия минимален. Кроме того при лазерной наплавке: перемешивание материала наплавляемых валиков с материалом подложки и с материалом соседних валиков может поддерживаться достаточно низким; сцепление наплавленных валиков с подложкой и между собой великолепное; диапазон технологических параметров лазерной обработки достаточно большой, соответственно параметры нанесения покрытия могут выбираться достаточно свободно[3].

Эти свойства лазерной наплавки наводят на мысль о возможности создания с ее помощью мультимодальных покрытий. В-частности, одним из вариантов создания мультимодальных покрытий с использованием возможностей лазерной наплавки является построение покрытия состоящего из полосчатых слоев, полученных чередованием материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Такая технология создания мультимодальных покрытий может быть использована как для упрочнения поверхностей новых деталей, так и для восстановления их изношенных поверхностей с хорошими прочностными свойствами [4, 5].

Схема поперечного сечения такого покрытия, в котором чередуются валики из различных материалов, показана на рисунке 1.

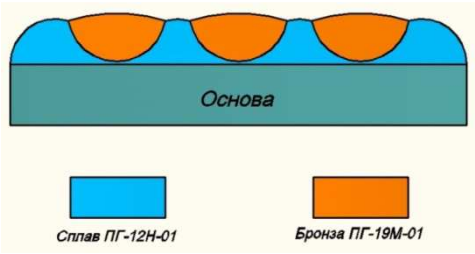


Рис. 1. Схема поперечного сечения мультимодального покрытия полученного чередованием валиков из различных материалов

Прежде чем приступить к созданию мультимодальных покрытий из разнородных металлических материалов должна быть отработана технология лазерной наплавки валиков из предполагаемых составляющих мультимодального покрытия и исследованы физико-механические свойства материалов валиков. В данной работе нами предпринята попытка исследовать распределение микротвердости в единичных валиках из бронзы ПГ-19М-01 и выявить влияние режимов лазерной наплавки на величину микротвердости.

Для выполнения исследований применялся лазерный технологический комплекс, включавший газовый CO_2 лазер непрерывного действия типа «Комета 2» с мощностью излучения 1000 Вт и координатную систему с числовым программным управлением, обеспечивавшую необходимое перемещение наплавочной головки относительно наплавлявшихся образцов. Применявшаяся схема наплавки показана на рисунке 2.

Образец 8 устанавливался на поверхность стола координатной системы, указанная система обеспечивала перемещение наплавочной головки-объектива 3 с коаксиальным наплавочным соплом 4, фокусирующей линзой 5 и системой поворотных зеркал 6 относительно образца с заданной скоростью наплавки V. Наплавляемый материал в питателе 1 смешивался с транспортирующим газом (аргоном) и в виде газопорошковой смеси поступал в распределитель 2, из которого он по четырем трубкам подавался в коаксиальное сопло 4. Луч лазера 7 через систему поворотных зеркал 6 и линзу 5 фокусировался на поверхности образца в той же точке, куда подавался порошок по наклонным каналам коаксиального сопла 4. Для предотвращения перегрева фокусирующей линзы 5 и сопла 4 в процессе наплавки, в корпусе головки объектива 3 были предусмотрены специальные каналы, через которые протекала проточная вода. Лазерная наплавка производилась при мощности излучения лазера 1000 Вт, дистанциях наплавки 10, 12 и 14 мм, скоростях наплавки 100, 150, 200, 250 и 300 мм/мин, величине подачи порошка 12 г/мин. Наплавка выполнялась на образцы, изготовленные из стали 45,

имевшие размеры 20х30х8 мм. В качестве наплавочного материала использовался порошок алюминиевой бронзы – ПГ-19М-01, имевший грануляцию 20-80 мкм.

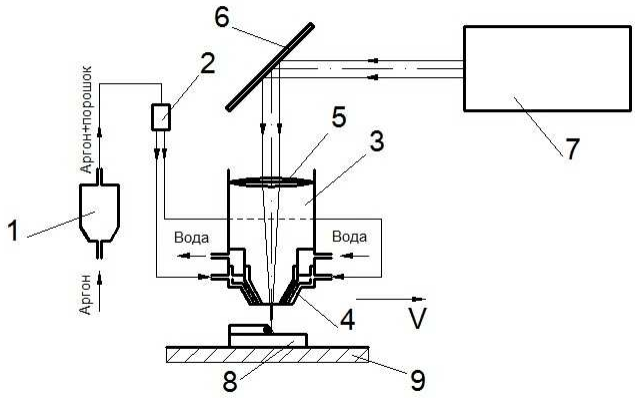


Рис. 2. Схема лазерной наплавки

После наплавки образцы разрезались в направлении перпендикулярном валикам наплавки, шлифовались и заливались в специальные оправки. Затем изготавливались поперечные шлифы валиков наплавки и производился замер микротвердости по глубине валиков. Измерения микротвердости производились при помощи микротвердомера ПМТ-3 при нагрузке 100 г по линии симметрии валиков из основы к поверхности покрытия с шагом 0,05 мм. Результаты приведены на рисунках 3-5.

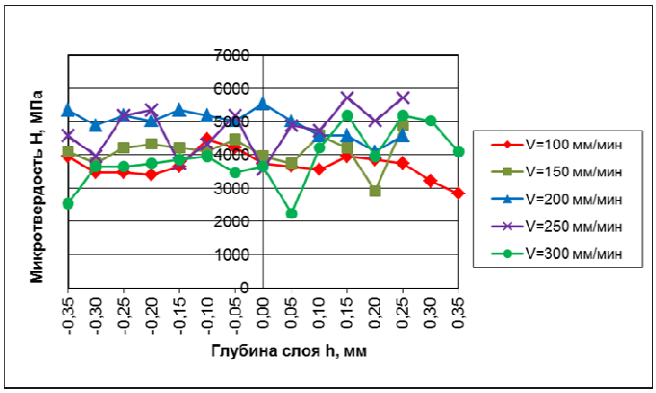


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 10 мм

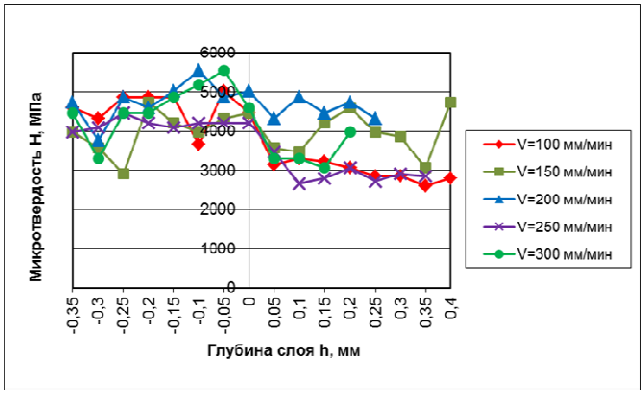


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 12 мм

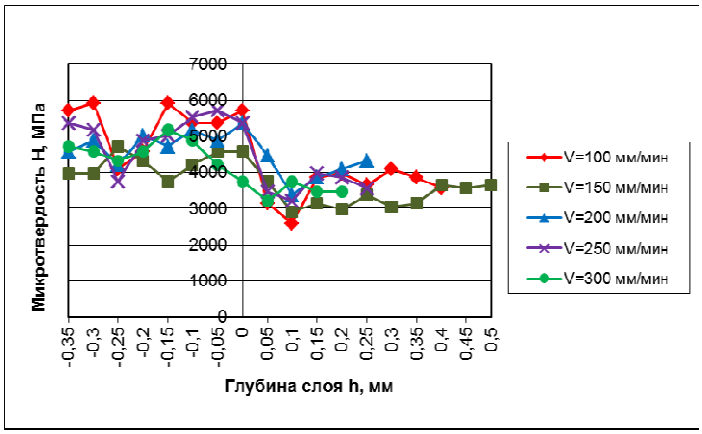


Рис. 5- – Распределение микротвердости по глубине валика из бронзы ПГ-19М-01 при дистанции наплавки 14 мм

Полученные результаты позволяют отметить следующее:

- При переходе из основы в покрытие наблюдается некоторое снижение микротвердости, которое увеличивается с увеличением дистанции наплавки, что свидетельствует о том, что величина переходной зоны уменьшается при росте дистанции наплавки. Металлургическая связь покрытия с подложкой при этом сохраняется;

- По глубине наплавленных валиков из бронзы ПГ-19М-01 микротвердость распределена достаточно равномерно при всех дистанциях наплавки, что говорит о равномерном перемешивании наплавляемого материала покрытия в ванне расплава. Небольшие колебания микротвердости по глубине валиков из бронзы свидетельствуют также о равномерном распределении фаз в покрытии. Другими словами, после лазерной наплавки покрытие из бронзы ПГ-19М-01 по всему объему состоит в основном из α-твердого раствора меди, эвтектики α-Fe+γ-Fe, алюминидов меди и алюминидов железа;

- Наблюдается некоторое снижение микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 при увеличении дистанции наплавки, что связано с изменением положения фокуса лазерного излучения относительно поверхности наплавки и разными условиями нагрева-охлаждения;

- Наивысшая микротвердость (5300 Мпа) отмечается при скорости наплавки 250 мм/мин и дистанции наплавки 10 мм;

- При скорости наплавки 100 мм/мин и дистанции наплавки 14 мм уровень микротвердости достаточно низок и составляет порядка 3000 Мпа.

На рисунке 6 приведена зависимость средней микротвердости в валике бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки. Из рисунка 6 видно, что наиболее низкая микротвердость при всех дистанциях наплавки наблюдается при скорости наплавки 100 мм/мин. В диапазоне скоростей наплавки 100-250 мм/мин наблюдается увеличение микротвердости. При дальнейшем росте скорости наплавки до 300 мм/мин, микротвердость валиков бронзы уменьшается. При малых скоростях наплавки и, соответственно, большом энерговкладе в валиках из бронзы образуется достаточно крупнозернистая структура с низкой микротвердостью. С ростом скорости наплавки и уменьшением энерговклада в валики, величина зерна уменьшается, а микротвердость растет. При скорости наплавки 250 мм/мин формируется оптимальная зернистость структуры и наблюдается максимальная микротвердость. С увеличением скорости наплавки из-за уменьшения энерговклада в покрытие в нем создаютя условия неполного сплавления материала валиков по границам зерен. Таким образом, в диапазоне скоростей наплавки 250-300 мм/мин средняя микротвердость материала валиков из бронзы ПГ-19М-01 уменьшается.

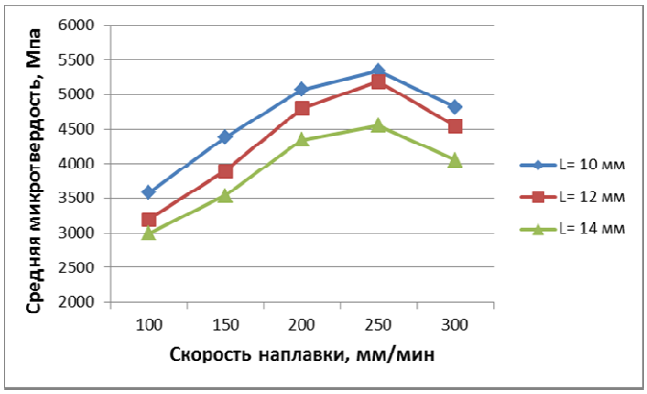


Рис. 6 - Зависимость средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от скорости наплавки

На рисунке 7 показаны зависимости средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки. При дистанции наплавки 10 мм, когда фокус лазерного излучения находится под поверхностью покрытия, порошок прогревается хорошо, основа при этом проплавляется максимально. Из-за большого количества материала основы, попавшего в валики бронзы, средняя микротвердость последних достаточно высока. При дистанции 12 мм, когда фокус лазерного луча находится на поверхности основы, порошок прогрет удовлетворительно, а основа достаточно качественно оплавлена. Из-за меньшего, чем в предыдущем случае, попадания материала основы в валики из бронзы и достаточно крупнозернистой структуры, микротвердость валиков из бронзы ПГ-19М-01 снижается. При дистанции наплавки 14 мм, когда фокус лазерного луча находится над поверхностью основы, порошок прогревается хуже, а основа проплавляется плохо. Материал основы попадает в валики бронзы в минимальном количестве, а материал валиков недостаточно сплавляется по границам зерен, что приводит к сравнительно низкой микротвердости последнего.

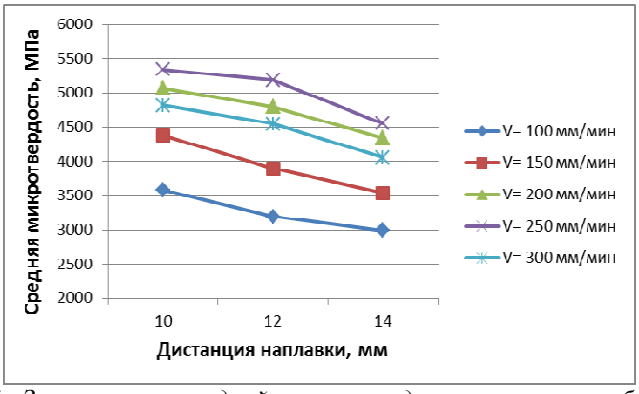


Рис. 7 - Зависимость средней микротвердости в валиках из бронзы ПГ-19М-01 от дистанции наплавки

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- Валики, полученные лазерной наплавкой алюминиевой бронзы ПГ-19М-01, отличаются равномерным распределением микротвердости по глубине валика. Максимальная величина средней для всех использовавшихся режимов микротвердости составляет 5300 Мпа, а минимальная – 3000 Мпа.

- Величина переходной зоны между покрытием и подложкой для валиков из бронзы ПГ-19М-01 зависит от скорости наплавки. При малой скорости наплавки переходная зона достаточно большая. С увеличением скорости наплавки переходная зона уменьшается. Тем не менее, при всех скоростях наплавки сохраняется металлургическая связь материала валиков с подложкой.

- Зависимости средней микротвердости материала валиков от скорости наплавки показывают, что максимальная микротвердость достигается при скорости наплавки 250 мм/мин. При больших и меньших скоростях наплавки микротвердость материала валиков уменьшается.

- Приемлемой дистанцией наплавки, с точки зрения наивысшей микротвердости следует считать дистанцию наплавки 10 мм.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при нанесении мультимодальных покрытий из разнородных материалов методом лазерной наплавки.

Список литературы

1. Ratajski, J. Mechanical properties of antiwear Cr/CrN multimodule coatings/ J. Ratajski , A. Gilewicz, P. Bartosik, L. Szparaga// Archives of Materials Science and Engineering. – 2015. – V. 75. - I. 2. – P. 35-45.
2. Gilewicz, A. The properties of multi-module and gradient coatings base on CrN/CrCN deposited on nitride 4140 steel/ A.Gilewicz, R. Olik, L. Szpraga, J. Ratajski// Problemy Eksploatacji – Maintenance Problems. – 2014. – I. 3. – P. 27-43.
3. Vilar, R. Laser cladding/ R. Vilar// Journal of laser applications. – 1999. – V. 11. – I. 2. - P. 64-79.
4. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок/ Под ред. В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С.664.
5. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально-градиентных мезоструктур и объемных изделий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, - С. 424..

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Н.А. Сапрыкина, к.т.н. доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, 652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61
e-mail: saprikina@tpu.ru

Аннотация:Метод селективного лазерного плавления (SLS) позволяет послойно получать изделия любой сложности из металлических порошковых материалов на основе 3D CAD- модели с хорошими механическими свойствами. Номенклатура применяемых порошковых материалов и область применения постоянно увеличивается. Несмотря на преимущества технологии селективного лазерного плавления создание качественных деталей является сложным процессом. Внедрение нового материала сопровождается большим количеством исследований по определению условий селективного лазерного плавления. Фактором, сдерживающим применение различных металлов и сплавов, является наличие дефектов в получаемом изделии. В данной статье рассмотрен механизм образования разбрызгивания с точки зрения внешнего вида и композиций при плавлении медного и кобальт-хром-молибденового порошкового материалов, изучено влияние мощности лазерного излучения на диаметр коагулированных частиц при плавлении кобальт-хром-молибденового порошка. Показано, что с увеличением мощности до 60 Вт, при скорости сканирования 360 мм/мин размер коагулированных частиц увеличивается до 350 мкм. Понимание процесса образования брызг полезно для производства высококачественных изделий методом SLS.

The method of selective laser melting (SLS) allows to obtain products of any complexity from metal powder materials on the basis of 3D CAD - model with good mechanical properties. The range of powder materials used and the scope of application is constantly increasing. Despite the advantages of selective laser melting technology, creating high-quality parts is a complex process. The introduction of the new material is accompanied by a large number of studies to determine the conditions of selective laser melting. A factor hindering the use of various metals and alloys is the presence of defects in the resulting product. This article describes the mechanism of formation of spraying in terms of appearance and compositions in the melting of copper and cobalt-chromium-molybdenum powder materials, studied the effect of laser radiation power on the diameter of coagulated particles in the melting of cobalt-chromium-molybdenum powder. It is shown that the coagulated particle size increases to 350 microns with the scanning speed of 360 mm/min with the power increase to 60 W. Understanding the spray formation process is useful for producing high quality products using the SLS method.

Аддитивные технологии являются самыми быстро развивающимися передовыми технологиями в мире. Инновационным является метод селективного лазерного плавления физической копии различных объектов из металлических порошковых материалов на основе 3D CAD-модели. Объемное изделие образовывается путем послойного плавления порошкового материала лучом лазера в соответствии с контуром каждого сечения. Учеными проводятся работы по повышению качества

формируемого изделия и внедрения новых порошковых материалов и их композиций, можно выделить порядка 130 параметров, влияющих на конечный результат. Получение поверхности хорошего качества является главным вопросом для предотвращения расслаивания, остаточных напряжений, преждевременного разрушения.

Исследования в области SLM в основном сосредоточены на различных материалах и свойствах [1, 2, 3], физических явлениях [4], и образование дефектов во время плавления порошка [5]. Немногие исследовательские работы сосредоточены на разбрызгивании, которое зависит от большого количества факторов, возникающих в процессе изготовления SLM. Технология включает в себя сложные процессы плавления и застывания материала, динамику, теплопередачу и т.д. Поэтому возникает сложность в определении механизма разбрызгивания. В [6] были выделены два типа разбрызгивания: разбрызгивание капель, возникающее при разрыве расплавленного металла и разбрызгивание порошка, возникающее в результате удара металлических паров. Было исследовано влияние энергии на поведение брызг при плавлении порошка нержавеющей стали 316L. Результаты показывают, что энергетический вклад влияет на размер, состояние рассеяния и высоту струи брызг. После выполнения микроструктурного анализа и испытания на прочность было обнаружено, что разбрызгивание сильно ухудшает качество деталей, изготовленной методом SLM.

При селективном лазерном плавлении поверхность образуется плавлением металлического порошкового материала под действием интенсивного лазерного воздействия. Проблемами изготовления методом SLS является быстрое застывание металла после плавления, сложный процесс теплопроводности, поверхностное натяжение и вязкость материала сопровождается нестабильным поведением расплавленного металла в процессе формирования поверхности. Это влияет на стабильность процесса изготовления и качество изготовленных изделий [7].. Выделено несколько типов формирования расплавленного материала (рис. 1):

1. Укладывается в расплавленные треки вдоль перемещения луча лазера,
2. Создаются коагулированные частицы,
3. Формируется в частички неопределенной формы в процессе застывания.

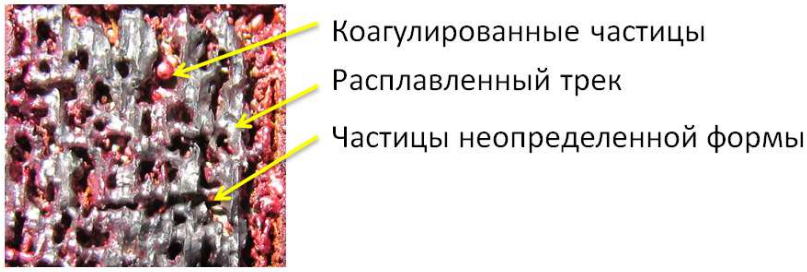


Рис. 1. Расплавленный слой порошка меди

Вытеснение расплава при лазерном воздействии происходит, в основном под действием давления отдачи, вызванного активным испарением и эффектом Марангони. Оба этих эффекта возникают из-за неоднородного распределения энергии в расплавляемой поверхности. Вытеснение расплава давлением обусловлено пространственным изменением напряжения под действием возникающего давления внутри лазерного пятна. В процессе вытеснения образуются капли расплава, которые при затвердевании принимают неопределенную форму размером гораздо больше, чем первоначальный размер порошка. Застывшие капли, попадая на плавящуюся поверхность, влияют на конечные свойства, включая плотность, микроструктуру, механические свойства и на неравномерность нанесения следующего слоя порошка. Только некоторые капли размером больше заданной толщины слоя способны расплавиться при формировании следующего слоя лазерным сканированием.

Под действием поверхностного натяжения жидкий металл стремится уменьшить свободную поверхностную энергию путем образования коагулированных частиц сферической формы. При сильных конвективных потоках расплавленный трек распадается на отдельные капли. Капля расплава затягивает в себя близлежащие частицы порошка, что приводит к образованию впадины вокруг капли и увеличению пористости.

Формирование качественных расплавленных треков и снижение каплеобразования связана с поиском оптимальных режимов плавления. Проведен эксперимент по влиянию режимов плавления на размер коагулированных частиц из кобальт-хром-молибденового порошка. Размер исходного порошка лежит в диапазоне 60 – 100 мкм. В процессе эксперимента лазерный луч перемещался вдоль свободно насыпанной порошковой смесь толщиной около 10 мм, со скоростями 360 мм/мин, 900 мм/мин и 1500 мм/мин. Эксперимент проведен с разным диаметром фокусировки пятна лазера 0,15 мм; 0,37 мм; 0,75 мм. Мощность лазерного излучения варьировалась от 10 до 70 Вт. Для предотвращения окислительных процессов при нагреве была предусмотрена подача аргона. При спекании порошкового материала на воздухе коагулированные частицы окрашивались в зеленый цвет, что показывало на появление оксида хрома. На рисунке 2 показано влияние режимов плавления на внешний вид коагулированных частиц кобальт-хром-молибденового порошка. Плавление кобальт-хром-молибденового порошка характеризуется ярко выраженным процессом образования коагулированных частиц.

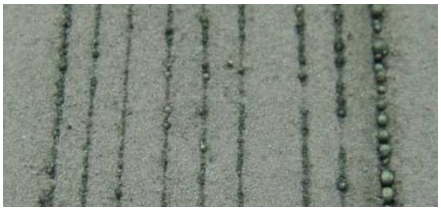


Рис. 2. Фотография спеченных треков на разных режимах (х2)

По результатам эксперимента определен диаметр коагулированных частиц при изменении мощности и скорости перемещения лазера, рисунок 3. Графические зависимости показывают, что увеличение мощности и снижение скорости перемещения лазера приводит к росту диаметра коагулированных частиц.

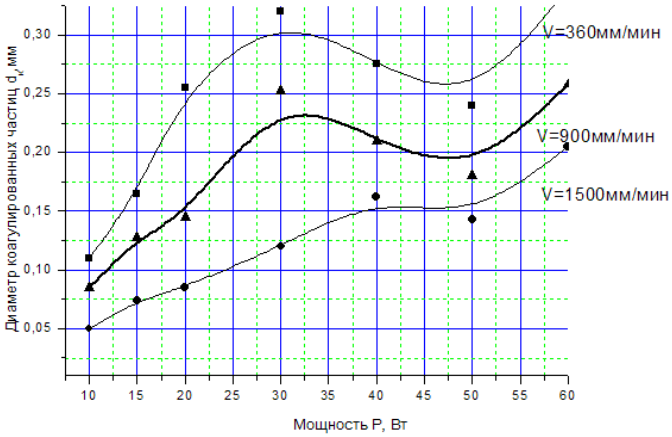


Рис. 3. Влияние мощности P и скорости перемещения луча лазера V на диаметр коагулированных частиц при t=26 °C, диаметре пятна лазера d=0,37 мм

Таким образом, рассмотрено формирование разного типа расплавленного материала при селективном лазерном плавлении. Экспериментально обнаружено явление коагуляции при спекании порошковой кобальтхроммолибденовой композиции, которой можно управлять, изменяя параметры режимов спекания. Уменьшению диаметра коагулированных частиц способствует спекание в защитной среде аргона, подогрев порошкового материала, увеличение диаметра фокусировки пятна лазера, изменение скорости перемещения и мощности лазера. В отличие от рассмотренного порошкового материала плавление медного порошка характеризуется формированием более ровной поверхности.

Список литературы

1. A. Takaichi, T. Nakamoto, N. Joko, et al., Microstructures and mechanical properties of Co–29Cr–6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications[J], J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 21 (2013) 67–76.

2. B. Song, S. Dong, B. Zhang, et al., Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V[J], Mater. Des. 35 (2012) 120–125.
3. D. Dai, D. Gu, Thermal behavior and densification mechanism during selective laser melting of copper-matrix composites: simulation and experiments[J], Mater. Des. 55 (2014) 482–491.
4. A. Simchi, Direct laser sintering of metal powders: mechanism, kinetics and microstructural features[J], Mater. Sci. Eng. A 428 (1) (2006) 148–158.
5. S. Leuders,M. Thöne, A. Riemer, et al., On themechanical behaviour of titaniumalloy TiAl6V4 manufactured by selective laser melting: fatigue resistance and crack growth performance[J], Int. J. Fatigue 48 (2013) 300–307.
6. Y. Liu, Y. Yang, S.Mai, et al., Investigation into spatter behavior during selective laser melting of AISI 316 L stainless steel powder[J], Mater. Des. 87 (2015) 797–806.
7. S.A. Khairallah, A.T. Anderson, A. Rubenchik, et al., Laser powder-bed fusion additive manufacturing: physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones [J], Acta Mater. 108 (2016) 36–45.

ОБРАБОТКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ФРЕЗАМИ С ВОЛНООБРАЗНЫМИ ЛЕЗВИЯМИ

Г.И.Коровин[1], С. И. Петрушин[2], д.т.н., проф ,Р.Х. Губайдулина[2], к.т.н., доц.
[1]Промышленная компания МИОН,
634034, г. Томск, ул. Вершинина 46/6, Тел: (3822) 99-65-01; 21-30-37
[2]Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская , 26, тел. (8384-51)7-77-61
E-mail: korovin9@yandex.ru, victory_28@mail.ru.

В работе показано, что обработка титановых сплавов представляет собой наиболее сложную задачу в обработке металлов резанием. Ведущие фирмы мира занимаются этой проблемой, так как титановые сплавы являются основой авиакосмической промышленности. В работе исследованы быстрорежущие фрезы для обработки титановых сплавов, имеющие волнообразную режущую кромку на зубе. Следующий зуб фрезы сдвинут на полшага. Это приводит к уменьшению силовой нагрузки наклепа обработанной поверхности. Предложена аналитическая методика анализа подобных фрез. Установлено на основе проведения силовых и стойкостных исследований волновых фрез их преимущество по сравнению со стандартными, а, именно, они имеют меньшую удельную силовую нагрузку, большую стойкость и меньший наклеп поверхностного слоя.

Титановые сплавы, наряду с высокой прочностью и низким удельным весом, обладают значительно пониженной обрабатываемостью резанием [1]. Основная причина низкой обрабатываемости связана с упрочнением (наклёпом) поверхностного слоя в процессе резания [2], когда лезвие инструмента срезает стружку не с основного металла, а с уже упрочнённой предыдущими лезвиями поверхности. Особенно это актуально для зубьев фрез, которые начинают резать с нулевой толщины срезаемого слоя [3].

В настоящее время содержание титановых сплавов в конструкциях современной авиации составляет около 15% [4]. При этом большая часть изделий обладает сложной пространственной формой, имеет множество карманов и тонких стенок, например, стойки шасси самолетов. В результате при обработке резанием в стружку может уходить до 90% обрабатываемого металла, а операции чернового и чистового фрезерования занимают 60-80 % от всей трудоемкости механической обработки. Коэффициент относительной обрабатываемости по отношению к стали 45 в зависимости от марки титанового сплава составляет 0,2 – 0,45. Поэтому, совершенствование режущего инструмента для обработки титановых сплавов представляет собой актуальную задачу.

Наиболее крупными производителями, специализирующихся на производстве фрез для обработки титановых сплавов, являются следующие компании: Minicut International Inc. (Канада), Hanita metal works (Израиль), Melin Tool Company (США), Dauphin Precision Tool (США), ООО «ПК МИОН» (Россия) и др. Так фрезы LIST M фирмы Minicut, предназначенные для черновой обработки титановых сплавов и других труднообрабатываемых материалов, имеют заднюю поверхность с выкружками, чередующимися в шахматном порядке от зуба к зубу, что обеспечивает деление срезаемо-

го слоя и эффективное дробление стружки, а также способствует повышению производительности [5]. Зубья фрез серии Crest-Kut типа KPSC и KPAC фирмы Weldon (США), предназначенных для черновой и чистовой обработки авиационных материалов, выполнены таким образом, что развертка режущей кромки является синусоидой, которая способствует удалению стружки из зоны резания и повышению качества обработанной поверхности [6]. Аналогичную конструкцию имеют фрезы серии Aero-Cut типа CCAC4 и CCAC6 фирмы Melin [7]. Фрезы серии WavCut фирмы Hanita (Израиль) предназначены для обработки титановых сплавов и нержавеющих сталей, в том числе при большой ширине фрезерования, имеют переменный угол наклона стружечных канавок, за счет чего обеспечивается повышение производительности и улучшается отвод стружки из зоны резания [8]. В основном эти фрезы выполняются из быстрорежущих сталей и цельными. Существуют конструкции концевых фрез с механическим креплением многогранных пластин, но они сложны в изготовлении и вследствие больших диаметров являются не универсальными в применении.

Концевые фрезы, выпускаемые ООО «ПК МИОН» для обработки титановых сплавов, имеют волнообразную режущую кромку и переменный угол наклона стружечных канавок (рис. 1).

Данная фреза имеет следующие конструктивные особенности:

1. Режущая кромка каждого зуба находится на цилиндрической образующей фрезы, что позволяет применять ее для чистового фрезерования.
2. В отличие от известных конструкций волна каждого последующего зуба сдвинута вдоль оси по отношению к предыдущей волне на определенную величину.
3. За счет специальной заточки передний угол на зубе имеет примерно постоянную величину

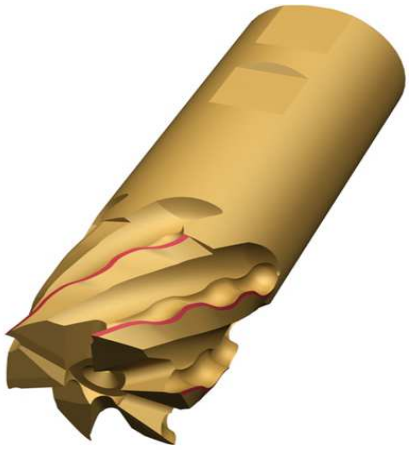


Рис.1. Внешний вид волнообразной фрезы ООО «ПК МИОН».

Сдвиг волн зубьев позволяет изменить схему срезания припуска под обработку. Каждый участок последующего зуба срезает стружку в другом направлении по сравнению с предыдущим и лезвие идет в менее наклепанном направлении, что приводит к снижению удельной нагрузки на единицу длины режущей кромки. Такое уменьшение нагрузки должно приводить к уменьшению наклепа обработанной поверхности титанового сплава и к повышению стойкости фрезы.

Подобное «разноугольное» резание наибольший положительный эффект будет иметь при величине сдвига, равном половине волны, когда каждые два смежных зуба имеют максимально разный угол наклона режущей кромки.

Результаты исследований

Отличие концевой фрезы с волнообразными режущими кромками от стандартной состоит в том, что на цилиндрической части углы режущего клина в каждой точке кромки имеют различные значения в связи с переменностью угла наклона лезвия λ.

Рассмотрим задачу расчета главного заднего угла лезвия в произвольной точке А. Исходными данными для этого анализа являются (рис.2.):

Угол наклона волны – ω; угол наклона волнообразной кромки в точке А - $\lambda_в^A$; главный передний угол в нормальном сечении фрезы- γ_N; задний угол в осевом сечении фрезы - α_0

Необходимо определить:

Угол наклона режущей кромки в точке А в статической системе координат(1) – λ_c^A; главный задний угол в точке А в статической системе координат- α_N^A.

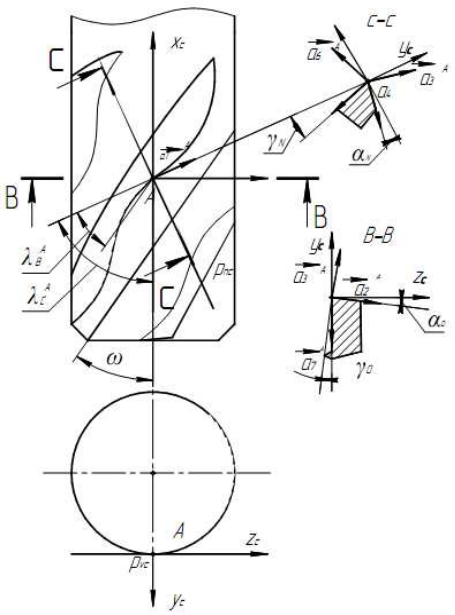


Рис.2. Схема к волновой анализу геометрии фрезы.

На рис.2 показана режущая часть концевой фрезы с волнообразными кромками. Статическая система координат в точке А x_c y_c z_c согласно определения [9] задана таким образом, что ось x направлена вдоль оси фрезы, ось y - по радиусу фрезы, а ось z – касательно к окружности. Эти оси образуют правую систему координат. Через точку А проведена также статическая основная плоскость P_{vc}, перпендикулярная к вектору скорости резания, статическая плоскость резания $P_{\tau c}$, касательная к режущей кромке и статическая главная секущая плоскость P_{nc}, перпендикулярная к P_{vc} и $P_{\tau c}$

Из искомых геометрических параметров угол наклона режущей кромки в точке А определится суммой:

$$\lambda_c^A = \omega \pm \lambda_b^A \qquad (1)$$

В построенных координатах единичный направляющий вектор режущей кромки в точке А будет равен:

$$\overline{a}_1^A = \cos\lambda_c^A \cdot \overline{i}_c + \sin\lambda_c^A \cdot \overline{k}_c \qquad (2)$$

Единичный направляющий вектор касательный к задней поверхности фрезы в сечении В-В имеет следующий вид (см. рис.1):

$$\overline{a}_2^A = -\sin\alpha_0 \cdot \overline{j}_c + \cos\alpha_0 \overline{k}_c \qquad (3)$$

Тогда нормаль к задней поверхности $\vec{a}_3^A$ определится векторным произведением:

$$\overline{a}_3^A = \overline{a}_2^A \times \overline{a}_1^A = \begin{pmatrix} i_c & \overline{j}_c & \overline{k}_c \\ 0 & -\sin\alpha_0 & \cos\alpha_0 \\ \cos\lambda_c^A & 0 & \sin\lambda_c^A \end{pmatrix} =$$
$$= (-\sin\alpha_0 \cdot \sin\lambda_c^A \cdot \overline{i}_c + \cos\alpha_0 \cdot \cos\lambda_c^A \cdot \overline{j}_c + \qquad (4)$$
$$+\sin\alpha_0 \cdot \cos\lambda_c^A \cdot \overline{k}_c) \times \sqrt{1 - \cos^2\alpha_0 \cdot \sin^2\lambda_c^A}$$

При λ_c^{Φ} = 0 (касательная к режущей кромке в точке А параллельна оси фрезы) выражение (4) примет вид:

$$\vec{a}_3^A = \cos\alpha_0 \cdot \vec{j}_c + \sin\alpha_0 \cdot \vec{k}_c \qquad (5)$$

Из выражения (4) следует, что искомый главный задний угол в точке А будет равен:

$$\cos\alpha_N^A = \cos\alpha_0 \cdot \cos\lambda_c^N \cdot \sqrt{1 - \cos^2\alpha_0 \cdot \sin^2\lambda_c^A} \qquad (6)$$

Расчеты по формуле (6) показывают, что с увеличением угла кромки задний угол уменьшается, что может привести к резкому износу задней поверхности. Эти данные можно использовать при конструировании волновых фрез.

Для проведения экспериментов [10] были изготовлены концевые фрезы диаметром Ø20мм по ГОСТ 23248-78 и фрезы с волнообразной режущей кромкой из быстрорежущей стали марки Р6М5К5. При этом для фрез с волнообразными лезвиями была разработана специальная технология заточки, обеспечивающая расположение зубьев по цилиндру.

На рисунке 3 приведены силовые зависимости при обработке титанового сплава ОТ4 на обрабатывающем центре DMU-50 с постоянными параметрами режима резания: скорость резания V= 100 м/мин; подача на зуб Sz=0,08 мм/зуб; ширина фрезерования B=24 мм.

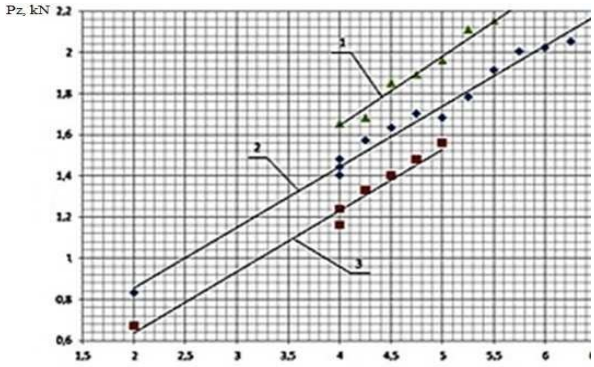


Рис.3. Зависимость составляющей силы резания (Pz) от глубины фрезерования (t)

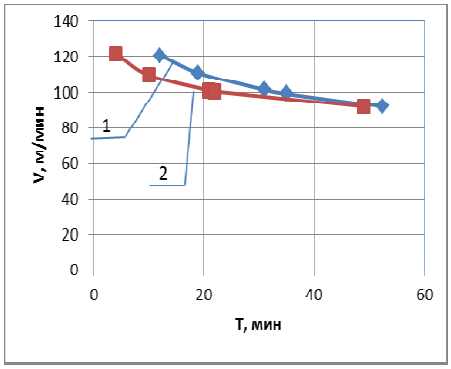


Рис.4. Стойкостные зависимости: 1- волновая фреза; 2 – фреза с γ=15°

Испытывались три концевые фрезы: 1- фреза с числом зубьев z=4 и передним углом γ=15°; 2- волновая фреза с z=4 и γ=15° и 3- фреза с z=3 по ГОСТ 23248-78. Эксперименты по определению силы резания (см. рис. 3) производились с помощью динамометра Kistler-9257BA. При этом в зависимости от времени резания брались максимальные значения касательной составляющей силы P_Z [11.12].

Из рисунка 3 следует, что волновая фреза дает меньшую силу резания, чем фреза (1), но большую на 15%, чем фреза (3). В то же время эти фрезы имеют различные длины одновременно режущих кромок. Если перейти к удельным показателям, то величина составляющей силы резания P_Z, приходящаяся на 1мм длины режущей кромки у фрезы по ГОСТ (3) выше, чем у волновой фрезы (2) на 17%, а у фрезы с увеличенным передним углом γ =+15° (1) больше на 16%, чем у волновой фрезы. Таким образом, волновая фреза оказывает наименьшее силовое воздействие на срезаемый слой.

Сравнительные стойкостные испытания (рис.4) проводились при фрезеровании со смазочно-охлаждающей жидкостью заготовок концевыми фрезами из быстрорежущей стали Р6М5К5 с износостойким покрытием на основе ZrN, конструкции фирмы МИОН Т710 и концевая фреза ТК562W20 с износостойким покрытием на основе ZrN. В данном эксперименте использовали схему попутного фрезерования со следующими параметрами: глубина резания t = 3мм; ширина фрезерования B=24 мм; подача на зуб S_z=0,08 мм/зуб. Установлено, что стойкость волновых фрез выше во всем диапазоне скоростей резания. По результатам этих испытаний выведены следующие эмпирические уравнения (7) и (8) для волновой фрезы и для фрезы с γ =+15°:

$$V_1 = \frac{141.7}{T^{0.111}} \text{ - фреза ТК562} \quad (7)$$

$$V_2 = \frac{190.8}{T^{0.184}} \text{ - волновая Т710} \quad (8)$$

При подаче на зуб $S_z \leq$ 0,08мм стружка становится легче водной охлаждающей жидкости и всплывает, при этом затягивается в зону резания. При подаче на зуб $S_z \geq$ 0,16мм при износе фрезы по задней грани $f_{изн.}$ >0,15мм стружколомание по ширине прекращалось. При подаче на зуб S_z=0,1-0,12мм наблюдалось эффективное стружколомание по ширине на всем протяжении работы фрезы (12,5часов) до фаски износа по задней грани 0,4мм, что отражено в акте испытаний на Верхне-Салдинском Металлургическом Производственном Объединении. Данная операция фрезерования проводилась для изготовления стойки шасси для самолёта «Boeing-787».

Волнообразные фрезы со сдвинутыми вдоль оси зубьями реализуют схему срезания стружки, при которой каждый участок данного лезвия снимает стружку в направлении, отличающемся от направления на предыдущем лезвии, что меняет все показатели процесса.

Экспериментально показано, что фрезы с волновыми зубьями по сравнению со стандартными фрезами для обработки титановых сплавов дают меньшую удельную силовую нагрузку, большую стойкость и меньший наклеп поверхностного слоя.

Волновые фрезы способствуют эффективному ломанию стружки по ширине срезаемого слоя, что значительно облегчает ее дальнейшую переработку.

Список литературы

1. Кривоухов В. А. Обработка резанием титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 180 с.
2. Петруха П. Г. Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
3. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985. - 304 с.
4. Emmanel O/ Ezugwu, Rosenmar Batista Da Silva, Wisley Falco Sales. Overview of the Machining of Titanium Alloys. Encyclapedia of Sustainable Technologies. 2017. Pp.487-506
5. Каталог режущего инструмента URL:http:// www. minicut.com/wp-content/uploads/catalogues/ catch_the_wave_titanium.pdf.
6. Каталог режущего инструмента
7. URL: https:// www. heritagecutter.com/BrubakerWeldon/PublicStore/catalog/M42-Multi-Flute-CC,228.aspx.
8. Каталог режущего инструмента URL:http://www.endmill.com/pages/software.html.
9. Каталог режущего инструмента URL:https://www.widia.com/content/dam/kennametal/widia /common/resources/do wnloads/literature/WIDIA%20Catalogs/Hanita-Rubig_A-09-02077EN_mm.pdf.
10. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Схема образования стружки при несвободном резании // Станки и инструменты. №2, 2018. С.35-40.
11. Коровин Г.И., Филиппов А.В., Проскоков А.В., Горбатенко В.В. Влияние геометрических параметров режущего лезвия на формирование области пластической деформации при резании титанового сплава ОТ-4.// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроения.- 2016.-№17. с.56-64.
12. Cotterel l M., Byrne G. Characterisation of chip formation during orthogonal cutting of titanium alloy Ti–6Al–4V. CIRP. Journal Manufacturing. Science. Technology, 1 (2008), pp. 81–85.
13. Abdulhakim Ali Sultan, A. Chukwujekwu Okafor. Effects of geometric parameters of wavy-edge bull-nose helic on cutting force prediction in end-milling of Inconel end-mill under MQL cooling strategy718. Journal of Manufacturing Processes 23 (2016) 102-114

ОСОБЕННОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

И.С. Ардашева[1], студент, П.О. Куминов[1], студент, И.М. Гончаренко[1,2], к.т.н., доц.
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-70-16-19
[2]Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр.-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-13-00
E-mail: inkar_love.ms.22@mail.ru, pavelkuminov@mail.ru

Представлены результаты исследования зависимости адгезии и твердости нанокристаллических нитридных покрытий Ti-Al-N, нанесенных на различные подложки, от величины и времени импульсного отрицательного смещения, подаваемого на обрабатываемые образцы. Проведено сопоставление регистрируемых параметров с эволюцией структуры и химического состава поверхностного слоя.

При разработке технологических процессов ионно-плазменных методов нанесения покрытий с требуемыми структурой и свойствами, необходимо учитывать влияние условий осаждения на такие основные механические характеристики материала, как твердость, модуль Юнга и адгезию системы покрытие/подложка.

Например, покрытия системы Ti-Al-N отличаются высокой стабильностью к окислению, как при обычных, так и при повышенных температурах [1, 2]. Однако, обеспечение хорошей адгезии [3] данного типа покрытия к материалам, из которых выполнены конкретные детали зависит от большого числа факторов. Как правило, материалы защитного покрытия и формообразующего субстрата различаются по структуре, кристаллохимическим, физико-механическим и теплофизическим свойствам. Вследствие чего, основной причиной снижения прочности на границе раздела и разрушения покрытий

является рост внутренних остаточных напряжений. Количественно величина этих напряжений зависит от упругопластических свойств материалов конденсата и субстрата[4]. Управляя параметрами процесса при нанесении функциональных пленок, и тем самым, изменяя химическое взаимодействие, скорость роста, термические условия на поверхности конденсации разных материалов, можно попытаться прийти к результату, когда нанокомпозитные покрытия с одинаковой твердостью могут различаться по величине модуля упругости (E), по стойкости к упругой деформации разрушения (H/E) и сопротивлению пластической деформации (H3/E2) [5-6]. По этим параметрам можно контролировать механическое поведение пленки и оценивать связь между растрескиванием и вязкостью.

Основная идея настоящей работы заключалась в экспериментальном изучении комплекса физико-механических характеристик функциональной поверхности, полученной в результате напыления пленки TiAlN по разным режимам на подложки из материалов, сильно отличающихся по составу и механическим свойствам (аустенитная сталь 12Х18Н10 и твердый сплав ВК-8). Покрытия Ti-Al-N толщиной 2 мкм были получены методом вакуумно-дугового распыления порошкового спеченного катода Ti-Al в газоразрядной плазме азота. Ток дугового разряда испарителя металла составлял 50 А, ток дугового газового разряда был в пределах 5-10 А., давление газа в камере – 0,266 Па. Изучали влияние материала субстрата и потенциала отрицательного смещения, подаваемого на образцы при нанесении пленки, в диапазоне 0-300 В на изменение значений твердости и адгезии нанокристаллических покрытий.

Определение твердости (***H***) и модуля упругости (***E***) пленок измерялись динамическим методом Оливера-Фарра на приборе NHT-S-AX-000X (CSEM Instruments) с помощью четырехгранной пирамиды Виккерса при нагрузке 50 mN. Толщину покрытий определяли с помощью прибора Calotest фирмы CSEM Instruments, а адгезию – скретч-тестером Micro-Scratch Tester MST-S-AX-000. На основе этих измерений был проведен анализ зависимости адгезии от механических характеристик поверхности и, соответственно, от условий формирования покрытия.

Все пленки TiAlN имели одинаковую толщину h~2 мкм. Зависимость механических свойств нанокомпозитного покрытия TiAlN от величины отрицательного смещения, характеризующую энергию ионов, бомбардирующих поверхность в процессе конденсации пленки на подложках выполненных из двух различающихся по свойствам материалов, представлена на рис.1. Видно, что пленки, полученные при одинаковых условиях, но на разные материалы поверхности их формирования, имеют отличия по твердости и модулю упругости. Кроме того, мы видим, что с ростом энергии ионов соотношения данных величин изменяются неодинаково. Для подложки, выполненной из стали, существует некоторое строгое соотношение между H и E, а именно H почти линейно возрастает с увеличением E (рис.1б) при росте напряжения смещения. Напротив, для подложки из твердого сплава с изменением величины смещения поведение указанных параметров носит немонотонный характер (рис.1а).

Экспериментальные значения H и E позволили нам рассчитать соотношения (H/E) и (H^3/E^2) (таблица 1). Видно, что эти механические характеристики зависят как от материала подложки, так и от параметров физического осаждения.

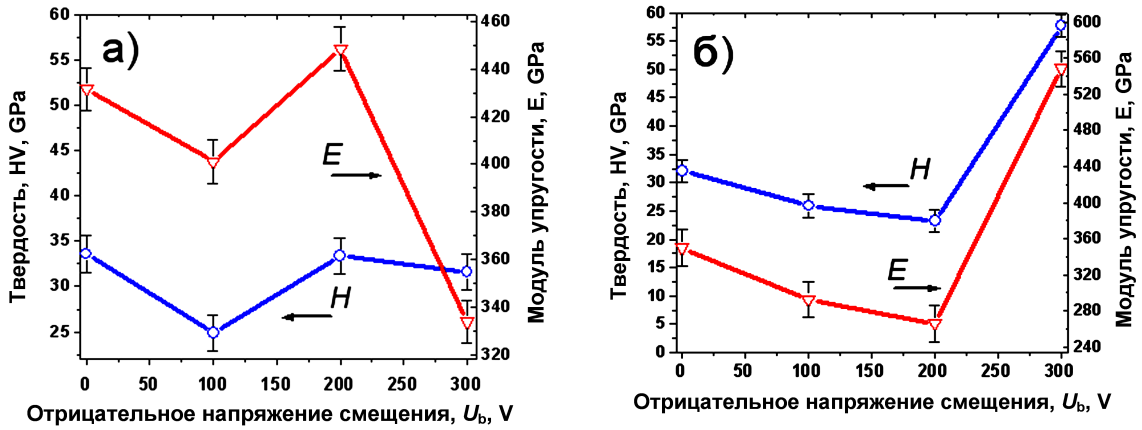


Рис.1. Экспериментальные значения твердости и модуля Юнга, как функции от величины отрицательного смещения, подаваемого на обрабатываемые образцы в процессе конденсации пленки TiAlN. (а) – для образца из твердого сплава ВК8 с покрытием (TiAl)N; (б) – для стального образца с покрытием (TiAl)N.

Таблица 1.

Сравнение механических характеристик нанокомпозитных пленок TiAlN одинаковой толщины h~2 мкм, полученных в настоящей работе.

Смещение, U, В	*H*, GPa		W_e, %		*H/E*, GPa		H^3/E^2, GPa	
	ВК8	Сталь	ВК8	Сталь	ВК8	Сталь	ВК8	Сталь
0	33,6	32,1	58,8	60,4	0,0787	0,0866	0,204	0,234
100	24,9	25,9	51,4	60,9	0,0655	0,0886	0,117	0,204
200	33,4	23,2	61,0	63,0	0,0743	0,0873	0,191	0,187
300	31,6	57,8	64,2	78,9	0,0869	0,1052	0,247	0,659

Материалом с наиболее высокими отношениями H/E и H^3/E^2 является пленка, полученная на стальной подложке при U_b = -300 В. Эта же пленка обладает максимальным значением упругости W_e.

Результаты обработки сигналов акустической эмиссии «скретч-теста» для образцов с покрытиями TiAlN, полученными при напряжении смещения $\boldsymbol{U_b}$= –300 V показали следующее. Разрушение покрытия, нанесенного на поверхность стали, начинается при критической нагрузке L_C = 1,8 Н, а поверхности сплава ВК8 – L_C = 6,5 Н. Повышенная хрупкость и низкая стойкость покрытия на стальном образце обусловлена большим значением модуля E, чем на твердом сплаве.

Таким образом, установлено, что осажденные методом электродугового распыления наноструктурные пленки TiAlN обладают различным отношением между твердостью и модулем упругости в зависимости от материала подложки и энергии ионов, бомбардирующих поверхность. Для прогнозирования склонности материала покрытия к отслоению при локализованной деформации следует определять показатель стойкости его к пластической деформации, который рассчитывается из данных, полученных в результате наноиндентирования. Снижение стойкости сцепления покрытия с подложкой следует ожидать в случае высоких значений параметра H^3/E^2. Ориентируясь на данную закономерность и управляя параметрами процесса осаждения, можно получать сверхтвердые нанокристаллические покрытия с различным сочетанием упругих и пластических характеристик, обеспечивающих их применение в конкретных практических задачах.

Список литературы

1. Y. Yin, L. Hang, S. Zhang, X.L. Bui. Thermal oxidation properties of titanium nitride and titanium–aluminum nitride materials — A perspective for high temperature air-stable solar selective absorber applications. Thin Solid Films 515 (2007), pp. 2829–2832
2. J.H. Hsieh, A.L.K. Tan, X.T. ZengOxidation and wear behaviors of Ti-based thin films. Surface & Coatings Technology 201 (2006), pp. 4094–4098.
3. Тарбоков В.А., Ремнев Г.Е. Увеличение адгезии TiN покрытия на твердосплавном инструменте, предварительно обработанном мощным ионным пучком. // ФХОМ, 2003, № 6, с. 40-43.
4. Mayrhofer H., Mitterer C. et al. Microstructural design of hard coatings // Prog. Mater. Sci. 51 (2006) 1032-1114.
5. Ribeirj E., Malczyk A., Carvalho S.A. et al. Effects of ion bombardment on properties of d.c. sputtered superhard (Ti, Si, Al)N nanocomposite coatings. // Surf. Coat. Technol. 151/152 (2002) 515-520.
6. Штанский Д.В., Кулинич С.А., Левашов Е.А., Moore J.J. Особенности структуры и физико-механических свойств наноструктурных тонких пленок. // Физика твердого тела, 2003, Том 45, вып 6, с. 1122-1129.

ОЦЕНКА 2D ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ И ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ СПЛАВА АМГ2 С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.[1], н.с.[2], Н.Н. Шамарин, асс.[1], О.А. Подгорных, зав. лаб.[1]
[1]Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81
E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается влияние обработки резанием на параметры шероховатости и волнистости поверхности алюминиевого сплава АМг2 с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой. Установлено влияние фильтров профиля на количественные показатели параметров профиля шероховатости и волнистости. Показано, что при обработке материалов с ультрамелкозернистой структурой повышается качество поверхности изделия, по сравнению с обработкой материалов с крупнокристаллической структурой.

Материалы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой обладают повышенными механическими характеристиками [1], что делает их промышленное применение весьма перспективным для производства современных высококачественных изделий. Однако, высокая прочность или твердость также, как и прочие механические свойства не являются абсолютным залогом успешного применения УМЗ материалов в промышленности, поскольку для производства изделий важно обеспечить еще и высокое качество обработки.

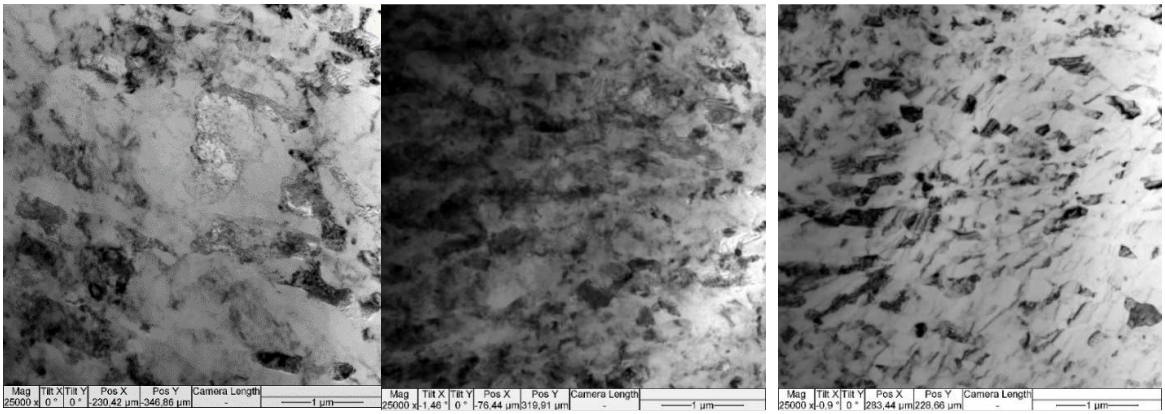
Формообразование изделия при механической обработке резанием характеризуется высокой интенсивностью деформационных [2-4] и фрикционных [4] процессов, которые оказывают определяющее воздействие на формирование поверхностных слоев изделия. Интенсивная деформация при трении и резании выражается в изменении микрогеометрии поверхности материалов и может служить эффективным индикатором структурных изменений в материале [5-8].

Воздействие деформационных процессов при резании УМЗ материалов на формирование микрогеометрии обработанной поверхности в настоящее время изучено недостаточно. Для алюминиевых сплавов известны только две работы, направленные на исследование обрабатываемости УМЗ материалов при точении. Первая работа выполнена для сплава 7075 (Российский аналог В95) [9], в которой преимущественно исследуется влияние условий обработки на силовые зависимости процесса резания и микротвердость приповерхностного слоя материала. В тоже время, данных о качестве обработки не приводится, также нет сравнения полученных данных с обрабатываемость крупнокристаллического (КК) сплава В95. Вторая работа выполнена для сплава 6061 (Российский аналог АД33) [10]. В ней авторы провели достаточно подробное исследование силовых зависимостей процесса точения и качества обработки КК и УМЗ образцов сплава АД33.

По вопросу обрабатываемости резанием при точении алюминиево-магниевых сплавов с УМЗ структурой, содержащих более 1% Mg, литературных данных нет. Сплав АМг2 является распространенным конструкционным материалом, благодаря своим механическим свойствам и коррозионной стойкости.

Целью настоящей работы является исследование шероховатости поверхности изделий с ультрамелкозернистой и крупнокристаллической структурой после токарной обработки сплава АМг2 и оценка влияния фильтров профиля на основные параметры шероховатости и волнистости.

В данной работе осуществлялась обработка цилиндрических заготовок на токарном станке OKUMA ES-L8II-M. Обтачивалась торцевая поверхность заготовок с КК и УМЗ структурой. Частота вращения шпинделя составляла 4000 об /мин, подача – 0,15 мм/об., глубина резания 0,8 мм. Использовался проходной резец со сменной многогранной пластиной фирмы Korloy, маркировка – CCGT 120408-AR. В процессе обработки использовалась водосмешиваемая смазочно-охлаждающая жидкость HOUGHTON DROMUS BX. Обрабатывались заготовки сплава АМг2 с исходной КК структурой и образцы с УМЗ структурой полученные методом равноканального углового прессования (РКУП). РКУП осуществлялся по схеме Вс с углом пересечения каналов 90° при скорости деформирования 6 мм/с. Температура прессования составляла 100°С. В процессе РКУП образцы были деформированы до различной степени деформации – 2, 4 и 8. Структурные исследования для образцов с УМЗ структурой выполнены методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) при помощи микроскопа JEM-2100 (JEOL Ltd, Japan). Оценка шероховатости поверхности после токарной обработки выполнена на лазерном сканирующем микроскопе Olympus OLS LEXT 4100 со специализированным программным обеспечением.



а *б* *в*

Рис. 1. Микроструктура образцов с ультрамелкозернистой структурой после деформации до степени 2 (а), 4 (б), 8 (в)

Результаты просвечивающей электронной микроскопии приведены на Рисунке 1. Размерность зеренно-субзеренной структуры составляет около 500 нм после накопления степени деформации 2 в процессе РКУП. Увеличнеие степени деформации приводит к дальнейшему уменьшениию размерности струкутры материала. После накопления степени деформации 4 размерность зерен составляет менее 300 нм. В тоже время увеличивается плотность дислокаций. После накопления степени деформации 8 размерность зерен составляет порядка 100-200 нм. Часть зерен содержит высокую плотность дислокаций, а часть полностью от них свободна.

После обработки резанием (торцевания) поверхность образцов с исходной КК структурой является сильно шероховатой (см. Рис. 2 а). Наблюдаются отдельные следы адгезионного переноса материала и небольшие микротрещины. Наличие адгезии является распространенным эффектом в следствии природы фрикционного взаимодействия алюминиевых сплавов со стальными и твердосплавными инструментами. Поверхностный рельеф не упорядоченный. После обработки УМЗ материала доведенного до степени деформации 2 (см. рис. 2 б) также наблюдаются следы адгезионного переноса материала, однако их значительно меньше, чем при обработке образца с КК структурой. В тоже время рельеф стал более упорядоченным, а шероховатость существенно уменьшилась. При обработке УМЗ образцов со степенью деформации 4 и 8 (см. Рис. 2 в, г) уменьшается количество следов адгезионного переноса, рельеф становится более упорядоченный, по мере увеличения степени деформации материала.

На основе оценки параметров шероховатости поверхности и влияния фильтров профиля получены зависимости среднего арифметического отклонения профиля шероховатости (Ra) и средней ширины элементов профиля шероховатости (Rsm) от величины фильтра профиля λs (см. Рисунки 3 и 4), при значениях фильтров λc=2,5 мкм и λf=125 мкм. Исходя из полученных зависимостей следует, что применение фильтра λs=20 мкм приводит к многократному снижению значений Ra и Rsm по сравнению с данными первичного профиля (при λs=λc=λf=0 мкм). С увеличением значения λs величина параметров Ra и Rsm монотонно увеличивается на каждой из рассматриваемых скоростей резания для всех обработанных образцов. На основе оценки параметров шероховатости поверхности и влияния фильтров профиля получены зависимости среднего арифметического отклонения профиля волнистости (Wa) и средней ширины элементов профиля волнистости (Wsm) от величины фильтра профиля λs (см. Рисунки 5 и 6), при значениях фильтров λc=2,5 мкм и λf=125 мкм. Параметр Wa многократно уменьшается по сравнению с данными первичного профиля (при λs=λc=λf=0 мкм) при использовании фильтра λs=20 мкм. При скорости резания 20 м/мин и 60 м/мин по мере увеличения значения фильтра λs происходит монотонное увеличение параметра Wa. При скорости резания 100 м/мин наблюдается обратная картина, т.е. Wa монотонно уменьшается с увеличением значения фильтра λs. Применение λf фильтра негативно сказывается на оценке параметра волнистости Wsm. Как мы видим из графиков на Рисунке 6 часть значений Wsm оказались равны 0, что указывает на ошибку вычисления.

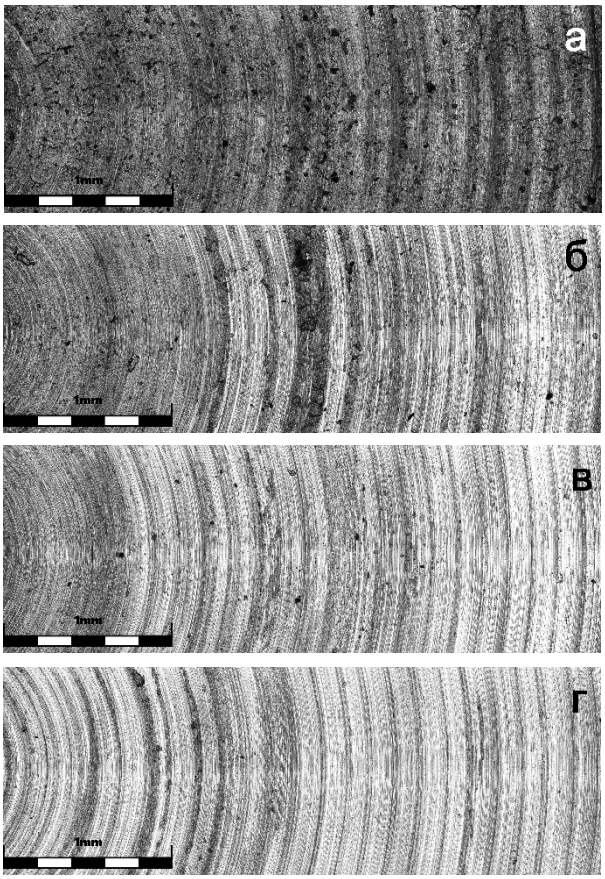


Рис. 2. Фрагменты изображений обработанной поверхности образцов: исходного материала (а) и ультрамелкозернистых материалов со степенью деформации 2 (б), 4 (в), 8(г)

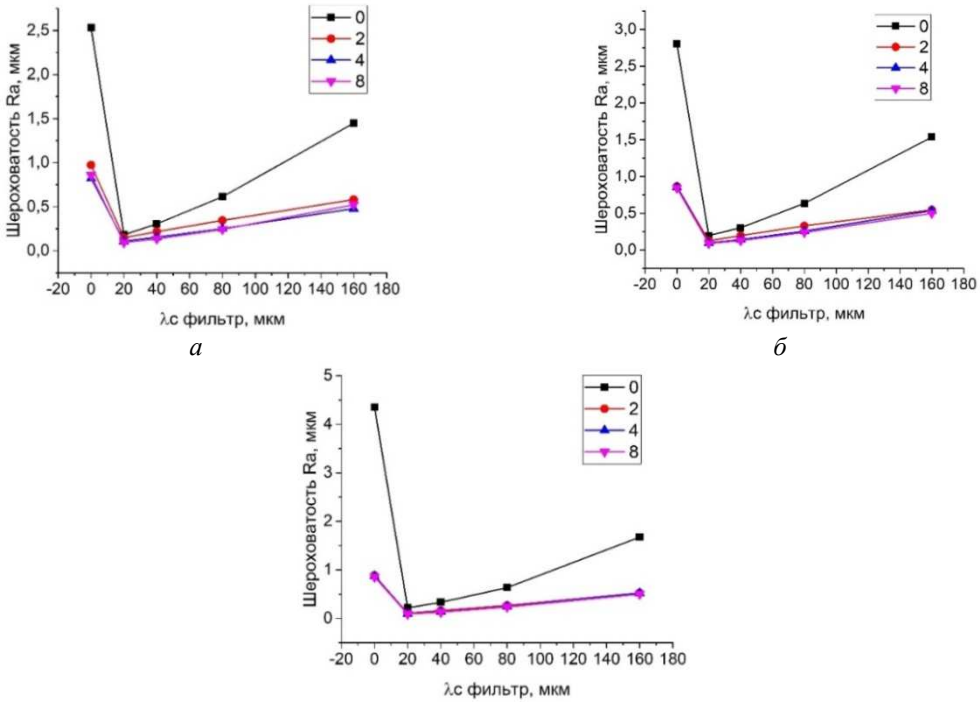


Рис. 3. Шероховатость поверхности параметр Ra. Влияние фильтра λs при скорости резания 20 м/мин (а), 60 м/мин (б), 120 м/мин (в)

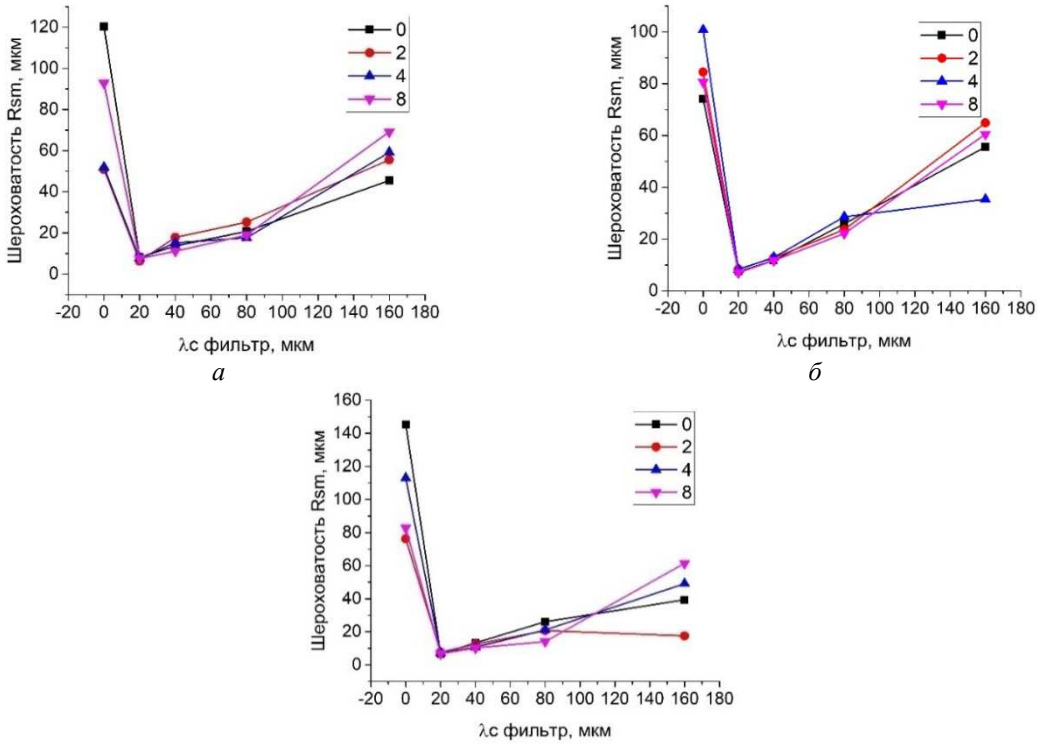


Рис. 4. Шероховатость поверхности параметр Rsm. Влияние фильтра λs при скорости резания 20 м/мин (а), 60 м/мин (б), 120 м/мин (в)

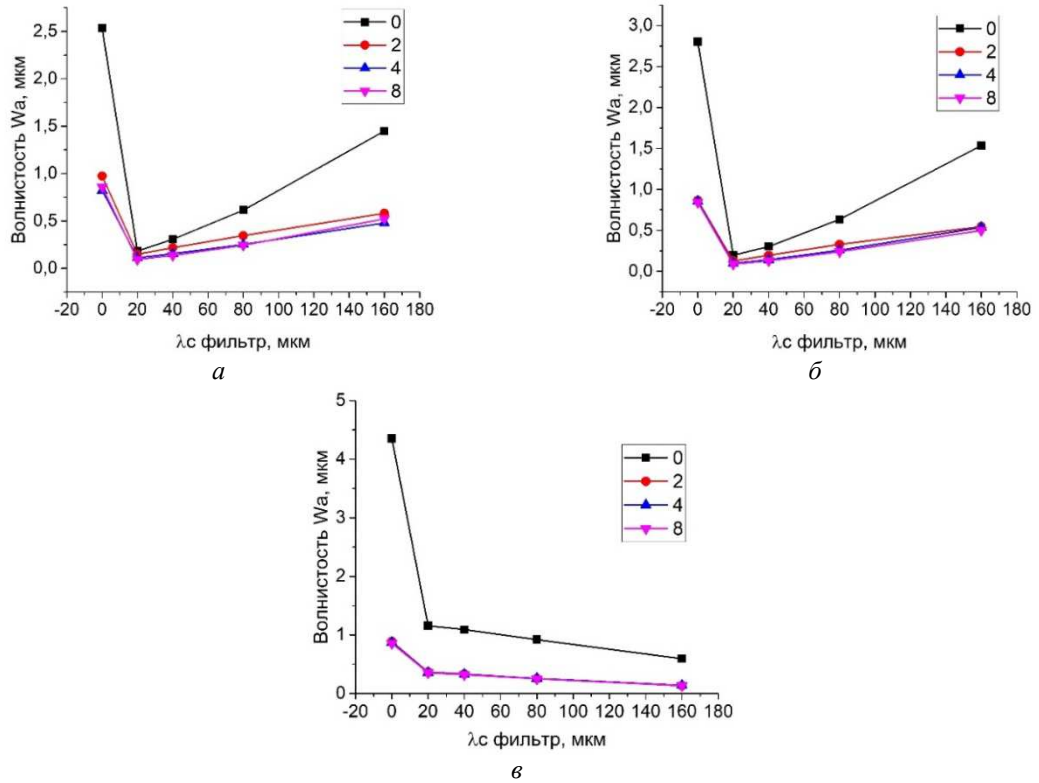


Рис. 5. Волнистость поверхности параметр Wa. Влияние фильтра λs при скорости резания 20 м/мин (а), 60 м/мин (б), 120 м/мин (в)

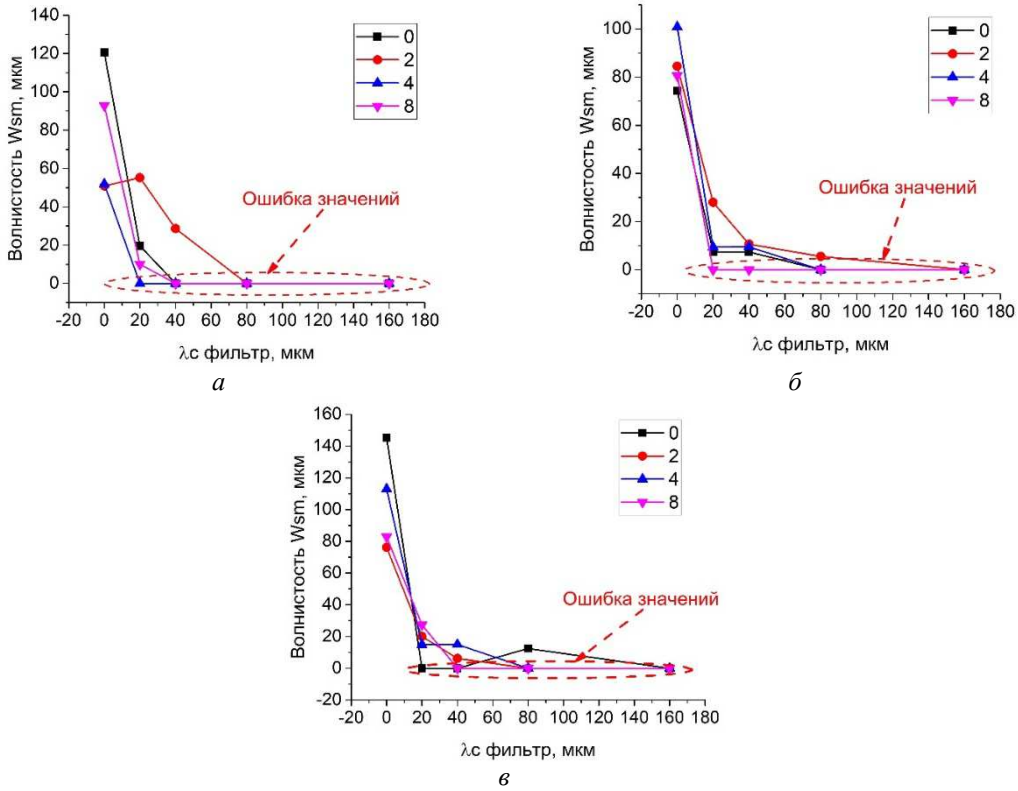


Рис. 6. Волнистость поверхности параметр Wsm. Влияние фильтра λs при скорости резания 20 м/мин (а), 60 м/мин (б), 120 м/мин (в)

Исходя из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. После токарной обработки сплава АМг2 с ультрамелкозернистой структурой амплитудные параметры профиля шероховатости и волнистости поверхности в 2-7 раз ниже, чем при обработке сплава АМг2 с крупнокристаллической структурой. Следовательно, формирование УМЗ структуры позволяет существенно повысить качество токарной обработки сплава АМг2.
2. Анализ влияния фильтров профиля λs, λc и λf показал, что применение λf фильтра негативно сказывается на оценке параметра волнистости Wsm. Следовательно, данный фильтр нежелательно применять для оценки параметров волнистости обработанной поверхности.
3. Исходя из выполненной оценки разделения первичного профиля, профиля шероховатости и профиля волнистости на основе применения фильтров профиля для количественной оценки параметров шероховатости и волнистости поверхности после токарной обработки ультрамелкозернистых материалов рекомендуется применять следующие значения фильтров профиля: λs=80 мкм, λc=2,5 мкм, λf=0 мкм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-79-10013)

Список литературы

1. Valiev R., Islamgaliev R., Alexandrov I. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation. // Progress in materials research. – 2000. – Vol. 45 (2). – P. 103-189.
2. Filippov A.V., Nikonov A.Y., Rubtsov V.E., Dmitriev A.I., Tarasov S.Y. Vibration and acoustic emission monitoring the stability of peakless tool turning: Experiment and modeling // Journal of Materials Processing Technology – 2017. – Vol. 246. – 224–234.
3. Filippov A.V., Rubtsov V.E., Tarasov S.Y., Podgornykh O.A., Shamarin N.N. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals // International Journal of Advanced Manufacturing Technology – 2017. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
4. Filippov A.V., Rubtsov V.E., Tarasov S.Y. Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting // Applied Acoustics – 2017. – Vol.117. – P. 106–112.

5. Alfyorova E.A., Lychagin D.V. Deformation relief in crystals as a way of stress relaxation. // Letters on Materials – 2017. –Vol. 7. (2). – P. 155–159.
6. Lychagin D V., Alfyorova EA. Slip as the basic mechanism for formation of deformation relief structural elements. // Physics of Solid State – 2017. –Vol. 59 (7) – P.1433–1439.
7. Alfyorova E.A., Lychagin D.V. Self-organization of plastic deformation and deformation relief in FCC single crystals. // Mechanics of Materials – 2018 –Vol. 117 – P.202–213.
8. Kuznetsov V.P., Smolin I.Y., Dmitriev A.I., Tarasov S.Y., Gorgots V.G. Toward control of subsurface strain accumulation in nanostructuring burnishing on thermostrengthened steel. // Surface and Coatings Technology – 2016 – Vol. 285 –P. 171–178.
9. Huang B., Kaynak Y., Arvin C., Jawahir I.S. Improved surface integrity from cryogenic machining of Al 7050-T7451 alloy with ultrafine-grained structure. // Advances in Materials and Processing Technology – 2015 – Vol.1 –P.361–374.
10. Bayat Asl Y, Meratian M., Emamikhah A., Mokhtari Homami R., Abbasi A. Mechanical properties and machinability of 6061 aluminum alloy produced by equal-channel angular pressing // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture –2015 –Vol. 229 – P.1302–1313.

ПОЛУЧЕНИЕ ТУГОПЛАВКИХ НИТРИДОВ НИОБИЯ И ТАНТАЛА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

А.О. Чудинова, аспирант, А.П. Ильин, д.ф.-м.н., проф.
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, Россия,
E-mail: chudinova.1509@mail.ru

В настоящее время в аддитивных технологиях используются различные методы: электронно-лучевое сплавление, электродуговое напыление и др., а также множество комбинированных методов, сочетающих множество воздействий различными физическими полями. В то же время недостаточное внимание уделяется получению материалов для самих аддитивных технологий.

Получение тугоплавких нитридов в воздухе в условиях теплового взрыва смесей нанопорошка алюминия с оксидами металлов представляет как практический интерес для материаловедения, так и для теории реакционной способности воздуха при высоких температурах.

Цель работы: получение тугоплавких нитридов ниобия и тантала синтезом сжиганием смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидами ниобия и тантала.

В таком методе для получения нитридов используется азот воздуха, и процесс синтеза осуществляется при атмосферном давлении [1-3]. Установлены, корреляционные зависимости выхода нитридов для разных соотношений нанопорошка алюминий с соответствующими пентаоксидами.

Для выполнения качественного и количественного фазового анализа использовали дифрактометр «Дифрей-401» [4]. Обработку рентгенограмм проводили по стандартному методу сравнения рефлексов с данными картотеки ASTM (Американское общество испытаний материалов) с рефлексами исследуемого материала. Дифференциальный термический анализ (ДТА) проводили с использованием термоанализатора SDT Q600 Научно-аналитического центра ТПУ [5].

В работе достигнут выход нитрида ниобия Nb_2N = 47 отн. %, нитрида тантала Ta_2N = 54 отн. %. Анализ синтезированных нитридов показал, что основное количество частиц продуктов синтеза (95-98 %) составляют частицы с характерными размерами меньше 1 мкм.

В состав продуктов сгорания входят также нитрид алюминия AlN, α-Al_2O_3, γ- Al_2O_3. Такой состав перспективен для электродугового и плазменного нанесения защитных покрытий на детали устройств, работающих в экстремальных условиях (лопатки турбин авиационных двигателей; сопла ракетных двигателей, в материалах, использующихся в реакторах).

С помощью дифференциального термического анализа была оценена реакционная способность исходного нанопорошка алюминия и исследуемых смесей на основании следующих параметров: степень окисленности (α, %), температура начала окислительного процесса ($T_{н.о.}$, °C), удельное тепловыделение (ΔH, кДж/г) и максимальная скорость окисления ($V_{ок}$, мг/с). Типичная термограмма смеси нанопорошка алюминия с пентаоксидом тантала представлена на рисунке 2.

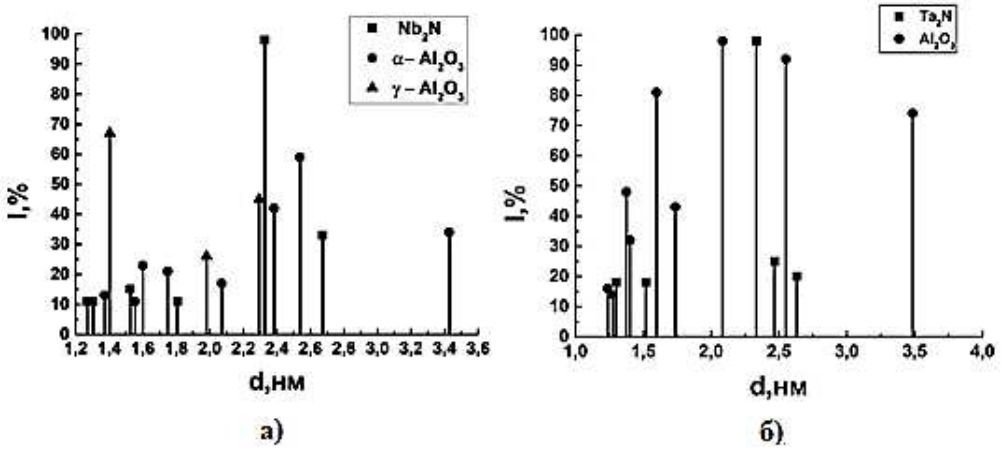


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов сгорания в воздухе смесей: а) НП Al : Nb_2O_5 = 3:1; б) НП Al: Ta_2O_5 = 4:1

Из полученных данных ДТА следует, что температура начала окислительного процесса для всех смесей намного выше комнатной температуры и составляет более 400 °С, поэтому исследуемые смеси непирофорны.

Таким образом, применение тугоплавких нитридов ниобия и тантала позволяет осуществить полный цикл получения и нанесения как однослойных, так и многослойных защитных покрытий с повышенными термическими и механическими характеристиками.

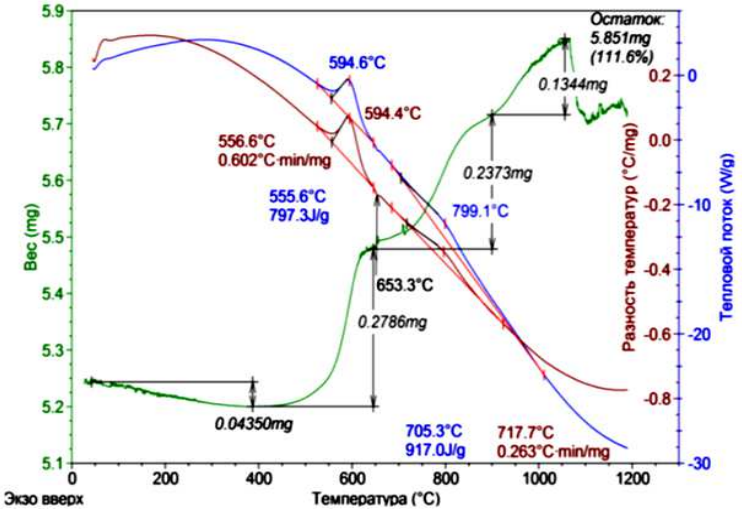


Рис. 2 – Термограмма смеси нанопорошка алюминия с пенаоксидом тантала с массовым соотношением 4:1 (атмосфера – воздух, скорость нагрева 10 ˚С, вес – 5,851 мг)

Работа выполнена при поддержке Государственного задания «Наука», проект № 11.1928.2017/4.6.

Список литературы

1. Ильин А.П., Роот Л.О. Новый механизм высокотемпературного химического связывания азота воздуха // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-6. – С. 1377-1381.
2. Alexander Ilyin, Andrei Mostovshchikov and Liudmila Root. The Resource-Saving Technology of Aluminum Nitride Obtaining During Combustion of Aluminum Nanopowder in Air [Electronic resource] / A. P. Ilyin, A. V. Mostovshchikov, L. O. Root // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 85 : Chemistry and Chemical Technology in XXI Century (CCT 2016).
3. Самсонов Г.В. Нитриды / Г.В. Самсонов // Киев: Наукова думка, 1969. – 377 с.

4. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. – М.: МГУ, 1976. – 232 с.
5. Уэндландт У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – 218 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ И МАШИН

Д.О. Долматов, Д.А. Седнев, к.т.н.
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

Повышение достоверности результатов эхо-метода ультразвукового контроля является одним из важнейших направлений развития данного вида дефектоскопии, который широко применяется в машиностроении. Получение трехмерной визуализации внутренней структуры объекта контроля возможно с использованием ультразвуковых томографов, в которых используются матричные фазированные решетки. В данной работе предлагается алгоритм пространственно-временной обработки эхо-сигналов, зарегистрированных элементами матричной фазированной решётки.

Ultrasonic nondestructive testing is used extensively in mechanical engineering. The development of systems of ultrasonic testing is conditioned by the necessity to increase the reliability of the inspection results. The obtaining of three-dimensional visualization of an internal structure of a controlled object is possible via the application of ultrasonic tomographic systems with matrix phased arrays. In this work, the post-processing algorithm of ultrasonic data registered by the elements of matrix phased array is proposed.

Эхо-метод ультразвукового неразрушающего контроля является одним из наиболее распространённых методов дефектоскопии материалов и изделий в различных областях машиностроения. Современное развитие данного метода неразрушающего контроля связано с необходимостью повышения достоверности его результатов. В этой связи большой интерес представляют ультразвуковые томографы с постобработкой зарегистрированных эхо-сигналов. Такие системы позволяют получать синтезированные изображения внутренней структуры объектов контроля, по которым возможно с высокой точностью определить форму и размер дефектов, оценить степень их влияния на функционирование образца. Получение синтезированных изображений осуществляется за счет пространственно-временной обработки эхо-сигналов с использованием специальных алгоритмов, основанных на методе синтезированной апертуры.

Преимуществом применения в ультразвуковых томографах матричных фазированных решеток является возможность получения трехмерных синтезированных изображений внутренней структуры объектов контроля в одной измерительной позиции. Для получения изображений высокого качества регистрация акустических данных должна осуществляться в режиме двойного сканирования, предусматривающий использованием полного набора возможных комбинаций приемник/передатчик и обеспечивающий получение исчерпывающей информации о внутренней структуре объекта контроля [1]. Тем не менее, такой подход связан с большим объемом требуемых вычислений, необходимых для получения синтезированных изображений [2]. Это серьезно ограничивает применение на практике ультразвуковых томографов с матричными фазированными решетками. Одним из решений данной проблемы является разработка и использование вычислительно эффективных алгоритмов пространственно-временной обработки эхо-сигналов.

В ряде областей науки и техники, близких по своим принципам к ультразвуковому неразрушающему контролю (например, гидролокация и сейсмология), широкое распространение получили алгоритмы, основанные на расчетах в частотной области [3,4]. В случае эхо-метода ультразвукового контроля адаптация существующих в других областях подходов возможно только при условии учета его особенностей:

возможное наличие сред с различными акустическими свойствами на пути распространения акустических волн, обусловленное типом применяемого акустического контакта и свойствами объекта контроля;

объект контроля является ограниченной областью пространства.

В рамках данной работы был разработан алгоритм расчета в частотной области для ультразвуковой томографии с использованием матричных фазированных решеток. Предложенный алгоритм основан на методе фазового сдвига и интерполяции Столта [5,6].

Для проверки эффективности разработанного алгоритма применялись данные, полученные с использованием компьютерных симуляций, которые проводились в программном пакете CIVA 2016,

который является мощным и универсальным инструментом для симуляции результатов ультразвукового контроля [7]. В качестве тестового образца использовался стальной блок размером 50x50x50 мм с просверленными в нем плоскодонными отверстиями диаметром 1 мм. Положение дефектов в объекте контроля представлено на рисунке 1.

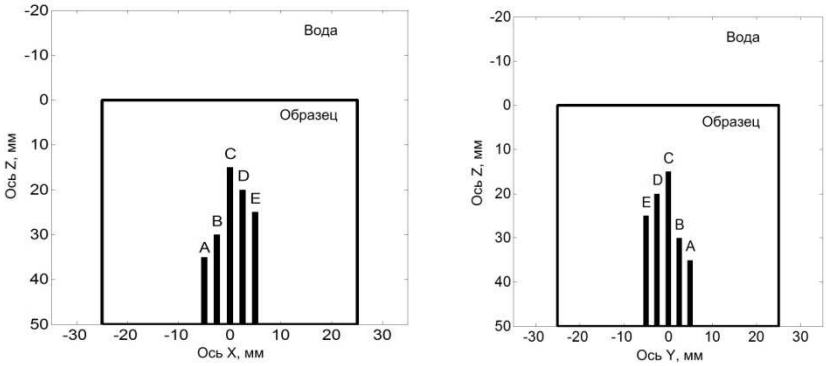


Рис. 1. Положение дефектов в объекте контроля

В представленной на рисунке 1 системе координат дефекты имеют следующие координаты: A(-5;5;35), B(-2,5;2,5;30),C(0;0;15), D(2,5;-2,5;20), E(5;-5;25). В данной симуляции объект контроля был помещен в воду. В качестве ультразвукового преобразователя применялась матричная фазированная решетка, состоящая из шестидесяти четырех элементов. Расстояние между центрами соседних элементов преобразователя составляло 0,6 мм. Частота каждого элемента составляла 5 МГц. Регистрация эхо-сигналов элементами матричной фазированной решетки осуществлялось в режиме двойного сканирования с перемещением преобразователя с шагом 1 мм вдоль поверхности объекта контроля.

Результатом компьютерной симуляции являлся набор эхо-сигналов зарегистрированных элементами фазированной решетки в различных позициях преобразователя. Эти данные использовались как входные для рассматриваемого алгоритма, который был реализован программном пакете Matlab R2016b. Результатом применения рассматриваемого алгоритма к данным является трехмерная визуализация внутренней структуры объекта контроля, проекции которой на плоскость XZ и YZ представлены на рисунке 2.

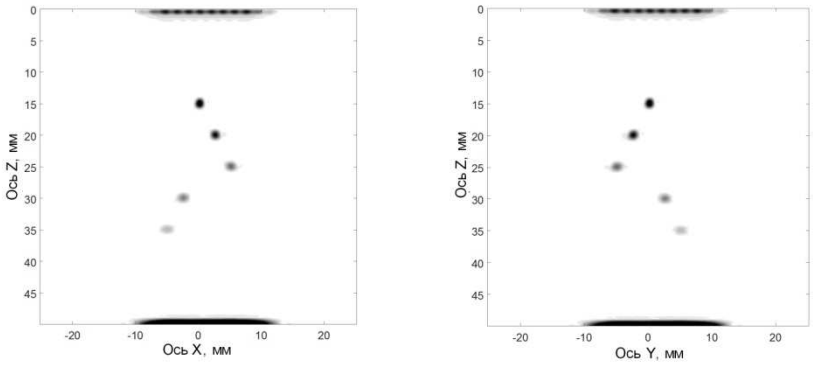


Рис. 2. Результат применения рассматриваемого алгоритма к ультразвуковым данным

Полученные результаты демонстрируют точную и достоверную визуализацию каждого из отражателей, который был смоделирован в объекте контроля при симуляции. Полученные результаты показывают необходимость дальнейшей проверки предложенного алгоритма в реальном эксперименте.

Список литературы

6. Базулин Е. Г. Применение ультразвуковой антен ной решетки для регистрации эхосигналов методом двойного сканирования для получения изображений дефектов/ Базулин Е. Г., Коколев С. А., Голубев А. С. //Дефектоскопия. – 2009. – №. 2. – p. 18-32.

7. Velichko A. Strategies for ultrasound imaging using two-dimensional arrays / Velichko A., Wilcox P. D. //AIP Conference Proceedings. – AIP, 2010. – Т. 1211. – №. 1. – p. 887-894.
8. Gough P. T. Imaging algorithms for a strip-map synthetic aperture sonar: Minimizing the effects of aperture errors and aperture undersampling / Gough P. T., Hawkins D. W. //IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 1997. – Т. 22. – №. 1. – p. 27-39.
9. Kim Y. C. Recursive wavenumber-frequency migration / Kim Y. C., Gonzalez R., Berryhill J. R.//Geophysics. – 1989. – Т. 54. – №. 3. – С. 319-329.
10. Stolt R. H. Migration by Fourier transform / Stolt R. H. //Geophysics. – 1978. – Т. 43. – №. 1. – p. 23-48.
11. Gazdag J. Wave equation migration with the phase-shift method / Gazdag J. //Geophysics. – 1978. – Т. 43. – №. 7. – С. 1342-1351.
12. Calmon P. CIVA: An expertise platform for simulation and processing NDT data / Calmon P. et al. //Ultrasonics. – 2006. – Т. 44. – p. e975-e979.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ ТИТАНА

Е.В. Бабакова, ассистент, А.А. Сапрыкин, к.т.н., зав. кафедрой,
Е.А. Ибрагимов, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел (384-51) 7-77-61
E-mail: babakova@tpu.ru

Среди металлов для медицинского применения особое место занимает титан. Его физико-механические характеристики и биоинертные свойства определяют применение в производстве медицинских имплантатов. Пористость имплантата способствует более эффективной приживляемости его к костной ткани. Поэтому, актуальной задачей в производстве имплантатов является контроль шероховатости поверхности и пористости. Использование селективного лазерного плавления позволяет не только значительно сократить время изготовления индивидуального имплантата и уменьшить расход материала, но и, управляя всеми основными технологическими параметрами, получать изделие с заданными свойствами.

A special place is occupied by titanium, among metals for medical use. Its physical and mechanical properties and bioinert properties determine application in the manufacture of medical implants. The porosity of the implant facilitates more efficient engraftment it to the bone. Therefore, the actual task in the production of implants is to check the surface roughness and porosity. The use of selective laser melting makes it possible not only to significantly shorten the manufacturing time of an individual implant and to reduce the consumption of a material, but also, managing all the main technological parameters, to obtain a product with specified properties.

Титан и его сплавы широко используются в качестве материалов для изготовления медицинских имплантатов и хирургических инструментов. Это связано с хорошими механическими свойствами, биосовместимостью и высокой коррозионной стойкостью сплавов. Шероховатая поверхность медицинских имплантатов оказывает благоприятное влияние на остеоинтеграционные процессы. Использование пористых имплантатов позволяет надежно фиксировать имплантат в костных тканях за счет увеличения площади соприкосновения поверхности «имплантат – костная ткань». Наилучшие результаты отмечаются для поверхностей с регламентированной пористостью [1]. Но шероховатость и пористость поверхности отрицательно влияют на усталостную прочность при циклических нагрузках. Неровности на поверхности имплантатов играют роль концентраторов напряжений и стимулируют образование усталостных трещин [2]. Следовательно, для устранения противоречий между требованиями остеоинтеграции и усталостной прочностью необходимо получить оптимальную пористую структуру.

На сегодняшний день существует несколько традиционных способов изготовления имплантатов из титана: литьем, фрезерованием и токарной обработкой, порошковой металлургией, штамповкой.

Среди литейного оборудования наиболее известными являются системы Rematitan фирмы Dentaurum (Германия), Biotan фирмы Schutz Dental (Германия), Morita (Япония) [3, 4, 5]. При данном способе в процессе расплавления материала титан интенсивно взаимодействует с газами и материалами технологической оснастки. Вследствие этого, изготовление имплантатов усложняется необходимостью одновременного плавления и заливки сплава в форму в условиях вакуума, а также применением дорогостоящих высокоогне-

упорных материалов. При этом исключается возможность повторного использования остатков литья для изготовления других имплантатов, что приводит к увеличению стоимости конечного продукта.

Использование способа штамповки фирмой "Oratronics Incorporation" (США) [6] экономически целесообразно только при выпуске изделий большими партиями, при этом отсутствует возможность получения имплантатов сложной геометрической формы, а так же контроля геометрии и положения пор в имплантате.

Фрезерование пластиночных имплантатов оправдано только в стадии разработки новых конструкций из титана. При массовом производстве фрезеровка имплантатов из листа металла экономически не оправдана [7].

Пористость титана, которая способствует срастанию имплантатов и костной ткани, в аналогах отсутствует. А при использовании способов порошковой металлургии пористость титана, наоборот, слишком высокая – свыше 400 мкм. Такая сверхпористая структура способствует существенному снижению его прочностных характеристик, так как в способах порошковой металлургии отсутствует контроль пористости изделия [7].

Поэтому в традиционных способах изготовления имплантатов проводят дополнительные этапы обработки для ускорения процессов остеоинтеграции – это химическая обработка, травление кислотами и пескоструйная обработка, ионноплазменое напыление, рельефная формовка или накат и т.д. [8, 9, 10]. Указанные технологические приемы наряду с положительными качествами имеют ряд недостатков. Все вышеперечисленные методы обработки титановых конструкций требуют наличия дорогостоящего оборудования, сложных технологий, участия химических агентов опасных как для здоровья человека, так и для окружающей среды в целом.

В настоящее время все более широкое применения получает технология селективного лазерного плавления (СЛП). Технологический процесс состоит из двух этапов: вначале тонкий слой порошка равномерно распределяется по всей рабочей площадке, после чего лазерный луч сплавляет области, которые соответствуют срезу создаваемого объекта. Затем рабочий стол опускается вниз на расстояние, равное толщине слоя, и алгоритм повторяется, пока процесс не дойдет до самой верхней точки модели. На каждом этапе селективного лазерного плавления (СЛП) можно оптимизировать технологические режимы. Порошок наноситься валиком, либо ракелем. Сплавление проводиться только на участке, который соответствует границе перехода (внешний контур слоя), или по всей глубине модели. Важная особенность СЛП – отсутствие необходимости в поддерживающих структурах. Это связано с тем, что излишек окружающего порошка по всему объему не дает модели разрушиться, пока не обретена окончательная форма и не достигнута прочность конечного изделия. Технология СЛП позволяет управлять и контролировать все основные технологические параметры (мощность излучения, скорость сканирования, температура порошка и т.д), которые оказывают влияние на процесс синтеза изделия. Это дает возможность получать конечный продукт с заданными механическими свойствами поверхности. Имплантат, получаемый технологией СЛП, имеет сложную геометрию, используется в качестве индивидуальной модели челюстно-лицевого компонента, которая замещает дефект костной ткани и является полностью безопасной для человеческого организма. Такие имплантаты более адаптивны к организму, чем конструкции серийного производства, функциональны и долговечны [11, 12].

По сравнению с традиционными методами получения имплантатов, метод СЛП позволяет значительно сократить технологический цикл производства изделия, уменьшить расход дорогостоящих материалов, что отражается на стоимости конечного продукта. Например, стоимость титанового имплантата «Диск пористый» (используется в качестве имплантата для устранения костных дефектов стенок, верхнечелюстной и лобной пазух), изготовленного по традиционной технологии, составляет 1225-1396 $, а по технологии СЛП – порядка 635 $. В приведенных выше способах коэффициент использования материала составляет около 40-50 %, а при технологии СЛП до 92%.

В методе СЛП плавления существует возможность контролировать шероховатость поверхности и пористость, изменяя параметры и варьируя размер пор в пределах 20-400 мкм, что позволит добиться оптимального соотношения прочности и остеоинтеграции [13, 14].

Можно сделать вывод, что СЛП позволяет изготавливать индивидуальные имплантаты, имеющие индивидуальную геометрическую форму изделия, с минимальным использованием дорогостоящей оснастки и механообработки. СЛП является перспективным способом для получения тонкостенных мелких имплантатов со сложной формой и индивидуальными размерами.

Список литературы
1. Шишковский И.В., Морозов Ю.Г., Фокеев С.В. и др. Лазерный синтез и сравнительное тестирование трехмерного пористого матрикса из титана и никелида титана как репозитария для стволовых клеток. Порошковая металлургия. 2011; 50(9/10): 42–57.
2. Астанин В.В., Каюмова Э.З., Никитин В.В., Фархетдинов А.И. Применение наводороженных титановых порошков для получения вакуумным спеканием пористых покрытий на хирургических имплантатах // Российский журнал биомеханики. 2015. №1. С. 116-122.
3. https://www.dentaurum.de/eng/titanlegierung-rematitan-cl-23835.aspx
4. https://www.schuetz-dental.de/en/dentist/implants/
5. http://www.gsdental.ru/morita.php
6. https://www.ortronics.com/
7. https://dentaltechnic.info/index.php/implanty/zubnoe-protezyrovanye-na-ymplantatakh/2836-tyehnologiya_izgotovlyeniya_implanta
8. Бутовский К., Лясников В. Влияние механической обработки поверхности имплантата и режима плаз-менного напыления на микрорельеф и остеоинтеграцию// Клиническая имплантология и стоматология. 1998. №4. С.36-41.
9. Вильяме Д.Ф., Роуф R Имплантаты в хирургии. М.: Медицина, 1978. 552 с.
10. Вортингтон Ф., Ланг Б.Р, Лавелле В.Е. Оссеоинтеграция в стоматологии. Введение. Берлин: Квинтэс-сенция, 1994. 126 с.
11. Бабакова Е.В., Химич М.А., Сапрыкин А.А., Ибрагимов Е.А. Применение селективного лазерного сплавления для получения низкомодульного сплава системы титан - ниобий // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2016. №1. С. 117-131.
12. Влияние условий послойного лазерного спекания (плавления) на качество поверхности изделия [Электронный ресурс] / А. А. Сапрыкин [и др.] // Beam technologies & laser application : proceedings of the VIII International scientific and technical Conference : 20-24, September, 2015, Saint-Petersburg, Russia. Saint-Petersburg : Publishing house SPbSPU, 2016. С. 315-321
13. Ibragimov E. A. , Saprykin A. A. , Babakova E. V. Influence of Laser Beam Machining Strategy at SLS Synthesis // Advanced Materials Research. – 2014 – Vol. 1040. – P. 764–767.
14. Saprykin A. A., Saprykina N. A., Arkhipova D. A. The effect of layer-by-layer laser sintering on the quality of copper powder sintered surface layer // 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2016) : 1-3 June 2016, Novosibirsk, Russiainin 2 pt. Novosibirsk State Technical University. 2016. Pt. 1. P. 244-246.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ИПА

Ю. Г. Хусаинов[1], Д. Р. Лапицкий[2], Р. С. Есипов[3]
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)
[1] uldash990@mail.ru, [2] LapitskyDR@gmail.com, [3] esromles@mail.ru

Для повышения темпов внедрения и улучшения уровня контроля процесса ионно-плазменного азотирования разработана математическая модель влияния режимов азотирования на температуру подложки. Искомая зависсимость была получена методами полного факторного эксперимента и “черного ящика”. Модель позволяет прогнозировать и определять температуру детали с точностью в 92%. Кроме того, обеспечивает расчет при работе в различных газовых средах вида N-H-Ar и N-Ar.

азотирование, ИПА; плазма; математическая модель азотирования; моделирование процессов ионно-плазменной обработки; температура подложки; прогнозирование температуры; газовая смесь; полный факторный эксперимент; ПФЭ.

Современные тенденции отечественного машиностроения провоцируют активную разработку новых материалов. В попытке найти компромисс для свойств твердости и обрабатываемости, применяют различные методы поверхностного упрочнения [1].

При выборе метода поверхностного упрочнения ионное азотирование является наиболее перспективным, поскольку позволяет упрочнять детали на самой последней стадии технологического процесса, после всех операций термической и механической обработки [2]. Кроме того, ионный процесс оценивается как высокопроизводительный, высокоэффективный, энергосберегающий и экологически чистый [3].

В процессе азотировании температура детали является важным параметром, требующим постоянного контроля и обычно составляет 450-600°С [4].

При перегреве детали возникают структурные изменения материала, приводящие к искажению технологических размеров [5]. В то же время, низкий температурный режим существенно снизит интенсивность диффузионного процесса, ограничивая производительность [5]. Кроме того, при азотировании сталей с температурой 450 °С позволит формировать высокопрочную фазу пересыщенного азотом твердого раствора в диффузионном слое [6].

Таким образом, главным условием качества и производительности ионного процесса является обработка детали при оптимальной температуре подложки.

Обеспечение оптимальной температуры осуществляется подбором рабочих режимов процесса (разность потенциалов подложки и камеры, вакуумное давление в камере, концентрация и химический состав элементов газовой смеси). Зачастую, подбор производится эмпирически и занимает колоссальный объём времени, что приводит к существенным экономическим потерям и снижению производительности.

Решение проблемы прогнозирования и контроля температуры может быть найдено путем математического моделирования процесса. Однако учет внутренних химико-физических взаимодействий увеличивает объем входных данных и усложняет обработку полученной модели.

Следовательно, рационально работать только с входными и выходными параметрами, абстрагируясь от внутренних взаимодействий.

В ранее написанных работах, посвященных моделированию ионного процесса [4,6,7], температура подложки являлась уже установленным параметром. А вопрос совокупного влияния внешних факторов (рабочих режимов азотирования) на температуру подложки прежде не изучался.

Таким образом, целью данной работы является создание математической модели, позволяющей, определять и прогнозировать температуру подложи, исходя из входных параметров процесса.

Методика проведения исследований

Из выше написанного следует, что на температуру подложки в процессе ионно-плазменного азотирования влияет целый ряд фактор. С целью исключить из математической модели внутренние физико-химические взаимодействия необходимо использовать метод “черного ящика”. Структурная схема метода представлена на рисунке 1, где xi - входные факторы, yi – значение функции отклика, wi - случайные возмущающие воздействия.

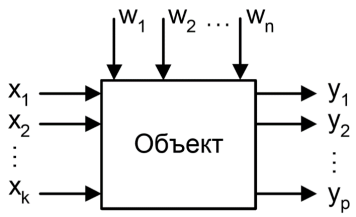


Рис. 1. Структура метода “черного ящика”.

Таким образом, используя только входные факторы, удаётся уменьшить время на обработку модели и повысить ее точность, поскольку исключаются погрешности математического описания физико-химических явлений.

Входными факторами, влияющими на температуры подложки при ионно-плазменном азотировании, являются: разность потенциалов подложки и камеры, вакуумное давление в камере, концентрация и химический состав элементов газовой смеси [5]. Следовательно, математическая зависимость температуры подложки от входных факторов, представляет собой сложную многофакторную функцию.

При таком количестве независимых входных факторов целесообразно применить метод полного факторного эксперимента (ПФЭ) [8]. Данный метод, основанный на множественной регрессии, позволяет не только получить аналитическое уравнение, но и сократить количество необходимых экспериментов.

Таким образом, совместное применение методов ПФЭ и “черного ящика”, обеспечивает получение функции влияния внешних факторов ионного процесса на температуру подложки. Общий вид функции представлен формулой 1:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{K} b_i x_i + \sum_{\substack{j=k \\ i=1}}^{\substack{i=t \\ j=n}} b_j c_i + \sum_{i=1}^{n} w_i \qquad (1)$$

где y – функция отклика, xi-входные факторы, K - число факторов, n – число экспериментов по методу ПФЭ, ci – i-ый элемент множества сочетаний входных факторов, wi - случайные ошибки наблюдения.

Согласно методу ПФЭ такой вид модели представляет собой результат разложения полинома функции отклика в ряд Фурье. Следовательно, каждый фактор ионного процесса xi должен иметь общую область определения. Пределы значений параметров ионного процесса должны быть установлена до проведения эксперимента. Кроме того, количественное описание элементов газовой смеси приводит к возникновению недопустимой для метода линейной зависимости между факторами уравнения.

Для исключения линейной связи концентраций элементов газа, произведена замена количественных параметров водорода и азота на безразмерный коэффициент k показывающий их отношение.

$$k = \frac{\mu H_2}{\mu N_2} \tag{2}$$

Данный подход позволяет не только устранить линейную зависимость входных факторов, но и учесть различные химические составы газовой смеси: N-H-Ar и N-Ar.

Учет водородного азотирования является положительным свойством математической модели, в связи с интенсификацией процесса при его использовании [9]

Таким образом, входными факторами для модели температуры подложки при ионно-плазменном азотировании являются:

- Разность потенциалов, приложенная к подложке и корпусу установки (U, В).
- Вакуумное давление в камере (P, Па).
- Концентрация аргона (μAr, %)
- Безразмерный коэффициент k

Границы определения факторов были назначены благодаря статистическим данным лаборатории ионно-плазменной обработки ИАТМ.

Краевые точки областей определения факторов представлены в таблице 1.

Согласно методу ПФЭ комбинацию входных факторов можно представить, как точку в многомерном пространстве, характеризующую состояние системы. [10]. Функция влияния входных факторов ионного процесса на температуру подложки определиться в 4-х мерном пространстве, графическое отображение которого, после кодирования факторов, будет иметь форму гиперкуба, представленного на рисунке 2, где точке P соответствует максимальное значение функции отклика, точке A - минимальное.

Таблица 1

Краевые точки областей определения входных факторов

Фактор	Наименьшее значение	Наибольшее значение
U, В	400	450
P, Па	250	350
μ(Ar), %	30	80
k	0	1

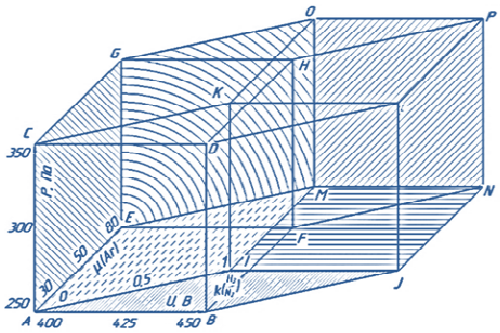


Рис. 2.Гиперкуб пространства определения функции отклика

Кодирование факторов производится согласно методу ПФЭ по формуле 3:

$$z_i = \frac{x_i - x_{ср}}{\Delta x} \quad (3)$$

где $x_{ср}$ - среднее значение фактора, Δx – дисперсия фактора.

Данное преобразование осуществляется ввиду интегрируемости ряда Фурье на интервале [-1;1] и позволяет привести входные факторы к общей области определения.

Доказательства адекватности полученного уравнения влияния параметров азотирования на температуру подложки осуществляется по F-критерию Фишера [8]:

$$F \geq \frac{S_{ab}^2}{S_b^2} \quad (4)$$

где F - критерий Фишера (F = 19 при доверительной вероятности β (чаще всего равной 0,95) [9]); S2ab – дисперсия адекватности, Sb – величина ошибки коэффициентов bi.

ход эксперимента

Согласно вышеописанной методике, была проведена серия экспериментов для получения требуемой выборки данных.

Эксперименты проводились на модернизированной установке ЭЛУ-5, предназначенной для проведения термической и химико-термической обработки в вакууме. Замеры температуры осуществлялись пирометром “Термикс”.

Схема установки представлена на рисунке 3, где 1 - камера ЭЛУ-5, 2 - крышка камеры ЭЛУ-5, 3 - катод, 4 - анод, 5 - образец, 6 - источник питания, 7 - пирометр, 8 - штатив.

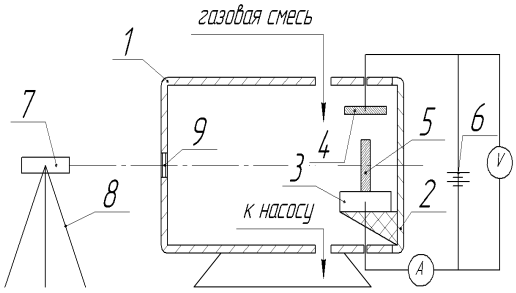


Рис. 3.Схема установки

Полученные результаты эксперимента представлены в таблице 2, где значение режимов ионного процесса приведены в кодированном виде, согласно методике ПФЭ по формуле 3.

Таблица 2

Результаты эксперимента

№	U, В	P, Па	$k\left(\frac{\mu H_2}{\mu N_2}\right)$	μ(Ar), %	T, °C
1	-1	-1	-1	-1	432
2	-1	-1	1	1	571
3	-1	-1	-1	1	472
4	-1	-1	1	-1	442
5	1	-1	-1	-1	609
6	1	-1	1	1	794
7	1	-1	-1	1	754
8	1	-1	1	-1	627
9	-1	1	-1	-1	442
10	-1	1	1	1	690
11	-1	1	-1	1	536
12	-1	1	1	-1	486

№	U, В	P, Па	$k\left(\frac{\mu H_2}{\mu N_2}\right)$	μ(Ar), %	T, °C
13	1	1	-1	-1	706
14	1	1	1	1	950
15	1	1	-1	1	889
16	1	1	1	-1	730
17	0	0	0	0	627

Полученные значения функции отклика (T, °C) составят исследуемую выборку, качество которой определится, согласно критерию Кохрена:

$$G \leq G_T \tag{5}$$

где GT - критерий Кохрена (GT=0.3346 для 2 степеней свободы), G - отношение максимальной дисперсии, к сумме всех дисперсий выборки.

Под качеством выборки мы будем понимать совокупное значение точности и вероятности, при котором полученные значения функции отклика достоверно описывают реальные величины нагрева подложки.

Таким образом, утверждение о качестве выборки позволит доказать следующее неравенство, составленное по формуле 5:

$$0{,}29749 \leq 0{,}3346$$

Возможность повторения опыта подтверждается дисперсией всего эксперимента (дисперсией параметров оптимизации S2(y)), которую получают в результате усреднения дисперсий всех итераций. При 2 итерациях:

$$S^2(y) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i^2 = 44{,}6$$

где (Si2) - сумма всех дисперсий эксперимента.

Таким образом совокупность значений температуры подложки в процессе ионно- плазменного азотирования, полученную в результате эксперимента можно признать качественной и доказуемой выборкой, которая пригодна для составления математической модели в заданной области определения.

обработка экспериментальных данных

По полученной выборке эксперимента значения коэффициентов входных факторов bi формулы 1 определятся согласно следующей формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i)}{N} \tag{6}$$

Значимость кодированных коэффициентов регрессии bi уравнения 1 определяется условием Стьюдента:

$$\frac{|b_i|}{S_b} \geq t_T \tag{7}$$

где tT-число Стьюдента (1,746 для 16 степеней свободы и уровня значимости α=0.05)

Полученные значения коэффициентов bi, по формуле 6 и прошедшие проверку согласно формуле 7 приведены в таблице 3.

Кроме того, из общего уравнения можно исключить значение нулевого коэффициента b0, поскольку функция отклика определяет только максимальную стабильную температуру в процессе ионного упрочнения, при заданных постоянных входных факторах.

Таким образом, искомая математическая модель величины нагрева подложки в процессе ионно-плазменного азотирования имеет следующий вид:

$$T°C = 124,25 \cdot U + 45,5 \cdot P + 28,125 \cdot k + 73,875\mu(Ar) + 15,875UP +$$
$$+15.5U\mu(Ar) + 16.125(k\mu(Ar))$$

Таблица 3

Значения кодированных коэффициентов bi

коэффициент	значение	Условие по формуле5
$b_1(U$, В$)$	124,25	15,759285>1,746
$b_2(P$, Па$)$	45,5	5,771006>1,746
$b_3(k)$	28,125	3,567243>1,746
$b_4(\mu(Ar))$	73,875	9,369958>1,746
$b_{12}(UP)$	15,875	2,013510>1,746
$b_{13}(U\mu(Ar))$	15,5	1,965947>1,746
$b_{34}(k\mu(Ar))$	16,125	2,045219>1,746

Данное уравнение позволяет описать изменение функции отклика относительно её среднего значения в ранее указанном пространстве её значений.

Адекватность полученной модели подтверждается согласно формуле 4 следующим неравенством:

$$F = 19 \geq \frac{S^2_{ab}}{S^2_b} = 4,5$$

Таким образом, в результате работы была получена математическая модель позволяющая, определять и прогнозировать температуру подложи, исходя из входных параметров процесса ионно-плазменного азотирования.

Модель позволяет спрогнозировать температуру подложки с точностью в 92%. Данную точность можно легко повысить проведением параллельной серии опытов с последующей корректировкой факторных коэффициентов bi. Результат сравнения эмпирических и расчётных данных представлен в таблице 4

Таблица 4

Результат сравнения эмпирических и расчетных данных.

-	*T, °C*	$T_{рас}$, *°C*	*отклонения в %*
1	432	402,75	6,770833
2	571	575,75	0,831874
3	472	487,25	3,230932
4	442	426,75	3,450226
5	609	588,5	3,366174
6	794	823,5	3,715365
7	754	735	2,519894
8	627	612,5	2,3126
9	442	462	4,524887
10	690	635	7,971014
11	536	546,5	1,958955
12	486	486	0
13	706	711,25	0,743626
14	950	946,25	0,394737
15	889	857,75	3,515186
16	730	735,25	0,719178
сумма	10130	10032	46,02548
17 *Среднее*	633,125	627	2,876593

Основываясь на коэффициентах значимости bi, полученной модели стало возможным сделать следующие наблюдения:

- Наибольшее влияние на величину нагрева детали оказывает значение приложенной разности потенциалов. Это обусловлено ростом энергии ионов в процессе бомбардировки подложки.
- Так же на значение температуры сильное влияние оказывают количественные и качественные характеристики газовой смеси. При этом можно отметить, что чистое количество азота (N2) оказывает меньшее влияние на рост функции отклика, чем количество водорода (H2), хотя согласно физическому смыслу процесса нагрева влияние должно быть обратным в счет атомарной массы. Предположительно чистое количество азота уменьшается из-за его перехода в нитриды железа еще в газовой смеси, что может стать подтверждением теории Ю.М. Лахтина [5]. Однако также причиной может стать отмеченная И. М. Пастухом возможность образования водородом более тяжелых соединений с примесными газами и его специфическое поведение в плазменном потоке [5] Данный вопрос нуждается в дальнейшем более детальном исследовании.

Данная статья описывает процесс создания математической модели, позволяющей, определять и прогнозировать температуру подложи, исходя из входных параметров процесса ионного азотирования.

Модель обеспечивает точность определения температуры до 92 % с возможностью её повышения за счет дополнительных серий эксперимента.

Входе работы с моделью необходимым является перевод факторов в ортогональные базисы, определяемые в пространстве значений функции отклика согласно уравнению 3. Выход факторов за пределы пространства приводит к нарушению метода построения модели и, следовательно, к ошибочному результату. Гиперкуб функции отклика может быть расширен за счет повторных расчётов и экспериментов.

Математическая модель отличается комплексным учетом всех входных факторов ионно-плазменного процесса и простотой обработки данных.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении моделирования процесса ионного азотирования с целью увеличения уровня контроля и уменьшения временных потерь.

Список литературы

1. Вишняков М.А, Вашуков Ю.А. Конструкторско-технологические методы обеспечения качества изделий машиностроения М.: Самара, СГАУ 2005.96 с. [M.A. Vishnyakov, Yu.A. Vashukov Design and Technological Methods for Ensuring the Quality of Mechanical Engineering Products M : Samara, SGAU 2005.96 p].
2. Берлин Е. В, Коваль Н. Н, Сейдман Л. А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. М.: Техносфера, 2012. – 464с. ISBN: 978-5-94836-328-8. [Berlin E. V, Koval N. N., Seidman LA Plasma chemical-thermal treatment of the surface of steel parts. M.: Technosphere, 2012. - 464c. ISBN: 978-5-94836-328-8.]
3. Герасимов С. А., Крукович М. Г., Бадерко Е. А., Клочков Н. П. Моделирование процесса ионного азотирования. // научное издание МГТУ им.Баумана Наука и Образование [S. A. Gerasimov, M. G. Krukovich, E. A. Baderko, N. P. Klochkov, “Simulation of ion nitriding,” (in Russian), in Scientific pereodical of thee Bauman MSTU, vol. 19, 10.7463/0113.0501016, 2013.]
4. Andres Bernal. Investigation on nitriding with enphasis in Plasma nitriding process, curren technology and equipment: Review Article//materials processing Royal institute of technology – kth Stockholm -100 44 Sweden. Vol.38.
5. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. М.: Научное издание ННЦ ХФТИ, 2006. 364с. [Pastukh, IM The theory and practice of non-hydrogen nitriding in a glow discharge. M .: Scientific edition of the NSC KIPT, 2006. 364p.]
6. Спевак Л. Ф, Нефедова О. А, Макаров А. В, Самойлов Г. В. Математическое моделирование плазменного азотирования аустенитной нержавеющей стали // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures, 2015/DOI: 10.17804/2410-9908.2015.6.068-079 [L. F. Spevak, O. A. Nefedova, A. V. Makarov, G. V. Samoilova “Mathematical modelling of plasma nitriding of austenitic stainless steel” (in Russian), in Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures, 2015/DOI: 10.17804/2410-9908.2015.6.068-079].
7. Будилов В. В, Рамазанов К. Н, Хусаинов Ю. Г, Золотов И. В. Моделирование процесса локально-гоионного азотирования с эффектом полого катода на примере детали «зубчатого колеса» // Вестник УГАТУ. [S.l.], v. 19, n. 2, p. 3-8, июнь 2015. ISSN 1992-6502. [V.V. Budilov, K. N. Ramazanov, Yu. G. Husainov, I. V. Zolotov. “Simulation of the local nitriding process with the effect of

a hollow cathode using the example of the gear" (in Russian), in Vestnik UGATU,, vol. 19, no. 2 (68), pp. 3-8, 2015. ISSN 2225-2789]
8. Реброва И.А. Планирование эксперимента М.: СибАДИ Омск,2010. 107с. [Rebrova I.A. Planning the experiment M .: Si-BADI Omsk, 2010. 107c]
9. Хусаинов Ю. Г, Рамазанов К.Н, Есипов Р.С, Исяндавлетова Г.Б. Влияние водорода на процесс ионного азотирования аустенитной стали 12Х18Н10Т // Вестник УГАТУ. [S.l.], v. 21, n. 2, p. 24-29, июнь 2017. ISSN 1992-6502.. [Yu. G. Khusainov , K. N. Ramazanov , R. S. Esipov , G. B. Isyandavletova. "Effect of hydrogen on the process of ion nitriding of austenitic steel 12Kh18N10T." (in Russian), in Vestnik UGATU,, vol. 21, no. 2 (76), pp. 24-29, 2017. ISSN 2225-2789]
10. Умнов А.Е. Методы математического моделирования. М.: МФТИ, 2012. 295 с [A.E. Umnov Methods of mathematical modeling. M.: Moscow MIPT, 2012. 295p.]

СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТЫ ДЛЯ ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС

А. В. Собачкин, к.т.н., с.н.с., М. В. Логинова, к.т.н., с.н.с., А. С. Мигина, магистрант
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

Работа посвящена исследованию экологически безвредных технологий получения наноструктурных материалов методами механохимии с проведением реакции высокотемпературного синтеза в металлической матрице для использования полученного порошкового материала в процессах газодетонационного нанесения покрытий, которые могут заменить гальваническое хромирование.

The work is devoted to the study of environmentally friendly technologies for the production of nanostructured materials by mechanochemistry methods with the reaction of high-temperature synthesis in a metal matrix for the use of the obtained powder material in gas-detonation coating processes that can replace galvanic chromium plating.

В машиностроении важную роль играют вопросы, связанные с поверхностью изделия. Низкий ресурс работы элементов различных конструкций связан, прежде всего, с процессами изнашивания поверхностных слоев. Например, в результате износа деталей цилиндро-поршневой группы автомобиля снижается мощность двигателя, возрастает расход горюче-смазочных материалов, а в отработанных газах значительно увеличивается содержание вредных элементов [1].

Повысить общий моторесурс двигателя позволяют теплозащитные покрытия на деталях цилиндро-поршневой группы ДВС [2]. Однако применяемые в настоящее время электролитические способы создания покрытий приводят к большому потреблению воды, ее загрязнению токсичными элементами в процессе нанесения покрытия и, как следствие, к необходимости проведения очищения сточных вод [3]. В этой связи перспективным выглядит применение сухих методов нанесения покрытий – газотермических, вакуумных и др. Из существующих методов газотермического нанесения покрытий газодетонационный обладает рядом преимуществ, и может быть применен для упрочнения и восстановления деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок, ударного воздействия, эрозионного и абразивного износа [4].

Перспективным способом создания материалов для нанесения покрытий является проведение реакций синтеза частиц упрочняющей фазы в матрицах [5–7]. Достоинства этой технологии состоят, во-первых, в преодолении проблемы введения ультрадисперсных и наноразмерных частиц упрочняющей фазы в матрицу, во-вторых, в возможности управления в определенных пределах реакцией синтеза этой фазы, а в-третьих, в получении однородной микроструктуры продукта реакции в целом [8].

Используя особенности реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в механоактивированных системах, возможен синтез интерметаллидов, нитридов, карбидов, боридов и других тугоплавких соединений и многофазных систем на их основе [9–14]. Наиболее широкое применение в различных отраслях машиностроения нашли порошки монокарбида титана. В связи с этим в работе исследовали условия проведения синтеза в механоактивированных системах Ti–C–Ni для детонационного напылении покрытий на прецизионные детали машиностроения, которые могут заменить гальваническое хромирование [15].

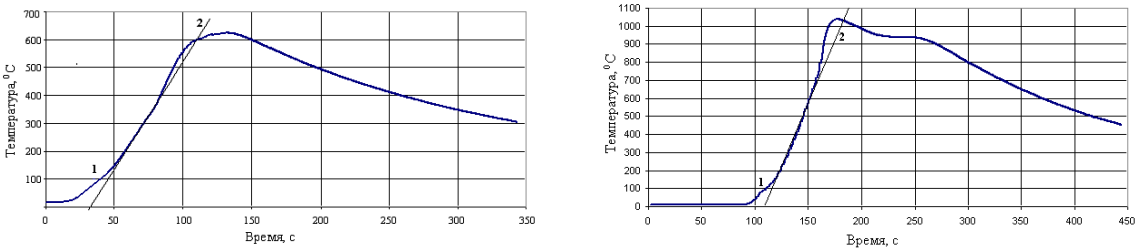
Для приготовления исходных порошковых смесей использовали порошки титана марки ПМТ и углерода марки ПМ-15. В качестве металлической связки (матрицы) применялся наплавочный по-

рошок на основе никель-хрома марки ПР-Н70Х17С4Р4-3. Исходный фракционный состав всех порошковых компонентов составлял 63-100 мкм. Механическую активацию порошков проводили в планетарной шаровой мельнице-активаторе АГО-2 с водяным охлаждением. После механоактивации порошковая смесь выгружалась из барабанов мельницы в боксе с аргоновой атмосферой [16]. СВС проводили на образцах насыпной плотности.

Для измерения температуры горения использовались вольфрам-рениевые термопары (ВАР-5/ВР-20). Реакционные смеси после механической активации и продукты СВС исследовались с помощью рентгенофазового анализа. Рентгенограммы снимались на дифрактометре ДРОН-6 с использованием Cu Kα излучения.

Механизмы фазообразования в системе Ti–C определяются взаимодействием расплава титана с частицами сажи или графита. В волне горения в процессе СВС в данной системе можно выделить четыре характерных зоны: прогрева, плавления и растекания, первичного структурообразования, вторичного структурообразования. Этап первичного структурообразования характеризуется либо образованием сплошного карбидного слоя на поверхности углеродных частиц, либо распадом карбидного слоя на отдельные карбидные частицы (диспергирование). В зоне вторичного структурообразования, происходит изменение размеров и состава первичных карбидных зерен. При синтезе монокарбида титана в режиме электротеплового взрыва интенсивное тепловыделение начинается сразу после плавления титана, а лимитирующей стадией является растворение углерода, однако, образовавшаяся до начала плавления титана карбидная пленка тормозит процесс растворения. Следовательно, скорость жидкофазной реакции будет зависеть от того, до какой глубины успело пройти твердофазное взаимодействие. Таким образом, существующие на сегодняшний день представления о механизмах фазообразования и структурообразования в системе Ti + C, так или иначе, основываются на необходимом присутствии жидкой фазы (расплав титана). Возможность твердофазного взаимодействия в данной системе не изучалась. Очевидно, что практический интерес может представлять возможность низкотемпературного (в отношении температуры воспламенения) твердофазного синтеза в указанной системе, при наличии пластичной матрицы. Можно предположить, что твердые частицы монокарбида, находящихся в пластичной матрице, возможно использовать для получения защитных покрытий нового качества. В настоящем исследовании изучается принципиальная возможность получения соединения TiC при реализации низкотемпературного твердофазного синтеза в никелевой матрице в режиме теплового взрыва.

На рисунке 1, а) приведена термограмма синтеза при подводимой мощности 600 Вт в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr.



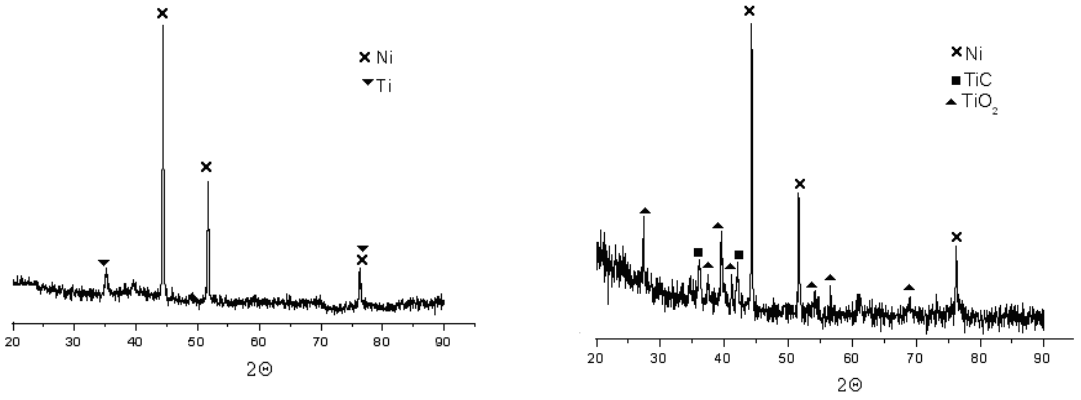
а) *б)*

Рис. 1. Термограмма синтеза в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr: а) при значении подводимой мощности нагрева 600 Вт; б) при значении подводимой мощности нагрева 1200 Вт

Из термограммы следует, что тепловой взрыв в динамических условиях не реализован. Система выходит на линейный темп нагрева, который определяется постоянным значением полезной мощности. При температуре 395 °С имело место незначительное превышение темпа нагрева над линейным, далее температура выравнивалась до значения, определяемое тепловым балансом между внешним источником мощности и теплоотводом. В точке максимума производилось отключение источника. При остывании плато или перегибов не наблюдается, следовательно, можно говорить об отсутствии процессов вторичного структурообразования.

На рисунке 2, а) приведена соответствующая дифрактограмма, снятая после СВ-синтеза. Пиков продуктов синтеза на дифрактограмме не обнаружено.

В следующем эксперименте осуществлялся прогрев смеси с более высоким значением подводимой мощности 1200 Вт. Из характера зависимости температуры от времени (рисунок 1, б) можно сделать вывод, что в процессе выхода системы на стационарное значение температуры, имел место незначительный саморазогрев системы до температуры 1050 °С, далее источник разогрева отключался. Можно констатировать, что динамический тепловой взрыв также не реализован. Однако по сравнению с предыдущим случаем, саморазогрев в системе (отклонение от линейного участка) выражен более явно. В процессе охлаждения на термограмме четко наблюдается участок вторичного структурообразования при температуре 950 °С, продолжительностью около 75 с.

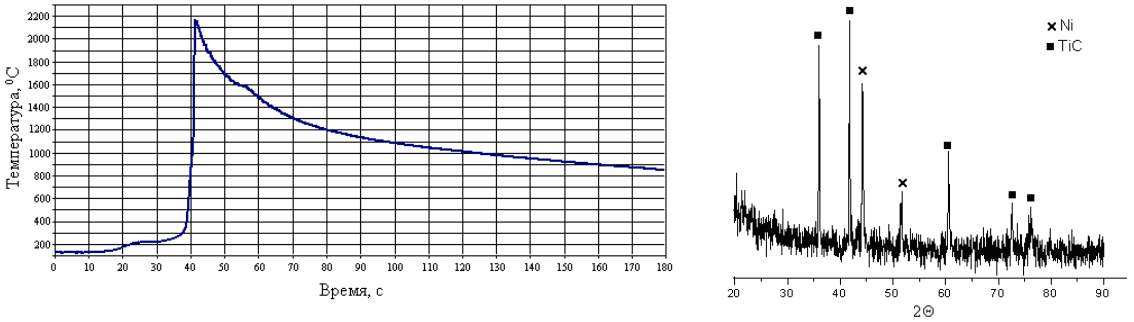


а) *б)*

Рис. 2. Дифрактограмма порошковой смеси в системе Ti + C + 30 мас.% NiCr после нагрева: а) при значении подводимой мощности 600 Вт; б) при значении подводимой мощности нагрева 1200 Вт

На рисунке 2, б) приведена соответствующая дифрактограмма. Из вида дифрактограммы следует, что в данном режиме начинает формироваться продукт синтеза. Об этом косвенно свидетельствует наличие участка вторичного структурообразования. Относительно длительное пребывание смеси при высоких температурах приводит к появлению оксидов титана.

Термограмма разогрева смеси при подводимой мощности 1400 Вт представлена на рисунке 3, а. В данном случае можно констатировать, что тепловой взрыв в условиях динамического нагрева реализован. Саморазогрев начинается со значения температуры 110 °С и заканчивается при достижении максимальной температуры 2100 °С. Точка перегиба на участке охлаждения термограммы соответствует температуре кристаллизации никеля 1455 °С. На рисунке 3, б) приведена дифрактограмма продукта.



а *б*

Рис. 3. Синтез в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr при значении подводимой мощности нагрева 1400 Вт: а) термограмма синтеза; б) дифрактограмма продукта синтеза

Подводя итог результатам, можно констатировать, что в системе Ti + C синтез в твердофазном режиме принципиально возможен даже при наличии инертной добавки порошка никеля при предваритель-

ной механоактивации трехкомпонентной смеси. В процессе синтеза, ведущей стадией процесса являлось образование монокарбида титана, соединений на основе Ti–Ni в системе не обнаружено. Разработанный способ позволяет получать порошковые нанокомпозиты для дальнейшего напыления покрытий [17, 18].

Список литературы

1. Гаркунов Д.Н., Балабанов В.И. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 18–22.
2. Robert B.H. Plasma-Spray Coating. Principles and Applications. Weinheim; New York; Basel; Cambrige; Tokyo: VCH. 1996. 339 p.
3. Андреев А.А., Картамазов Г.Н., Кунченко В.В. Покрытия для поршневых колец // Тяжелое машиностроение. 2000. № 2. С. 9.
4. Собачкин А.В., Попова А.А., Назаров И.В. Структура и свойства газодетонационных покрытий различного функционального назначения на основе порошков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 16–22.
5. Leong C.C., Lu L., H.Fuh J.Y., Wong Y.S. In-situ formation of copper matrix composites by laser sintering // Mater. Sci. Eng. A. 2002. Vol. 338. P. 81–88.
6. Travitzky N., Kuraar P., Sandhage K.H., Janssen R., Claussen N. In-situ synthesis of Al2O3 reinforced Ni-based composites // Adv. Eng. Mater. 2003. V. 5. № 4. P. 256–259.
7. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении 2012. № 9. С. 17–22.
8. Tu J.P., Wang N.Y., Yang Y.Z., Qi W.X., Liu F., Zhang X.B., Lu H.M., Liu M.S. Preparation and properties of TiB2 nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing // Mater. Lett. 2002. V. 52. P. 448–452.
9. Питюлин А. Н. Силовое компактирование в СВС-процессах // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. Черноголовка : Изд-во «Территория», 2001. С. 333–353.
10. Fu Z.Y., Wang H., Wang W.M., Yuan R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. 2003. V. 137. P. 30–34.
11. Gotman I., Koczak M.J., Shtessel E. Fabrication of Al matrix in situ composites via self-propagating synthesis // J. Mater. Sci. Eng. A. 1994. Vol. 187. P. 189–199.
12. Xu Q., Zhaug X., Han J., He X., Kvanin V.L. Combustion synthesis and densification of titanium diboride-copper matrix cornposite // Materials Letters. 2003. V. 57. P. 4439–4444.
13. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after γ irradiation in small doses // The Physics of Metals and Metallography. 2017. T. 118. № 2. P. 170–175.
14. Zhang X., He X., Han J., Qu W., Kvanin V.L. Combustion synthesis and densification of large-scale TiC-xNi cermets // Materials Letters. 2002. V. 56. P. 183–187.
15. Sndarshan T.S. Tools for engineered surfaces // Surface Engineering. 1998. V. 14. N 6. P. 449–450.
16. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов TI+AL после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.
17. Sobachkin A.V., Sitnikov A.A., Sviridov A.P. Evaluation of wear resistance of products on the basis of mechanically activated materials // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 698. C. 374.
18. Собачкин А.В., Яковлев В.И., Ситников А.А., Логинова М.В., Иванов С.Г., Свиридов А.П. Особенности формирования покрытий из алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала при газодетонационном напылении // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т. 12. № 4. С. 444–449.

СВЯЗЬ СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ СТРУКТУР, ФОРМИРУЕМЫХ НА КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

В. П. Нестеренко, к.т.н., доц., А. А. Ласуков, к.т.н., доц., О. Ю. Ретюнский, к.т.н., доц.
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, г.Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451) 77761
E-mail: lasukow@rambler.ru

Исследовали влияние степени кислотности оксидных структур, образующихся на контактных поверхностях твердосплавных режущих инструментов группы применяемости Р на их износостойкость при резании материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ. Было установлено, что с умень-

шением степени кислотности поверхностной пленочной оксидной массы, формируемой на контактных поверхностях режущего клина, износостойкость режущих инструментов приобретает тенденцию к росту.

Investigated the effect of the degree of acidity oxide structures formed in the contact zones of instrumental and processed materials on the wear resistance of carbide cutting tools, group applicability P, in the processing of materials, causing intense adhesive wear. It was found that with increasing degree of acidity formed in the contact zones oxide weight increases the wear resistance of cutting tools.

Для изготовления деталей и узлов различных машин широко применяется класс конструкционных сталей, подвергающихся обработке твердосплавными режущими инструментами группы применяемости Р. Высокая исходная надежность данных инструментов может гарантировать установленные стандарты качества создаваемой продукции и её конкурентоспособность. Вследствие этого эффективное использование и точное прогнозирование работоспособности режущих инструментов при их непосредственном использовании имеет большое значение.

Величина износостойкости режущих инструментов, а также её разброс в значительной степени зависит от свойств, формируемых на их контактных поверхностях оксидных пленочных структур. Тонкие оксидные пленки, образующиеся на контактных поверхностях режущего клина, оказывают большое влияние на рабочие характеристики режущих инструментов – износостойкость, прочность, общую надежность. Они снижают интенсивность диффузионных процессов в зонах контакта и экранируют твердофазные реакции с обрабатываемым материалом. Было установлено, что на интенсивность твердофазного химического взаимодействия поверхностей инструментального и обрабатываемого материалов большое влияние оказывают кислотно–основные характеристики оксидных структур, формирующихся в зонах их контакта. При уменьшении степени кислотности поверхностных оксидных структур износостойкость режущих инструментов при обработке ими материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ, приобретает тенденцию к росту. К обрабатываемым материалам, вызывающим ускоренное диффузионное (химическое) разрушение режущего клина, относятся стали ферритного, перлитного, ледебуритного и мартенситного классов. Данные группы сталей подвергаются обработке, как правило, твердосплавными режущими инструментами группы применяемости – Р [1]. Одновременно с повышением износостойкости при снижении степени кислотности поверхностной оксидной структуры, формируемой на контактных поверхностях твердосплавных режущих инструментов, происходит также и снижение коэффициента вариации данной рабочей характеристики.

Исследование износостойкости твердосплавных режущих пластин группы применяемости Р осуществляли на токарно-винторезном станке. В качестве обрабатываемого материала использовалась сталь 50Х, вызывающая интенсивный диффузионный износ. Режущим инструментом служили твердосплавные пластины промышленной марки Т15К6, относящиеся к вышеуказанной группе. Скорость резания заготовки, продольная подача и глубина резания при испытаниях устанавливались, соответственно, 190 м/мин, 0,21 мм/об., 1,5 мм. Износостойкость оценивалась в минутах времени работы режущего инструмента до установленного критерия потери режущих свойств. За критерий потери режущих свойств, принимался износ по задней поверхности режущего клина, равный 0,8 мм.

После испытания твердосплавные режущие пластины очищали в специальном растворе, а затем, после сушки, подвергали окислению в электрической печи с открытым доступом в зону нагрева атмосферного воздуха. Температура окисления режущих пластин в печи примерно соответствовала температуре, действующей в зоне контакта инструментального и обрабатываемого материалов, и равнялась 1050^0С. После завершения операции окисления, остывания и извлечения образцов из печи с их поверхностей снимали оксидные образования и подвергали измельчению. Затем у полученной измельченной порошковой оксидной массы измеряли комплексный показатель силы и концентрации кислотно-основных активных центров – pH. Измерения проводили на универсальном иономере мод. ЭВ-74. Для этого брали навеску приготовленной порошковой оксидной структуры массой 0,4-0,5 г и помещали в потенциометрическую ячейку с дистиллированной водой объемом 25 мл. Её pH равнялась 6,9-7,0 ед. Потенциометрическая ячейка оснащалась магнитной мешалкой. В ячейке располагались также электроды: хлорид-серебряный ЭВЛ-1М3 и стеклянный ЭСЛ-43-07. Иономер соединялся с компьютером, а непрерывно регистрируемые в ячейке данные электродвижущей силы выводились на дисплей. В итоге при измерении получали зависимость pH раствора в ячейке от времени начала адсорбции электродом протонов, образующихся в результате диссоциации молекул воды на протоны и гидроксильные группы. Разложение воды происходит на поверхности исследуемой оксидной порошковой массы, инициируется данной структурой и определяется ее свойствами. На основании полученных данных по износостойкости режущих пластин и значений степени кислотности оксидной массы, формируемой

при нагревании на их контактных поверхностях, строилась зависимость: износостойкость режущих пластин – степень кислотности поверхностной оксидной массы.

В результате исследований было установлено, что между износостойкостью твердосплавных режущих инструментов группы применяемости Р и комплексным показателем кислотно-основных свойств их оксидных поверхностных структур – pH, формируемых при нагревании, существует довольно тесная корреляционная связь.

На рис. 1 представлена зависимость изменения износостойкости режущих пластин из твердого сплава Т15К6 от комплексного показателя кислотно-основных свойств оксидной массы, сформированной на их поверхности в процессе высокотемпературного нагревания в электрической печи. Как следует из графика, с понижением степени кислотности (повышения основности) поверхностной оксидной массы наблюдается устойчивая тенденция к повышению износостойкости режущих инструментов.

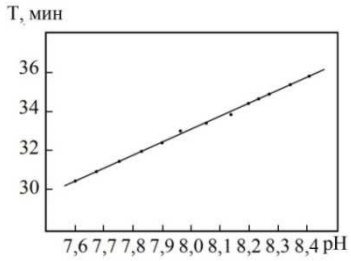


Рис. 1. Изменение износостойкости режущих пластин из твердого сплава Т15К6 при резании стали 50Х в зависимости от степени кислотности оксидной структуры, формируемой на контактных поверхностях режущего инструмента.

Степень кислотности оксидной массы, образующейся на твердосплавной поверхности, определяется силой и концентрацией формируемых на ней активных центров. С увеличением силы и концентрации основных центров на поверхности и, соответственно, снижения силы и концентрации кислотных центров комплексный показатель кислотно-основных свойств pH возрастает.

Итоговая степень кислотности, характеризующая поверхностную оксидную структуру, образующуюся при нагревании твердосплавных режущих пластин в электрической печи и, соответственно, в процессе резания сталей, определяется многими факторами.

Считается, что твердой кислотой является оксидное образование способное отдавать протон или принимать электронную пару, а твердым основанием считается оксидное образование способное принимать протон и отдавать электроны [2]. В процессе окисления контактных поверхностей формируемая оксидная масса в зависимости от ряда факторов может приобретать ту или иную тенденцию к проявлению донорно-акцепторных характеристик.

К основным факторам относятся следующие: исходный химический состав карбидных зерен и кобальтовой прослойки, характер синтеза карбидных зерен, температура и продолжительность спекания композиции, среда, в которой производится спекание, итоговая степень химического взаимодействия между металлом и углеродом в карбидной структуре, напряженно–деформированное состояние на границе раздела карбидных зерен и кобальтовой прослойки, наличие структурных дефектов у данных компонентов твердых сплавов, другие условия, оказывающие влияние на формирование поверхностных оксидных формирований и т.д. Отмеченные факторы условий и состава, в которых получают твердосплавные материалы, в значительной степени оказывают влияние на свойства образующихся поверхностных оксидных структур, степень их кислотности и, в итоге, на контактные процессы между инструментальным и обрабатываемым материалами и на износостойкость.

На образование поверхностного ландшафта с преимущественным наличием кислотных или основных свойств оказывает влияние также характер сорбционных процессов между контактными поверхностями и окружающей газовой средой. Это отражается в последовательности и интенсивности окисления карбидных зерен и кобальтовой прослойки.

Образующаяся система кислотно-основных центров, в свою очередь, непрерывно в процессе окисления и износа контактных поверхностей определяет дальнейшее развитие характера сорбционных процессов и формирование некоторых специфических свойств поверхности.

Следствием процессов адсорбции газовых атомов и молекул, появления зародышевых островков и непосредственно окисления является образование на формируемой оксидной поверхности так называемых кислотных или основных активных центров Льюиса и Бренстеда.

Кислотные центры Льюиса в этом случае представляют собой встроенные в оксидную поверхность режущего инструмента катионы металла, обладающие различной степенью ионизации. Кислотными центрами Бренстеда на окисленной твердосплавной поверхности являются адсорбированные гидроксильные группы. Сила кислотных центров Льюиса возрастает с увеличением степени ионизации катиона. Кислотность центров Бренстеда возрастает в том случае, когда энергия между кислородом и водородом в гидроксильной группе снижается, а между кислородом и металлическим катионом, принадлежащим оксидной поверхностной структуре, возрастает.

В процессе резания на контактных поверхностях твердосплавного режущего инструмента формируются структуры, состоящие из пленок оксидов вольфрама, титана и кобальта. Сила и концентрация активных центров на окисленных поверхностях этих компонентов различны. При увеличении температуры эксплуатации режущих инструментов указанные оксиды образуют между собой разнообразные по составу и свойствам твердые растворы. При этом существенно изменяются кислотно-основные свойства и соответственно донорно-акцепторные характеристики контактных поверхностей. Последние вызывают адсорбционные явления и окончательно устанавливают в поверхностной оксидной структуре кислотно-основной баланс.

Оксиды вольфрама и титана относятся преимущественно к группе твердых кислот, а оксид кобальта к твердым основаниям [2]. Интенсивность образования активных центров на поверхности данных оксидов в зависимости от действующей в зонах контакта температуры является неодинаковой. Это объясняется тем, что с ростом температуры растворимость оксида вольфрама в оксиде титана возрастает. Одновременно возрастает растворимость титана и вольфрама в кобальте. При этом также возникает вероятность формирования твердых растворов, для которых растворителем становится оксид вольфрама.

Непрерывно образующиеся комбинации твердых растворов оксидов приводят к постоянному изменению силы и преимущественной дислокации кислотно-основных участков.

Кислотно-основные свойства поверхности в первую очередь характеризуют их донорно-акцепторную активность по отношению к газовым элементам окружающей атмосферы и те свойства, которые образуются в результате химических реакций непосредственно в зонах контакта. При снижении силы и концентрации кислотных центров на оксидных поверхностях твердосплавных режущих инструментов диффузионные процессы, а, следовательно, и твердофазные химические реакции с обрабатываемым материалом замедляются.

Низкая концентрация поверхностных кислотных центров полностью нейтрализуется за счет адсорбции внутренней и внешней восстановительной газовой атмосферы. Интегральная сила высокой концентрации кислотных центров не полностью нейтрализуется за счет адсорбции основных ионов и молекул газовой среды. Это способствует интенсификации твердофазных реакций инструментального материала с обрабатываемым.

Следствием последнего является то, что общая продолжительность безаварийного функционирования режущих инструментов при обработке ими материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ, снижается. Данное утверждение относится прежде всего к твердосплавным режущим инструментам группы применяемости Р, так как именно они применяются для высокоскоростной обработки углеродистых сталей и могут выдерживать высокие температуры, возникающие в зонах контакта.

Так как состав и напряженно-деформированное состояние отдельных карбидных зерен и кобальтовой связки твердосплавной композиции является достаточно неоднородным, то фазовые превращения в структурах окисляемых компонентов могут наступать через различное время и при разной температуре нагревания. Вследствие этого в образующейся оксидной массе при окислении твердых сплавов всегда будет присутствовать некоторое концентрационное соотношение между основными и кислотными центрами, которые, в общем, будут определять результирующую степень кислотности поверхностной структуры и её адсорбционную активность по отношению к окислительной или восстанавливающей атмосфере.

Большое влияние на формирование активных кислотных или основных центров у образующихся оксидных структур оказывает характер присутствия в составе карбидных соединений углеродной компоненты. Углерод в составе твердосплавной композиции может находиться и в связанном и в свободном состоянии. Соотношение между связанным и свободным углеродом непосредствен-

ным образом оказывает влияние на процессы окисления твердых сплавов и, соответственно, на итоговое проявление оксидами основных или кислотных свойств.

Свободный углерод, как правило, располагается в поверхностной области карбидных зерен. По направлению к центру карбидного зерна взаимодействие между атомами углерода с одной стороны и атомами вольфрама или титана с другой усиливаются. В данном случае стехиометрия карбидного соединения постепенно снижается. Однако, характер снижения стехиометрии может быть различным.

Интенсивность окисления твердосплавных поверхностей повышается с увеличением температуры в зоне трения и доступа кислорода в межконтактное пространство. Карбидные зерна с низкой стехиометрией подвергаются окислению при более низкой температуре резания и при более слабом доступе атмосферной среды в зону контакта. Вследствие этого высокая концентрация кислотных центров в поверхностной оксидной структуре формируется на более ранней стадии эксплуатации режущих инструментов. При высокой стехиометрии карбидных зерен процесс окисления контактных поверхностей режущих инструментов замедляется.

С ростом температуры эксплуатации твердосплавных режущих инструментов процесс окисления карбидов в композиционном материале начинает усиливаться. Образующаяся окись углерода взаимодействует с кислородом гидроксильных групп и адсорбируется в свою очередь на оксидной поверхности, принадлежащей твердосплавной основе. Вследствие этого на поверхности могут формироваться различные виды карбонатно-карбоксилатных групп. Физико-механические характеристики последних определяются состоянием и свойствами поверхностного кислорода, формой его адсорбции. Наиболее реакционноспособным кислородом, участвующим в образовании поверхностных карбонатных соединений является тот, который образует наиболее прочную связь с наименее связанным атомом металла в карбидном соединении [3].

Процесс образования карбонатно-карбоксилатных соединений усиливается с ростом в твердосплавной композиции свободного и слабосвязанного углерода. С увеличением интенсивности образования окиси углерода процесс образования поверхностных карбонатно-карбоксилатных групп смещается в сторону более низких температур, возникающих в зонах контакта.

Карбонатно-карбоксилатные поверхностные соединения относятся к твердым кислотам с различной степенью кислотности. Их увеличение в поверхностной структуре приводит к росту её общей кислотности. Участвуя в катализе твердофазных реакций, происходящих в зоне контакта, они ускоряют разрушение поверхности твердосплавного режущего инструмента.

Свободный углерод в твердосплавной композиции стабилизирует образующуюся анатазную модификацию оксида титана. С уменьшением концентрации свободного углерода анатазная модификация переходит в рутиловую. Кислотность рутила при высоких температурах ниже кислотности анатаза, а поверхностная пленочная структура, состоящая из рутила, значительно лучше экранирует твердофазное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов.

В соответствии с этим, с уменьшением в составе твердосплавной композиции свободного углерода кислотные свойства, образующейся при высокотемпературном нагревании твердых сплавов оксидной массы, понижаются. На соотношение свободного и связанного углерода в составе твердых сплавов оказывает влияние как исходные концентрации углеродной и металлических компонент, так и кинетические особенности процесса карбидизации порошков вольфрама и титана [4].

На интенсивность окисления углерода в составе карбидного зерна большое влияние оказывает водород, адсорбированный структурой при спекании компонентов, а также примеси, входящие в состав компонентов твердого сплава.

Образующаяся в процессе окисления композита окись углерода может участвовать в восстановительных процессах наряду с имеющейся в твердосплавной структуре примесью водорода. Внутреннюю восстановительную атмосферу могут составлять и углеводородные соединения, возникающие в зонах контакта инструментального и обрабатываемого материалов при взаимодействии водорода с газовыми соединениями, образующимися при температурной деградации карбидных соединений.

При некоторой температуре резания на контактных поверхностях начинают развиваться процессы испарения и сублимации оксидов. Это приводит к разрушению поверхностных оксидных соединений и кислотно-основной структуры. Это приводит к усилению твердофазных реакций и снижению износостойкости режущих инструментов [5].

Достижение наименьшей кислотности у пленочных оксидных образований достигается с одной стороны за счет снижения интенсивности формирования на их поверхности активных кислотных

центров. С другой стороны достижение низкой кислотности происходит за счет эффективной адсорбции кислотными центрами атомов и молекул восстановительной газовой атмосферы.

При разрушении поверхностной оксидной структуры, за счет испарения и сублимации, адсорбция окислительной газовой среды начинает преобладать над адсорбцией восстановительной среды. В этом случае пленочные поверхностные оксидные структуры перестают выполнять роль защитного барьера от диффузионных процессов.

При резании сталей оксидные соединения, как правило, размещаются на контактных поверхностях как сплошным образом (в виде тонких пленок), так и избирательно (в микро- и макрополостях поверхностных дефектов твердосплавной структуры, образующихся и видоизменяющихся в процессе износа режущих инструментов). В зависимости от тепловой напряженности, возникающей на контактных поверхностях, переход от одной формы размещения к другой может происходить с различной периодичностью и интенсивностью. С изменением формы размещения изменяются также и степень кислотности оксидных структур. Оксидные соединения в микрополостях имеют более высокую стехиометрию и, соответственно, более низкую кислотность.

Было установлено, что поверхностные оксидные структуры, сформированные при нагревании твердосплавных режущих пластин в электрической печи при одинаковой температуре равной 1050 ^{0}С, имеют различные значения комплексного показателя степени кислотности pH.

Наиболее высокие показатели по износостойкости получены у твердосплавных режущих пластин, на контактных поверхностях которых формируются оксидные структуры с наиболее низкой кислотностью. Это можно связать с тем, что свойства таких оксидных структур обеспечивают наиболее успешное экранирование диффузионных процессов в межконтактной зоне и, таким образом, предотвращают начало или замедляют развитие уже происходящих твердофазных реакций между инструментальным и обрабатываемым материалами.

Как показали исследования, скорость и степень окисления карбидных зерен вольфрама, титана и кобальтовой связки в твердосплавной композиции увеличивается с ростом исходной дефектности их структуры. Дефектность компонентов твердого сплава, в свою очередь, возрастает с увеличением времени размола порошков, а также при увеличении температуры спекания твердосплавных формовок [6].

Увеличение степени окисления компонентов инструментального материала приводит к снижению энергии связи тонкой оксидной пленки с твердосплавной поверхностью и увеличению энергии связи между отдельными элементами оксидного формирования. Причем, можно предположить, что доля ионной связи в формируемых в этих условия оксидах снижается, а ковалентной возрастает. Вместе с тем ионная связь между элементами тонкой оксидной пленки предполагает наличие свойств у структуры, обеспечивающих её более эффективную реконструкцию после различных видов разрушения [7].

С изменением степени кислотности оксидной массы, формирующейся на контактных поверхностях, и, соответственно, её свойств, изменяется и характер взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Изменяется средний коэффициент трения и контактные напряжения. Уровень твердофазных взаимодействий контактных поверхностей режущего инструмента, имеющего оксидный ландшафт с низкой степенью кислотности, с оксидным ландшафтом контактных поверхностей обрабатываемого материала становится достаточно низким. Это исключает диффузионные процессы в зонах контакта и возможные химические реакции между инструментальным и обрабатываемым материалами. Указанные явления становятся возможными вследствие того, что на контактных поверхностях обрабатываемых, инструментами группы применяемости Р, материалов - углеродистых и легированных углеродистых сталей, формируются, преимущественно, оксидные пленки с достаточно низкими степенями кислотности (высокой степенью основности). Данный факт подтверждается, в том числе, и определением степени кислотности оксидной массы, полученной, при нагревании стальных образцов из указанного класса обрабатываемых материалов в электрической печи с открытым доступом атмосферного воздуха. Низкую степень интегральной кислотности поверхностным оксидам обрабатываемых материалов создают в данном случае примеси оксидов кремния, кальция, магния, алюминия, входящими в состав ферросплавов.

С уменьшением степени кислотности поверхностных пленочных оксидов, принадлежащих контактным поверхностям режущих инструментов, снижается их реакционная активность по отношению к оксидной структуре, формируемой на контактных поверхностях обрабатываемого материала.

Снижение прочности химической связи между кислородом и водородом у адсорбируемых оксидных пленок гидроксильных групп и повышение прочности связи между металлическим катионом, принадлежащим оксидной поверхности и кислородом, способствует повышению плотности и прочности поверхностной оксидной структуры. Это одновременно приводит к повышению теплопроводности поверхностной оксидной массы и снижению теплонапряженности в межконтактном пространстве [8]. Вследствие этого тепло, генерируемое зонами контакта, в большей мере подвергается рассеиванию. В этом случае обеспечивается высокая механическая надежность поверхностных оксидных структур, а развитие диффузионных процессов интенсифицируется при более высоких температурах.

Наименее интенсивно подвергаются твердофазным реакциям контактные поверхности инструментального и обрабатываемого материалов, имеющие оксидные структуры с одинаковыми кислотно-основными характеристиками. С уменьшением различия в типе, концентрации и силе активных центров взаимодействие оксидных структур снижается, а эффективность подобного контакта, как экрана против диффузионных процессов на границе фаз, возрастает.

Процесс образования поверхностных диссипативных структур происходит в результате взаимного растворения оксидов. Степень кислотности у оксида вольфрама выше, чем у оксида титана и кобальта. С ростом степени растворения оксида вольфрама в оксиде титана и повышения их общей растворимости в оксиде кобальта степень итоговой кислотности снижается. Вследствие этого экранирующая способность оксидной пленки, направленная против диффузионных процессов, развивающихся в зонах контакта, возрастает, а износостойкость режущих инструментов, приобретает тенденцию к росту.

Состояние с сильно повышенной или сильно пониженной концентрацией основных или кислотных активных центров в структуре поверхностной оксидной структуры возникает из-за неравномерного распределения в композиции отдельных оксидных образований и их соединений.

Если в области расположения сильного основного центра локализуется некоторое количество сильных кислотных центров, то общая концентрация и сила основных активных центров снижается. Это приводит к повышению интенсивности взаимодействия оксидных структур контактных поверхностей режущего и обрабатываемого материалов. Следствием является разрушение оксидных пленок за счет интенсификации локальных диффузионных процессов в зонах контакта, развитие в данной зоне твердофазных реакций, повышение износа и снижение основных эксплуатационных характеристик твердосплавного режущего инструмента группы применяемости Р. Подобное происходит при расположении в окрестности сильного кислотного центра оксидной поверхности некоторого количества сильных основных центров. Процесс равномерного регулирования концентрации активных центров в поверхностной оксидной структуре можно осуществлять, прежде всего, за счет легирования компонентов состава твердых сплавов теми или иными элементами, снижающими параметры различных видов ликвации [9].

Общая износостойкость твердосплавных режущих инструментов группы применяемости Р при обработке материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ зависит как от физико-химических характеристик компонентов твердосплавной композиции, так и от свойств диссипативных пленочных структур, формирующихся на рабочих поверхностях в зонах контакта и от их кислотно-основных характеристик.

Степень кислотности у оксидных образцов, полученных из твердосплавных режущих пластин промышленной марки Т15К6, подчиняется нормальному закону распределения. Как было установлено, закон распределения степени кислотности у оксидных структур, образующихся на режущих пластинах, соответствуют закону распределения износостойкости для режущих инструментов. Снижение разброса степени кислотности у оксидной массы приводит также и к снижению разброса износостойкости режущих инструментов при резании ими материалов, вызывающих интенсивный диффузионный износ и, в частности, углеродистой стали.

Из представленного можно сделать вывод, что с уменьшением степени кислотности поверхностной оксидной пленочной структуры у твердосплавных режущих инструментов происходит снижение вероятности твердофазных взаимодействий в зонах контакта инструментального и обрабатываемого материалов. В итоге износостойкость твердосплавного режущего инструмента приобретает тенденцию к стабилизации и росту.

Проведенные исследования по данному вопросу могут способствовать более целенаправленному подходу к решению вопроса об упрочнении режущих инструментов. Основными направлениями из которых в данное время являются нанесение износостойких покрытий методами физического и химического осаждения вещества из газовой фазы, ионная имплантация химических элементов в поверхностную структуру режущих инструментов, обработка поверхностей высокоэнергетическими ионными и электронными пучками и т.д. Связь между силой и степенью кислотности поверхностных оксидных структур и износостойкостью режущих инструментов можно также использовать для прогнозирования времени их общего рабочего функционирования.

Список литературы

1. ГОСТ 3882 – 74 (с дополнениями).
2. К. Танабе Твердые кислоты и основания. – М.: Мир, 1973. – 183 с.
3. Третьяков В. И. Металлокерамические твердые сплавы. – М.: Металлургия, 1962. – 592 с.
4. Кислотно-основные свойства поверхности фторидов щелочноземельных металлов и магния. Е. П. Мещеряков, А. В. Рудаков, Т. П. Огнева, Т. С. Минакова // Журнал прикладной химии. Т. 68. Вып. 6. 1995. с. 908-913.
5. Казенас Е. К., Чижиков Д. М. Давление и состав пара над окислами химических элементов. – М.: Наука, 1976. – 342 с.
6. Дефекты структуры на поверхности твердых сплавов и их влияние на износостойкость. В. П. Нестеренко, А. С. Сурков, Ю. И. Галанов, К. П. Арефьев. // Материаловедение. №1 (130), 2008. С. 49-56.
7. Кафстад П. Высокотемпературное окисление металлов. – М.: Мир, 1969. – 392 с.
8. Бигеев А. М. Металлургия стали. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 480 с.
9. Парфенович И. А. Электронные центры окраски в ионных кристаллах. – Иркутск, 1977. – 208с.

СВЯЗУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Д.В. Халтурина, студент, Д.Е. Бушуев, студент, А.П. Родзевич, к.ф.-м.н.
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26 тел. 8(38451)77761
E-mail: nimez@tpu.ru

В данной статье был проведен сравнительный анализ связующих компонентов, необходимых в создании оболочковых форм для литейной металлургии. Приведены их основные характеристики.

Современная социальная и экономическая обстановка в Российской Федерации и во всем мире содействует в развитии значительного сектора литейного производства, поставляющего заготовки сложных форм как для различного оборудования, так и художественных и декоративных изделий. Это находит свое место в технике, оформлении жилых и административных зданий и различных сооружений, реставрация памятников культуры и многом другом, и всё это требует возрастающего объема высококачественных и точнолитых изделий из различных сплавов.

В настоящее время прослеживается тенденция развития литейного производства в направлении увеличения объемов и скорости литья, производимыми особыми способами, благодаря которым достигаются результаты в точности и качестве отливок, снижение затрат на механическую обработку изделий.

В значительной степени шероховатость поверхности, геометрическая точность отливок, а также качество изготавливаемых изделий зависят от качества керамической формы. Основные свойства в частности технологические и физико-механические свойства формы, зависят от связующих и технологий его приготовления.

Одним из наиболее распространённых связующих в России являются этилсиликаты. Однако ЭТС – это один из наиболее дорогостоящих материалов, из используемых. Его применение с целью изготовления керамических форм потребует использования органических растворителей – аммиака, что образовывает взрыво- и пожароопасную ситуацию и не благоприятные условия на производстве [3].

Одной из актуальных задач в литейном производстве является поиск альтернативных видов связующего при литье по выплавляемым моделям. Сравнительная характеристика связующих материалов представлена в таблице 1 [4].

Таблица 1

Характеристика связующих материалов

Связующее	Бескремнеземное	Кремнезоли	Этилсиликатное
1	2	3	4
Оксид после термообработки	Al_2O_3	SiO_2	SiO_2
Готовность связующего к использованию	Готовое связующее	Готовое связующее	Требует проведения процесса гидролиза
Огнеупорность керамической формы, °С	2000	1500	1500
Кинематическая вязкость, сСт	2-3	8-9	2-6
Стойкость формы к действию сплавов	Химическая инертность к жаропрочным и титановым сплавам	Взаимодействует с компонентами жаропрочного и титанового сплава с образованием трудноудаляемого пригара	
Живучесть связующего в закрытой емкости, сут	Не ограничена	Не ограничена	10-30
Живучесть суспензии в закрытой емкости, сут	Не ограничена	Не ограничена	1-5
Условия сушки слоев керамической формы	Камера с повышенной влажностью	Длительная сушка на воздухе	Вакуумно-аммиачная камера

На основании таблицы 1, из основных видов связующих можно выделить кремнезоли, так как они во-первых являются экологически безопасными по сравнению с этилсиликатами, а во-вторых подходят под те задачи, которые стоят перед нами.

Кремнезоль – это коллоидный раствор кремнезема, высокодисперсный SiO2(5-15нм), стабилизированный в воде с соединениями щелочных металлов. Содержание SiO2 15-50 %; плотность 1088-1202 кг/м3; pH при 20 оС 9,5-10,6; удельная поверхность частиц SiO2 75-325 м2/г. Коллоидный раствор кремнезема – готовое связующее, применяемое для литейных красок и форм в литье по выплавляемы моделям.

Отечественными марками коллоидных растворов кремнезема, удовлетворяющими требуемым характеристикам является Армосил и его разновидности.

«АРМОСИЛ» – универсальное связующее как для литья деталей общего машиностроения, так и для производства лопаток турбин авиадвигателей с возможностью нанесения лицевого и последующих слоев. Формы на его основе характеризуются повышенной прочностью, обеспечивают более высокий класс чистоты поверхности, устойчивы к водной вытопке. Физико-химические показатели «Армосил» представлены в таблице 2 [1].

Таблица 2

Физико-химические показатели «Армосил»

№	Показатель	Значение
1	pH, ед. pH	9,5-10,5
2	Кинематическая вязкость, сСт, не более	10
3	Краевой угол смачивания, не более, град.	45

В таблице 3 представлены зарубежные аналоги наиболее популярных марок связующих[1,2].

Таблица 3

Характеристика зарубежных марок связующих

Марка связующего	Характеристика
1	2
СИТОН	(английское Syton) фирменное название марок коллоидного раствора кремнезема, выпускаемых английской фирмой «Монсанто» («Monsanto»). Марки Ситона: W15, W30, W50, T15, T30,X30, D30, где буквами обозначена крупность частиц: W – крупные частицы с удельной поверхностью 75 м2/г; D – очень мелкие частицы с удельной поверхностью 325 м2/г; цифрами – содержание SiO2,%.Ситон применяют в литейном производстве в качестве связующего материала.
ЛЮДЕКС-SKF	(английское Ludex) – фирменное название марок коллоидного раствора кремнезема, выпускаемых фирмой «Du Pont de Nemour and Co.», США. Людекс содержит (в зависимости от марки), %: до 0,14; 8-11; удельная поверхность частиц 130-360 м2/г. Людекс применяют в литейном производстве в качестве связующего материала
СИЗОЛЬ	[от силициум – кремний и золь] – марка коллоидного раствора кремнезема, производимого в ПНР. Сизоль содержит, %: SiO2 30; Na2O 0,25; H2O остальное. Плотность 1200 кг/м3; pH 9,6; вязкость9Мпа*с. Сизоль используют в качестве связующего при изготовлении форм по Фло-золь-процессу.

В таблице 4 представлена стоимость вышеперечисленных марок связующих.

Таблица 4

Цена связующих

Связующее	Цена
Армосил	от 45 до 60 руб/кг
Людекс-SKF	2959.41 руб/л
Сизоль	8139.74 руб/л
Ситон	15260.91 руб/л

Рассмотрев различные связующие для литья по выплавляемым моделям, представленные выше, можно сделать вывод о том, что связующие компоненты Российского производства более предпочтительны, в первую очередь по ценовой политике, доступности, возможности проводить дополнительные исследования с целью удешевления процесса, а так же и подбора состава компонентов для создания литейных форм, в том числе и из материалов являющихся отходами производства.

Список литературы

1. Патент РФ №2446910, МПК B22C 1/18. Связующее для изготовления оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям / А.С. Максютин, Н.А. Зотов, Н.С. Петелькина. – №2010154014; заявл. 28.12.2010; опубл. 10.04.2012.
2. М. С. Варфоломеев*, В. С. Моисеев*, Г. И. Щербакова, П. А. Стороженко, В. В. Шатунов. Высокоогнеупорные корундовые формы на основе бескремнеземного связующего // неорганические материалы, 2015, том 51, № 1, с. 86-92
3. Мартынов Константин Викторович. Керамические формы на кремнезольном связующем для литья по выплавляемым моделям : Дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 СПб., 2005 184 с. РГБ ОД, 61:06-5/1332
4. Водный раствор кремнезоля как альтернатива этилсиликату в ЛВМ / В. О. Емельянов [и др.] // Литейное производство. – 2012. – № 3. – С. 30-31

СОЗДАНИЕ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

М.Г. Криницын, м.н.с, Р.О. Черепанов, к.ф.-м.н., н.с., В.А. Юркина, инженер
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-60-60-06
E-mail: krinmax@gmail.com

В настоящей работе приведено исследование композиционных филаментов "ABS - углеволокно" с содержанием углеволокна до 10 вес.%. Исследована макроструктура полученных филаментов, в частности наибольшее внимание уделено исследованию ориентирования волокон в объеме филамента. Описаны технологические особенности процесса получения композиционного филамента, приведена наиболее оптимальная схема получения филамента, в том числе описана оптимальная технология подготовки углеволокна для введения в композит.

In the present work, a study of composite filaments "ABS-carbon fiber" with a carbon fiber content of up to 10% by weight is made. The macrostructure of the filaments is studied, in particular, the greatest attention is paid to the study of fiber orientation in the filament volume. Technological features of the process of composite filament preparation are described, the most optimal scheme of filament production is given, besides the optimal technology of carbon fiber preparation for introduction into the composite is described.

Активное развитие аддитивных технологий началось в начале XXI века, однако теоретические и технологические предпосылки их появления наблюдались еще в прошлом веке. Благодаря развитию аддитивных технологий появилась возможность изготавливать в более сжатые сроки детали различной формы, в том числе изготавливать изделия, которые невозможно изготовить классическими методами обработки материалов. С развитием технологий машиностроения стали ужесточаться условия эксплуатации механизмов и машин, в связи с чем выросли требования к конструкционным материалам. Одним из наилучших на сегодняшний день способов увеличения физико-технических характеристик материалов является создание из них композитов, путем введения в полимерную матрицу упрочняющих частиц, либо волокон. Такой способ упрочнения применим, как для металлических материалов [1,2], так и для полимерных.

Наилучшим способом увеличения прочностных характеристик пластмасс является упрочнение непрерывными волокнами [3]. Наиболее распространённым методом получения композитов, упрочненных волокнами, является введение в жидкую полимерную матрицу волокон с последующем отверждением полимера. Количество введенных волокон не превышает 40 об.%, хотя в большинстве случаев добавление 2-3% волокон приводит к увеличению физико-механических показателей материала [3].

В результате исследований [4] содержание углеродных волокон в пределах 5-30 мас.% в композите на основе ABS, увеличивает прочностные характеристики композита. Помимо этого, известно, что у композитов на основе ABS, упрочненных волокнами, свыше 2% удается достичь не только повышение физико-механических характеристик, но увеличение электропроводности, при этом увеличение длины углеродных волокон снижает удельное сопротивление композитов [5].

Одной из важных характеристик получаемых композиционных материалов является ориентированность волокон. Полимерные композиты с ориентированными волокнами демонстрируют лучшие физико-механических характеристики, чем композиты такого же состава с разориентированными волокнами [6], особенно это проявляется при испытаниях на изгиб и растяжение композитов в направлении ориентации волокон. Изготовление изделий из таких композитов подразумевает задание у них анизотропии свойств в связи с наличием предпочтительного направления приложения нагрузки к изделию в соответствии с эксплуатационными условиями.

При получении изделий методом аддитивных технологий, при правильном подборе режимов, удается получить ориентированность волокон в изделии [3], что также приводит к улучшению свойств материала в заданном направлении. Данная тенденция наблюдается в композитах с различными материалами матрицы: СВМПЭ [7], ABS [8], PLA [9], поликарбонат и полиамид [10,11], а также биосовместимые материалы, такие как зубной гипс [12]. Во всех этих случаях обнаруживается рост механических характеристик изделий.

Одной из важных характеристик, влияющей на свойства композита, является длина волокна. В статье [13] использовали волокна длиной 640 мкм, но авторы работы отмечают, что стоит использовать большую длину для увеличения прочности образцов, в том числе за счет увеличения адгезии волокна к материалу матрицы.

При изучении альтернативы объемному армированию было рассмотрено непрерывное армирование углеродным волокном. При сравнении образцов 3D-печати из ABS без содержания углеродного волокна и с содержанием непрерывного углеродного волокна, располагающегося по оси симметрии исходного ABS-прутка, наблюдается увеличение прочности напечатанных образцов при растяжении в направлении распределения волокна. При формировании изделия с распределением укладки волокон в процессе печати в направлении, отличном от растяжения, наблюдается менее эффективное увеличение механических свойств [14].

Важным является и выбор материала волокон для непрерывного армирования, использующих для упрочнения. Основными материалами, которые используются для упрочнения полимеров, являются углеродные, стеклянные волокна, арамидная нить. В исследовании, приведенном в статьях [15,16] видно явное преимущество армирования углеродным волокном, поскольку при проведении испытаний на изгиб, прочность на изгиб образцов, упрочненных углеродным волокном вдвое больше, чем при добавлении арамидной нити, и в три раза больше, чем при использовании стекловолокна в образцах. Прочность на растяжение и модуль упругости, зарегистрированные для образцов с углеродным волокном, составляли 600 МПа и 12,99 ГПа соответственно, тогда как прочность на растяжение и модуль упругости, зарегистрированные для образцов, упрочненных стекловолокном, составляли 450 МПа и 7,20 ГПа соответственно [17].

Другим упрочняющим материалом являются углеродные нанотрубки. При сравнении образцов, изготовленных из композиционного материала на основе ABS с добавлением углеродного волокна и с добавлением углеродных нанотрубок, можно сделать вывод, что образцы с добавлением углеродных волокон близки по своим прочностным характеристикам к образцам с добавлением нанотрубок [18]. Так же, в размягченном состоянии, образец, при наличии в составе углеродных волокон, имеет высокое ПТР [19]. Таким образом, с точки зрения получения наилучших свойств использование нанотрубок и углеродных волокон практически однозначно, однако, с экономической точки зрения использование углеродных и стекловолокон более предпочтительно, поскольку они обладают существенно меньшей себестоимостью, чем нанотрубки.

Современное состояние машиностроения требует создания новых материалов на полимерной основе и разработки технологии создания изделий из таких материалов, в том числе и с применением аддитивных технологий. Самые распространенные в машиностроении на сегодняшний день технологии аддитивного производства, такие как селективное лазерное [20, 21] и электронно-лучевое [22, 23] сплавление (SLS и EBM соответственно), в большинстве случаев неприменимы для полимерных материалов. Наиболее распространенной технологией аддитивного производства изделий из полимерных материалов является FDM-технология (Fused Deposition Modeling - моделирование методом послойного наплавления). Этот метод позволяет работать с полимерными материалами, при этом обладает низкой себестоимостью по сравнению с другими методами аддитивного производства. Для работы аддитивных машин по этой технологии требуется создание филамента – проволоки из материала, который в дальнейшем будет использован для создания изделия. На сегодняшний день распространен филамент простого состава, в основном ABS и PLA, тогда как наиболее перспективными являются композиционные материалы с матрицей из этих материалов, но дополнительно упрочненные волокнами.

Технология создания таких композиционных филаментов отличается от таковой для некомпозиционных материалов и требует особого изучения. Кроме того, как было указано выше, для обеспечения высоких свойств необходимо добиться ориентирования волокон вдоль заданного направления как в филаменте, так и в конечном изделии, а также использовать волокна определенного размера, обеспечивающего оптимальные значения физико-технических свойств. В данной статье исследована макроструктура композиционных филаментов «ABS-углеволокно», а также приведены результаты оптимизации технологических этапов изготовления таких композитов.

Материалы и методы исследования

Основной задачей настоящей работы являлось получение композиционного филамента на основе ABS пластика с армированием углеродным волокном. В качестве исходных материалов использовался вторичный ABS пластик, полученный путем размола изделий из ABS, и графитированный крученый жгут ГЖ-23/550к (ООО «Аргон», г. Балаково, Россия) с фактической линейной плотностью жгута 562 текс в качестве углеродного волокна. Изделия из ABS были получены ранее методом FDM из ABS пластиков различного производства, далее были подвергнуты искусственному старению в течение 17000 часов. Для размола ABS изделий и измельчения жгуте использовалась ножевая роторная мельница РМ-120 (Вибротехник, г. Санкт-Петербург, Россия) при частоте вращения ротора

1500 об/мин. Длительность помола в данной мельнице не контролируется, поскольку помол реализован насквозь без емкости для размола.

Полученные компоненты были перемешаны до гомогенной массы в верхнеприводной мешалке Hei-TORQUE Value 100 (Heidolph Instruments, г. Швабах, Германия) в течение 5 часов. Филамент для 3D-принтеров, работающих по технологии FDM, должен иметь постоянный диаметр на всем своем протяжении, и при изготовлении филамента из сухой смеси гранул ABS и углеродных волокон не удается надежно контролировать диаметр филамента. Поэтому после получения смеси она была гранулирована с помощью двушнекового экструдера с гранулятором (10mm Twin Screw Extruder Microlab, Rondol, Франция) где смесь в установке нагревалась до температуры плавления ABS, после чего волокна вмешивались в полимерную основу. Выходя из экструдера, полученный композит застывал и сразу же разрубался на гранулы. Из полученных гранул готовился филамент диаметром 1,75 мм путем экструдирования на автоматической системе экструдирования Filabot (Filabot, Вермонт, США) состоящей из экструдера Ex2 Filament Extruder, системы воздушного охлаждения Filabot Airpath и системы автоматического наматывания филамента на катушку Filabot Spooler.

Полученный филамент использовался для получения опытных образцов прямоугольного сечения методом FDM на 3D-принтере PrintBox3D One (RGT, г. Москва, Россия). Диаметр сопла принтера составлял 0,40 мм, на всем протяжении процесса печати температура сопла равнялась 230 °С. Скорость печати составляла 1,2 м/мин, толщина слоя – 200 мкм. Плотность заполнения была выставлена на 100 %, заполнение – линейное, с постоянной ориентацией вдоль длинной стороны прямоугольника. Макроструктура гранул, филамента и напечатанных образцов, в том числе распределение волокон по объему, исследовались с помощью цифрового микроскопа-камеры МК-20 (ООО «ЛОМО-Микросистемы», г. Санкт-Петербург, Россия).

Размер волокна

Композиты, армированные волокном, подразделяются на группы в соответствии с видами волокон, использующихся для армирования. В классификации волокон основным изменяемым параметром является длина волокон. Волокна в композите могут иметь длину несколько миллиметров (например, короткие высокопрочные монокристаллы – «усы»), могут быть непрерывно армированы (то есть длина волокна не меньше габаритной длины изделия в направлении армирования), также возможны различные промежуточные варианты.

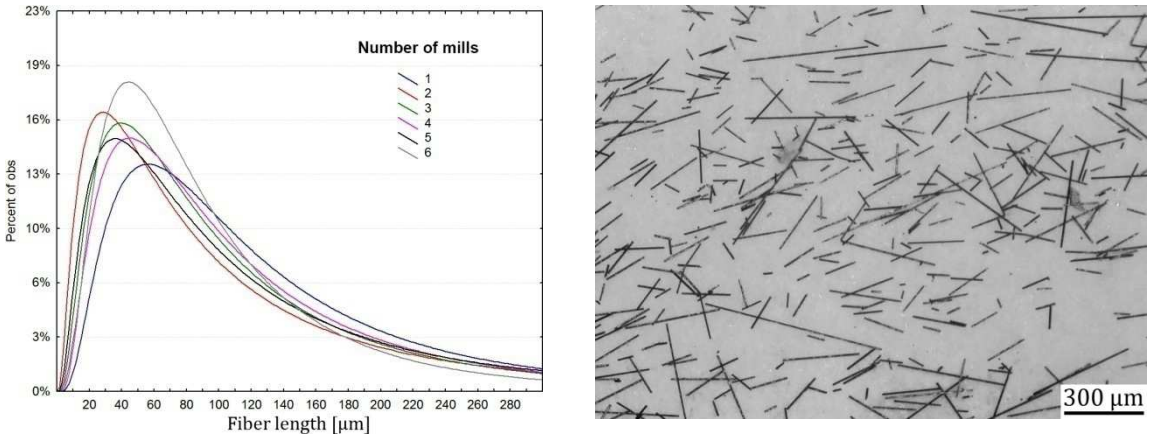
В данной работе использовались углеродные волокна, полученные путем размола непрерывного волокна. Длина волокон после размолов изменялась и варьировалась от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. Исходя из литературных данных, в данном диапазоне длин волокна для композиционных материалов применим принцип «чем длиннее – тем лучше». В связи с этим необходимо было выбрать количество помолов, при которых не происходило бы сильного измельчения, и преимущественная длина волокна была близка к 1 мм.

Выбор такой длины волокна обусловлен двумя основными причинами: во-первых, при помоле волокна и дальнейшем его смешивании с гранулами пластика при большом количестве длинных волокон (длиной несколько миллиметров и более) происходит электризация волокон и образуются большие агломераты, которые негативно сказываются на стабильности процесса получения филамента и его качестве. В частности, использование наэлектризованных агломератов волокон приводит к формированию пористости в филаменте, что в некоторых случаях может приводить к разрыву филамента, а в большинстве случаев приводит к ухудшению однородности материала, получаемого из такого филамента. Во-вторых, при длине волокна больше диаметра филамента (1,75 мм) ориентация волокна в процессе экструдирования происходит только за счет отсутствия степеней свободы у волокна, и это ориентирование является вынужденным. В данной работе основной целью является добиться ориентирования волокон вдоль одного направления независимо от их длины, поэтому более интересным является изучение ориентирования волокон, имеющих возможность располагаться в любом направлении относительно желаемого, вплоть до полностью поперечного.

После первичного размола волокон получали фотографии внешнего вида волокон при увеличении достаточном для измерения их длины. Измерение длины волокон проводили с применением автоматизированного программного обеспечения, для каждого помола проводилось не менее тысячи измерений. Затем все волокна вновь загружались в мельницу без отсеивания либо добавления новых волокон и повторяли описанные процедуры. Всего было проведено 6 помолов.

Результаты измерения длин волокон были обработаны в программе Statistica. Для всех помолов распределение по длинам волокон подчиняется логнормальному распределению (R^2 > 90% для

всех помолов). Результаты измерения волокон а также их внешний вид приведены на рисунке 1. Более 90% волокон уже после первого помола имеют длину не более 300 мкм. Наибольшее количество волокон имеет размер от 20 до 100 мкм. При этом количество помолов незначительно влияет на длину волокон.



а б

Рис. 1. Влияние количества помолов на распределение по длине волокон (а) и внешний вид волокон (б)

В ходе проведения помолов было установлено, что при количестве помолов более четырех, волокна сильно электризуются и образуют агломераты, что крайне нежелательно. Для дальнейшей работы были выбраны волокна, прошедшие четыре помола.

Таким образом, при подготовке углеродных волокон количество помолов не играет существенной роли. Для ускорения процесса получения композиционных филаментов достаточно проводить один помол длинного углеволокна, дальнейшие помолы являются опциональными. Полученный результат демонстрирует высокую скорость измельчения при использовании роторного помола – уже после первого помола длина более 90% волокон не превышает 300 мкм при длине исходных волокон $2 \cdot 10^5$ мкм. Дальнейшая обработка в роторной мельнице не приводит к существенному измельчению, но за счет интенсивного механического воздействия волокна наэлектризовываются, чего допускать нежелательно.

Ориентирование волокна

Одним из важных параметров в получении композитов, армированных волокном, является односторонняя ориентированность волокон. Для обеспечения этой ориентированности в материалах, полученных с применением аддитивных технологий, необходимо обеспечить ориентированность волокон еще до непосредственного проведения процесса печати. В случае технологии FDM необходимо обеспечить однонаправленность волокон в филаменте. В случае использования волокон с длиной, большей чем диаметр филамента, это ориентирование является вынужденным, в случае коротких волокон их ориентирование в объеме пластика зависит от гидродинамики процесса течения пластика.

ABS-пластик, экструдируемый из цилиндрического сопла с постоянной скоростью, описывается как неньютоновская жидкость. При описании экструдируемых вязких Ньютоновских жидкостей с помощью уравнений Навье-Стокса [24] при предположении постоянности вязкости по объему было с высокой точностью установлено и математически описано [25], что скорость сдвига максимальна вблизи стенок, а в центре экструдируемой струи близка либо равняется нулю. Для неньютоновских жидкостей данное описание менее точно, повышение точности описания возможно с помощью коррекции Рабиновича либо коррекции Бэгли [26], однако основной принцип остается неизменным – скорость сдвига вблизи стенок экструдера максимальна и снижается при приближении к центру.

В процессе экструдирования композиционного филамента происходит не только ориентирование молекул пластика, но и волокон вдоль направления экструдирования. Внешний вид поперечного сечения филамента с содержанием волокон 10 вес.% приведен на рисунке 2.

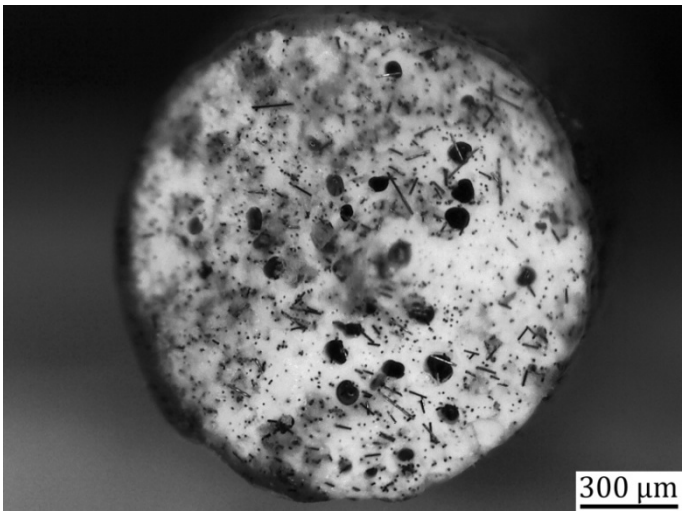
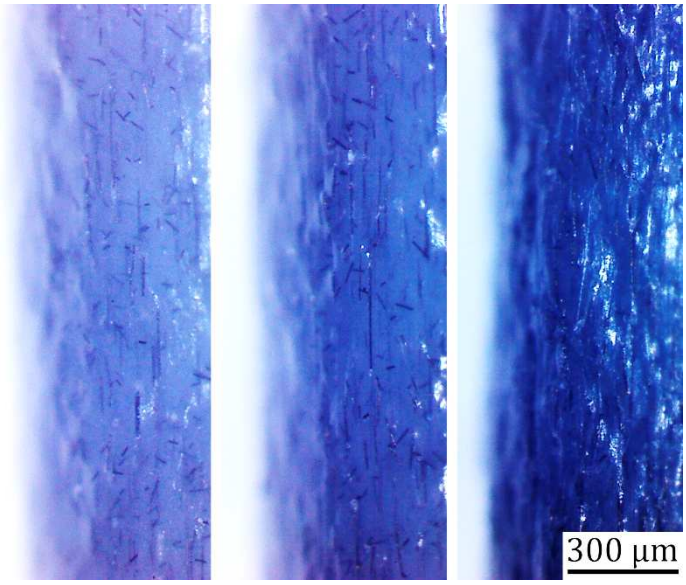


Рис. 2. Поперечное сечение композиционного филамента с углеродным волокном

На поперечном сечении видны волокна, ориентированные вдоль направления экструдирования, в виде мелких черных точек, хаотически ориентированные волокна и крупные поры в виде больших черных окружностей. Пористость филамента, измеренная по площади пор на нескольких сечениях, составляет 4%. Большинство волокон ориентированы вдоль направления экструдирования – количество волокон, ориентированных не перпендикулярно плоскости сечения, составляет 10%.

По описанной методике были получены филаменты с содержанием 3, 5 и 10 вес.%, внешний вид филаментов приведен на рисунке 3. Пластиковая матрица при малом содержании волокон практически прозрачна, что позволяет визуально идентифицировать волокна и определять их ориентированность без препарирования образцов. При увеличении содержания волокон филамент становится темнее и идентификация волокон усложняется. Для всех полученных составов характерна преимущественная ориентация вдоль направления экструдирования на всем протяжении филамента, а большинство хаотично ориентированных волокон имеют длину не более 50 мкм.

В дальнейшем из полученных филаментов будут изготовлены изделия методом FDM на которых, помимо исследования макроструктуры, будут проведены исследования механических свойств в зависимости от содержания волокон в композите.



а *б* *в*

Рис. 3. Внешний вид филаментов с содержанием углеродного волокна 3 (а), 5 (б) и 10 (в) вес.%

В работе были исследованы композиционные филаменты "ABS-углеволокно" с различным содержанием углеволокна в композите для применения в технологии аддитивного производства методом FDM. Было установлено, что при подготовке коротких угленитей из длинных путем помола в роторной мельнице количество помолов не оказывает существенного влияния на распределение по длине волокон, однако после четырех помолов нити начинают сильно наэлектризовываться и агломерироваться.

При получении филамента из сухих смесей ABS гранул и молотого углеволокна не удается получить стабильный по размерам и однородный по структуре филамент, в связи с чем необходимо предварительно получить композиционные гранулы большого диаметра и использовать их для получения филамента необходимого диаметра.

В полученном филаменте волокна преимущественно ориентированы вдоль направления экструдирования. Предположительно, в процессе печати волокна также будут преимущественно ориентироваться вдоль этого направления, что необходимо учитывать при моделировании 3D объектов для печати. В полученных филаментах не более 10% волокон ориентированы в направлении, отличном от направления экструдирования, однако угол отклонения от нужного направления для большинства волокон меньше 45°. Волокна, отличающиеся по ориентации на угол более 45°, имеют размеры менее 50 мкм. Пористость полученных филаментов составляет 4%.

Список литературы

1. Krinitcyn M. G. et al. Structural comparison of sintering products made of “TiC+ Ti” composite powders and “Ti+ C” powder mixtures //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – Т. 1909. – №. 1. – С. 020105.
2. Korosteleva E. N., Korzhova V. V., Krinitcyn M. G. Sintering behavior and microstructure of TiC-Me composite powder prepared by SHS //Metals. – 2017. – Т. 7. – №. 8. – С. 290.
3. Tekinalp H. L. et al. Highly oriented carbon fiber–polymer composites via additive manufacturing //Composites Science and Technology. – 2014. – Т. 105. – С. 144-150.
4. Li J., Cai C. L. The carbon fiber surface treatment and addition of PA6 on tensile properties of ABS composites //Current Applied Physics. – 2011. – Т. 11. – №. 1. – С. 50-54.
5. Liang X. et al. Resistivity of carbon fibers/ABS resin composites //Materials Letters. – 2000. – Т. 43. – №. 3. – С. 144-147.
6. Nak-Ho S., Suh N. P. Effect of fiber orientation on friction and wear of fiber reinforced polymeric composites //Wear. – 1979. – Т. 53. – №. 1. – С. 129-141.
7. Chukov D. I. et al. Investigation of structure, mechanical and tribological properties of short carbon fiber reinforced UHMWPE-matrix composites //Composites Part B: Engineering. – 2015. – Т. 76. – С. 79-88.
8. Nikzad M., Masood S. H., Sbarski I. Thermo-mechanical properties of a highly filled polymeric composites for fused deposition modeling //Materials & Design. – 2011. – Т. 32. – №. 6. – С. 3448-3456.
9. Tian X. et al. Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites //Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2016. – Т. 88. – С. 198-205.
10. Ning F. et al. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling //Composites Part B: Engineering. – 2015. – Т. 80. – С. 369-378.
11. Ning F. et al. Additive manufacturing of carbon fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: Effects of process parameters on tensile properties //Journal of Composite Materials. – 2017. – Т. 51. – №. 4. – С. 451-462.
12. Christ S. et al. Fiber reinforcement during 3D printing //Materials Letters. – 2015. – Т. 139. – С. 165-168.
13. Quan Z. et al. Microstructural design and additive manufacturing and characterization of 3D orthogonal short carbon fiber/acrylonitrile-butadiene-styrene preform and composite //Composites Science and Technology. – 2016. – Т. 126. – С. 139-148.
14. Jiang D., Smith D. E. Anisotropic mechanical properties of oriented carbon fiber filled polymer composites produced with fused filament fabrication //Additive Manufacturing. – 2017. – Т. 18. – С. 84-94.
15. Dickson A. N. et al. Fabrication of Continuous Carbon, Glass and Kevlar fibre reinforced polymer composites using Additive Manufacturing //Additive Manufacturing. – 2017.
16. Li, Y.-H. et al. Mechanical properties of carbon fiber composite in fused deposition modeling of additive manufacturing // Journal of Plasticity Engineering. – 2017. – Т. 24. – С. 225-230.
17. Goh G. D. et al. Characterization of mechanical properties and fracture mode of additively manufactured carbon fiber and glass fiber reinforced thermoplastics //Materials & Design. – 2018. – Т. 137. – С. 79-89.

18. Zhang W. et al. Interfacial bonding strength of short carbon fiber/acrylonitrile-butadiene-styrene composites fabricated by fused deposition modeling //Composites Part B: Engineering. – 2018. – Т. 137. – С. 51-59.
19. Mari D., Schaller R. Mechanical spectroscopy in carbon nanotube reinforced ABS //Materials Science and Engineering: A. – 2009. – Т. 521. – С. 255-258.
20. Razin A. et al. The impact of dispersion on selective laser melting of titanium and niobium fine powders mixture //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2016. – Т. 1783. – №. 1. – С. 020190.
21. Ahmetshin R. G. et al. SLS setup and its working procedure //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications, 2016. – Т. 685. – С. 477-481.
22. Krinitcyn M. G., Pribytkov G. A., Durakov V. G. Structure and Properties of Electron-Beam Coatings, Overlaid of SHS Composite Powders" TiC–Ti", Synthesized in Air //Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications, 2016. – Т. 685. – С. 719-723.
23. Klimenov V. et al. Structure and properties of parts produced by electron-beam additive manufacturing //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2017. – Т. 1909. – №. 1. – С. 020085.
24. Constantin P., Foias C. Navier-stokes equations. – University of Chicago Press, 1988.
25. Fu Z. et al. Micro-and macroscopic design of alumina ceramics by robocasting //Journal of the European Ceramic Society. – 2017. – Т. 37. – №. 9. – С. 3115-3124.
26. Barakos G., Mitsoulis E. Numerical simulation of extrusion through orifice dies and prediction of Bagley correction for an IUPAC-LDPE melt a //Journal of rheology. – 1995. – Т. 39. – №. 1. – С. 193-209.

СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ ВЫСОКОПОРИСТЫМ КРУГОМ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Л.Л. Кременецкий, аспирант, В.А. Носенко, д.т.н., проф.
Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, тел. (8442)-23-00-76
E-mail: kreleonid@yandex.ru

Рассмотрен процесс глубинного шлифования титанового сплава Ti6Al4V высокопористым кругом из карбида кремния характеристики 64CF80H12V. Морфологию и химический состав поверхностей, полученных на скорости шлифования 20-30 м/с, исследовали на двухлучевом электронном микроскопе.

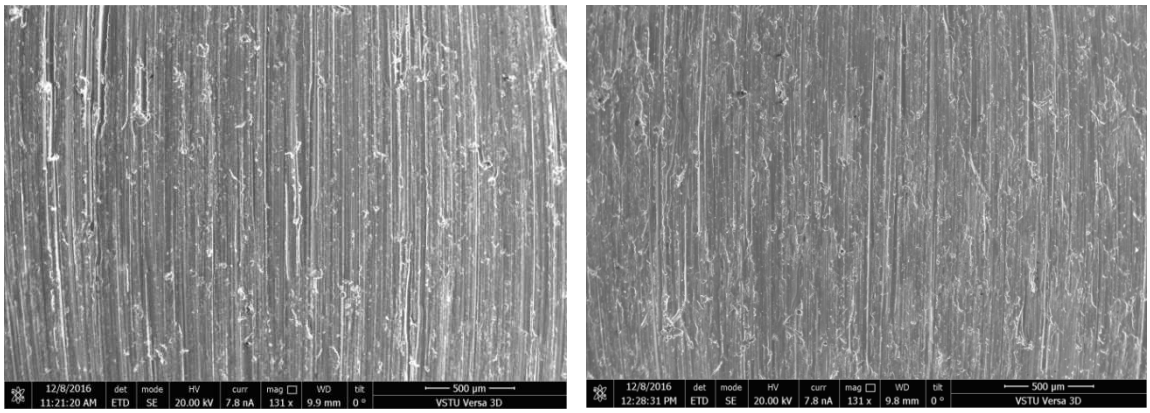
The process of creep-feed grinding Ti6Al4V titanium alloy by highly porous silicon carbide wheel 64CF80H12V is shown. The research of morphology and chemical composition of surfaces which were machined at 20-30 m/s grinding speed was carried out with using a twin-beam electron microscope.

Основной причиной плохой обрабатываемости титановых сплавов глубинным шлифованием является высокая адгезионная активность титана к абразивному материалу [1], что является причиной налипания обрабатываемого металла на вершины зерен и последующего переноса данного металла на обработанную поверхность [2, 3]. В наибольшей степени подходящим для обработки титановых сплавов шлифованием является именно инструмент из карбида кремния [4]. Негативным аспектом работы данного инструмента является шаржирование обрабатываемой поверхности продуктами износа [5]. В дальнейшем это влечет за собой ускоренное разрушение поверхностных слоев металла, что недопустимо для особо ответственных деталей [6]. В качестве мер обеспечения эффективности процесса рассматривают применение специальных СОЖ [7, 8], непрерывную правку [5, 9]. Одним из направлений повышения производительности шлифования так же является увеличение скорости резания.

Цель работы: исследование морфологии обработанной поверхности титанового сплава при различной скорости глубинного шлифования.

Методика исследования. Методом врезного встречного шлифования на профилешлифовальном станке-автомате модели SLS434 с ЧПУ обрабатывали заготовки из титанового сплава Ti6Al4V длиной 40 мм. В качестве абразивного инструмента использовали высокопористый шлифовальный круг характеристики 64CF80H12V производства ОАО «Волжский абразивный завод». Режимы обработки: скорость шлифования v: 20 м/с, 25 м/с и 30 м/с; скорость подачи стола 100 мм/мин, глубина шлифования 1 мм; подача правящего ролика 0,6 мкм/об. Смазочно-охлаждающую жидкость Castrol Syntilo 81 E под давлением 12 бар подавали с двух сторон круга: в зону правки и на гидроочистку круга. Расход жидкости – 200 л/мин. Морфологию и химический состав шлифованной поверхности исследовали на двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D. Химический состав определяли в микрообъеме поверхностного слоя сканированием по площади. Размер площади сканирования 1000×800 мкм, количество точек сканирования – 400.

Результаты исследований. При глубинном шлифовании, в отличие от маятникового, необходимо учитывать особенности формообразования на различных этапах процесса. Удаление материала начинается на этапе врезания. Обработанная поверхность формируется на этапе постоянной длины дуги контакта (ПДДК) и этапе выхода. На этапе врезания глубина шлифования возрастает практически от нуля до максимального значения, соответствующего заданной глубине обработки. На этапе ПДДК глубина шлифования не изменяется, на этапе выхода – снижается до нуля.



а *б*

Рис. 1. Морфология обработанной поверхности, l=26,2 мм, 131×: v=20 м/с (а), v=30 м/с (б)

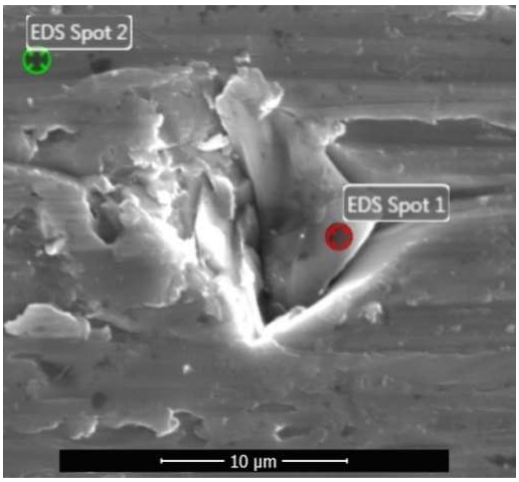
Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. В результате адгезионного взаимодействия с абразивным материалом титановый сплав налипает на вершины зерен и на следующем обороте круга, в результате когезионного взаимодействия, переносится на обрабатываемую поверхность.

На этапе ПДДК морфология поверхности приблизительно одинакова, при l>22,3 мм начинается этап выхода. Фактическая глубина резания зерен и длина дуги контакта инструмента с обрабатываемым материалом снижаются. В результате уменьшаются интенсивность налипания металла на вершины зерен шлифовального круга, и, соответственно, перенос этого металла на обработанную поверхность.

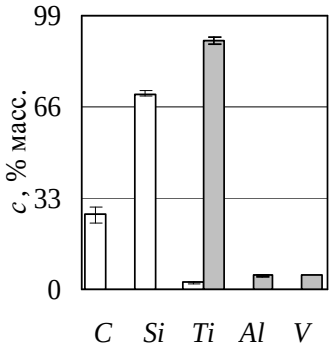
С увеличением скорости шлифования возрастает количество вершин, проходящих в единицу времени через рассматриваемое сечение обрабатываемой поверхности. Соответственно, увеличивается частота переноса металла на единицу площади обработанной поверхности (рис. 1). Поверхность, полученная на v=25 м/с, по состоянию рельефа занимает промежуточное положение между скоростями v=20 м/с и v=30 м/с.

Результатом адгезионного-когезионного взаимодействия является не только перенос металла на вершину зерна и далее на обработанную поверхность, но и перенос кристаллов карбида кремния. В качестве примера приведена электронная фотография поверхности, полученной на скорости шлифовании 20 м/с (рис. 2, *а*).

Выбраны два участка поверхности: на предполагаемом кристалле карбида кремния («Spot 1»); на относительно чистом участке шлифованной поверхности («Spot 2»). Микрорентгеноспектральный анализ относительно чистого участка поверхности показал присутствие таких основных легирующих элементов сплава, как алюминий и ванадий. На поверхности предполагаемого кристалла карбида кремния основными химическими элементами являются кремний (≈71 % масс.) и углерод (≈23 % масс.) (рис. 2, *б*). В пересчете на атомные проценты концентрации их почти уравниваются, что соответствует молекуле карбида кремния SiC. Концентрация титана достигает 2,3 % масс.



а



б

Рис. 2. Электронная фотография поверхности (а) и концентрация химических элементов в микрообъемах «Spot 1» и «Spot 2» (б): □ – «Spot 1»; ■ – «Spot 2»

Для оценки общего количества переносимого абразивного материала осуществляли сканирование обработанной поверхности по площади. С увеличением скорости шлифования в 1,5 раза концентрация кремния на поверхности титанового сплава возрастает в 1,6-1,8 раза.

Основные выводы. Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. Установлен факт переноса кристаллов карбида кремния на поверхность титанового сплава. С увеличением скорости шлифования возрастает интенсивность шаржирования поверхности абразивным материалом.

Список литературы

1. Xu X., Yu Y., Huang H. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC_4) and nickel (K_{417}) alloys // Wear. 2003. Vol. 255(7). P. 1421-1426.
2. Носенко С.В. Морфология и химический состав поверхности сплава ВТ3-1 при шлифовании без СОТС / С.В. Носенко, В.А. Носенко, Л.Л. Кременецкий // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». 2014. № 21 (148). С. 32-35.
3. D.T. Curtis, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, A.L. Mantle. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys // Procedia CIRP. 2016. Vol. 45. P. 47-50.
4. Носенко В.А., Носенко С.В. Технология шлифования металлов: монография / Старый Оскол : ТНТ, 2013. 613 с.
5. Носенко С.В. Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном глубинном шлифовании / С.В. Носенко, В.А. Носенко, Л.Л. Кременецкий // Вестник машиностроения. 2014. № 7. С. 64-68.
6. Планковский С.И. Анализ существующих методов очистки поверхности лопаток турбин в газотурбинных двигателях / С.И. Планковский, И.И. Головин, Ф.Ф. Сиренко // Авиационно-космическая техника и технология. 2013. № 6. С. 8-14.
7. А.с. 211717 СССР, МКИ С 10 М 173/02. СОЖ для шлифования титановых сплавов / Л. Д. Павловская, К. Д. Ульчонок, Б. Л. Мальвинов и др. - № 1082812/23-4 ; заявл. 09.06.66 ; опубл. 19.11.68, Бюл. № 8. - 6 с. (*описание под заглавием*).
8. Галкин А.В. Создание новой смазочно-охлаждающей жидкости для шлифования титановых сплавов / А.В. Галкин, Ю.С. Дубровский, В.Т. Процишин // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф (г. Волжский). 1997. С. 169-170.
9. R. Hood, F. Lechner, D.K. Aspinwall, W. Voice. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2007. Vol. 47(9). P. 1486-1492.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИНСТРУМЕНТОВ

Р.Б. Муканов[1], Т.М. Мендебаев[1], д.т.н., проф., А.Ж. Касенов[2], к.т.н.
[1]Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К.И. Сатпаева
050013, г. Алматы ул. Сатпаева 22а, E-mail: ruslangr82@mail.ru
[2]Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова
140008, г. Павлодар ул. Ломова 64, тел. (7182)-67-36-30

Актуальной проблемой является обработка поверхностей деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. Для решения этой проблемы разработаны новые конструкции металлорежущих инструментов, обеспечивающие высокую эффективность и стабильность обработки, улучшение центрирования, снижение шероховатости обрабатываемых деталей, что способствует повышению точности и качества обработки.

The actual problem is the surface treatment of machine parts, to which high demands are placed on the accuracy of size, shape and location. To solve this problem, new designs of metal cutting tools have been developed, which ensure high efficiency and stability of machining, improve centering, reduce roughness of the machined parts, which increases the accuracy and quality of machining.

Машиностроение является одной из отраслей экономики любого индустриально развитого государства, и воспринимается, как показатель технологического уровня национальной промышленности.

Устойчивое развитие и надежное функционирование машиностроения во многом определяют энергоемкость и материалоемкость экономики, производительность труда, уровень экологической безопасности промышленного производства и, в конечном итоге, экономическую безопасность.

Процесс обработки резанием занимает значительное место в технологических процессах, связанных с получением деталей необходимой формы, составляя около 30-40 % от общей трудоёмкости машин. При изготовлении деталей самых разнообразных форм и размеров встречаются точные отверстия, которые необходимо получить обработкой резанием.

Одним из основных направлений машиностроения является металлообработка. Обеспечение высокого качества обработки невозможно без применения прогрессивного высокопроизводительного оборудования. Как элемент технологической системы, режущий инструмент играет ведущую роль в достижении заданных экономических и технологических показателей процесса металлообработки. Без качественного инструмента обеспечить функционирование технологического процесса практически невозможно.

Качественный режущий инструмент предполагает экономичность, повышенную прочность, жёсткость, виброустойчивость, стойкость, точность и быстросъёмность. Эти показатели режущего инструмента формируются как на стадии проектирования, так и в процессе его изготовления

Наружные цилиндрические поверхности обрабатываются на станках токарной группы токарными проходными резцами. При обработке одним из недостатков является наличие вершины резца, которая формирует шероховатость обработанной поверхности. Для уменьшения шероховатости необходимо уменьшать подачу, что снижает производительность обработки. Кроме того, вершина резца является слабым местом инструмента. Через небольшое сечение резца от вершины проходит большой тепловой поток, что вызывает высокий нагрев и износ вершины резца.

Вершина как точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок источник повышенного износа как следствие увеличение теплового напряжения околовершинных участков, выражающегося в значительно большем нагреве и, вследствие этого, усиленном износе. Это приводит к уменьшению стойкости резца, увеличению количества переточек и снижению ресурса резца, уменьшению производительности и увеличению расхода резцов, повышению себестоимости обработки. Для устранения указанных недостатков предлагается токарная обработка наружных поверхностей валов безвершинным токарным проходным резцом [1-4].

Одной из актуальных проблем машиностроения является обработка отверстий, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. обработка отверстий осуществляется металлорежущими инструментами: свёрлами, зенкерами, развёртками, протяжками, расточными резцами, блоками и расточными головками. В зависимости от требований к точности отверстий применяются соответствующие инструменты [5].

Сверление происходит в тяжелых условиях резания: затруднён отвод стружки и подвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) из-за значительного трения стружки о поверхность канавок сверла и самого сверла об обработанную поверхность, передний угол на поперечной кромке составляет значение до минус 57˚– 60˚. Поэтому на поперечной кромке, которая воспринимает до 80% осевой силы, вместо резания имеет место смятие, выдавливание и скобление металла.

Создание благоприятных условий сверления привело к развитию направлений: совершенствование режущей части существующих свёрл; разработке новой, видоизменённой конструкции свёрл, имеющих другую форму поперечного сечения и разработке специальных режущих инструментов, имеющих принципиально новую конструкцию – двухвершинное спиральное сверло без поперечной кромки и двухвершинное перовое сверло без поперечной кромки. Поперечная кромка на указанных свёрлах срезается, прорезанием канавки, одна стенка которой совпадает с осью или несколько смещена относительно оси. Это позволило исключить силу, возникающую на поперечной кромке стандартного сверла, улучшить силовые отношения в зоне резания, уменьшить образование тепла, повысить качество обработки [6-8].

Специальный профиль в поперечном сечении в виде буквы «Z» имеет сверло «Зигзаг». Такая форма поперечного сечения позволяет расположить режущие кромки пера в одной осевой плоскости, исключить поперечную кромку, срезанием косой перемычки между перьями, повышенные износ, температуру и пониженную стойкость при использовании традиционных стандартных свёрл [9].

Операции зенкерования и разворачивания широко применяются при обработке отверстий в корпусных деталях, втулках, фланцах и т.п. Однако зенкер и развёртка имеют относительно короткую режущую часть и потому механически и термически тяжело нагруженной режущей частью имеет ограниченную по величине скорость резания и сравнительно низкую стойкость. Износ сосредотачивается в локальной области по небольшой длине режущей части. Кроме того, жёсткость шпиндельного узла сверлильных станков оказывается недостаточной. При большой длине обрабатываемого отверстия, большей длине режущего инструмента по этой причине снижается точность обработки и возрастает шероховатость.

Устранение вышеуказанных недостатков привели к разработке – зенкера-протяжки и развёртки-протяжки, которые конструктивно построены по следующему принципу: в осевом сечении они имеет конструктивные признаки, соответствующие протяжке, а в поперечном сечении признаки зенкера либо развёртки: форма и число зубьев, геометрию режущей части.

Предлагаемые инструменты позволяют значительно уменьшить разбивку отверстий, а также уменьшить шероховатость обработанной поверхности и повысить стойкость инструментов [10-14].

Анализ существующих конструкций и исследования обработки отверстий режущими инструментами привели к разработке – резцовой сборной развёртки с безвершинными зубьями – для разворачивания отверстий повышенного качества поверхности и точности диаметра. Безвершинные резцы-зубья разработанного инструмента лишены одного из недостатков – наличия вершины, наиболее слабой и изнашивающейся части режущей кромки обычных резцов.

Резцовая сборная развёртка с безвершинными зубьями имеет на режущей части четыре вставных зуба-резца развёртки, установленных в пазы со смещением друг относительно друга вдоль оси и закрепленных крепёжными винтами или прижимами непосредственно к корпусу. Вставные зубья-резцы имеют режущие кромки в форме окружности, плоскость которой расположена под углом к оси отверстия (оси развёртки), тем самым на круговом участке зубьев исключается вершина, и улучшаются условия резания. Все резцы имеют один размер по высоте, т.е. настроены на обработку одного диаметра D отверстия. При работе резания зуб-резец, воздействуя на заготовку, вызывает её отжатие силой резания, что приводит к изменению диаметра обработки. Последующие резцы работают как калибрующие и способствуют увеличению точности размера отверстия.

Резцы выполнены из быстрорежущей стали или оснащены пластинами твёрдого сплава. С целью увеличения срока службы предусмотрена пластина под основанием резца, меняемая при каждой переточке, для компенсации потери размера резца по высоте.

Конструктивные особенности и геометрия резцовой сборной развёртки обеспечивают высокую эффективность чистовой операции растачивания, повышение точности обработки и снижение шероховатости обрабатываемых деталей [15-16].

Разработана резцовая головка представляет собой новый высокопроизводительный металлорежущий инструмент для точения сплошных отверстий, режущая часть которого выполнена в виде резцов, расположение и конструкция которых позволяют заменить сверление торцовым точением с использованием всех преимуществ точения перед сверлением.

Инструмент имеет повышенную жесткость, не имеет поперечной кромки, работа резания распределена равномерно по длине лезвий, уменьшаются удельное давление и температура в зоне резания, что способствует повышению стойкости и улучшению качества обработки за счет выполнения на корпусе выглаживающих элементов, позволяющих уменьшить отклонения от круглости отверстия

и шероховатость, а точность обработки значительно выше в силу отсутствия дестабилизирующего влияния поперечной кромки [17].

Анализ конструкции резцовой головки показал, что применение твёрдосплавных пластин с креплением их к корпусу винтами упростить конструкцию и технологию изготовления.

Разработана конструкция сборной резцовой головки с креплением резцов, изготовленных из твердого сплава, к корпусу винтами, что даст возможность замены в результате износа и увеличит ресурс за счёт переточки и увеличит срок эксплуатации инструмента.

В сборной резцовой головке твёрдосплавные пластины расположены одна – к центру, другая – к периферии. Из-за этого крутящие моменты на левой и правой частях разной величины, что приводит к вибрации и неуравновешенности, а, следовательно, снижается качество и точность обработки [18].

Для уравновешивания крутящих моментов разработана сборная резцовая головка с асимметрично расположенными твёрдосплавными пластинами разной ширины, закрепленными винтами на корпусе.

Режущая часть выполнена в виде твёрдосплавных пластин разной ширины, что способствует повышению стойкости и качества обработки отверстий при условии равновесия крутящих торцовых моментов за счёт свободного торцового точения в условиях резания, присущих точению, значительно более лёгких, чем при сверлении в условиях неблагоприятной геометрии, скобления и выдавливания поперечной кромкой материала вместо резания, повышенных температур, сил резания и повышенного износа инструмента, а также за счёт удобства и простоты в изготовлении и эксплуатации нового инструмента.

При работе резцовой головки каждый резец снимает слой стружки следующим образом: при двух резцах внутренний резец образует цилиндр отверстия примерно 0,5 диаметра отверстия, в зависимости от принятых соотношений ширины резцов. Внешний резец срезает стружку на кольцевом участке обрабатываемого отверстия, остающемся после прохода внутреннего резца. Отсутствие поперечной кромки значительно улучшает условия резания и повышает качество обработки. Направляющие элементы на корпусе головки позволяют улучшить качество поверхности отверстия. Большая жесткость инструмента и выглаживание повышают точность и качество поверхности отверстия.

Таким образом, разработаны конструкции инструментов для обработки поверхностей деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения, обеспечивающие высокую эффективность и стабильность обработки, улучшение центрирования, снижение шероховатости обрабатываемых деталей, что способствует повышению точности и качества обработки.

Список литературы

1. Дудак Н.С., Денчик А.И., Оспантаев М.К. Особенности обработки безвершинным токарным резцом // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Эффективные инструменты современных наук – 2012», Чехия, Прага. – 2012.
2. Дудак Н.С. Способ точения и безвершинный проходной токарный резец. Наука и техника Казахстана. 2011. № 3-4. С. 21-26.
3. Шамарин Н.Н., Подгорных О.А. Безвершинные режущие инструменты. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. 2016. С. 198-200.
4. Dudak N.S., Itybaeva G.T., Musina Z.K., Kasenov A.Z., Taskarina A.Z. A new pass-through lathe cutter Russian Engineering Research. 2014. Т. 34. № 11. С. 705-707.
5. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К. Конструкции металлорежущих инструментов. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. 2016. С. 123-126.
6. Мусина Ж.К. Геометрический анализ влияния расположения вершин двухвершинного спирального сверла на условия резания. Наука и техника Казахстана. 2011. № 3-4. С. 60-67.
7. Мусина Ж.К. Сверло для повышения качества обработки отверстий. Главный механик. 2012. № 3. С. 28-33.
8. Мусина Ж.К. Обработка отверстий двухвершинным спиральным сверлом без поперечной кромки. Труды Университета. 2010. № 1. С. 30-32
9. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Таскарина А.Ж., Курмангалиев Т.Б. Сверление отверстий спиральным сверлом «Зигзаг» без поперечной кромки. Научный журнал «Вестник ВКГТУ» – 2014. – № 1. – С. 30-33.

10. Итыбаева Г.Т. Обработка отверстий зенкером-протяжкой. Труды Университета. 2010. № 1. С. 28-30.
11. Dudak N.S., Kasenov A.Z., Musina Z.K., Itybaeva G.T., Taskarina A.Z. Processing of holes with a reamer-broach. Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 10s. С. 282-288.
12. Касенов А.Ж. Формирование шероховатости поверхности отверстия обработанного развёрткой-протяжкой. Наука и техника Казахстана. 2011. № 3-4. С. 46-49.
13. Касенов А.Ж. Обработка отверстий развёрткой-протяжкой. Труды Университета. 2010. № 1. С. 25-28.
14. Dudak N., Taskarina A., Kasenov A., Itybaeva G., Mussina Z., Abishev K., Mukanov R. Hole machining based on using an incisive built-up reamer. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017. Т. 18. № 10. С. 1425-1432.
15. Таскарина А. Ж., Дудак Н. С., Касенов А. Ж. Резцовая сборная развертка с безвершинными зубьями. Научный журнал МОН «Поиск». – 2012. – № 1(2). – С. 274-279.
16. Дудак Н. С., Итыбаева Г. Т., Мусина Ж. К., Касенов А. Ж., Таскарина А. Ж. Конструкции резцовых сборных развёрток с безвершинными зубьями. Научный журнал Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова. – Вестник ПГУ. – 2012. – № 2. – С. 30-36.
17. Дудак Н.С., Янюшкин А.С. Способ и резцовая головка для высокопроизводительного торцового точения отверстий. Системы. Методы. Технологии. 2011. № 9. С. 78-86.
18. Дудак Н. С., Муканов Р. Б., Мендебаев Т. М., Касенов А. Ж., Итыбаева Г.Т. Обработка отверстий сборной резцовой головкой. Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей – 2017. – Т. 1. № 2 (78). – С. 57-61.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКА КПД ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА.

М.Г. Криницын, Р.О. Черепанов
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56
E-mail: Ivanov@mail.ru

В работе предложена численная модель процесса плавления порошков титановых сплавов в условиях селективного электронно-лучевого сплавления. Приводится сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными по сплавлению порошков сплава ВТ6 методом электронно-лучевого плавления при аддитивном производстве деталей. Установлено, что тепловой КПД электронного луча составляет порядка 25%, а 75% энергии пучка теряется.

A numerical model of the process of the melting of powders of a titanium alloy VT6 during selective electron-beam melting is proposed. Comparison of numerical results with experimental data on selective electron-beam melting at additive manufacturing of parts is provided. It is established that the thermal efficiency of electron beam is about 25% and 75% of the beam energy is lost.

Селективное электронно-лучевое сплавление (S-EBM) [1-3] является современной перспективной технологий аддитивного производства изделий из порошков различных сплавов, в частности, из порошков титанового сплава ВТ6 [4-7]. Из литературы известны различные подходы к моделированию таких процессов [8-10]. В данной работе использован численный метод, основанный на методе конечных объемов.

Математическая модель.

Математическая модель процесса электронно-лучевого плавления включает в себя уравнение теплопроводности, записанное относительно энтальпии:

$$\dot{H} = -\nabla_j \left(\lambda \nabla_j T \right) + Q \tag{1.1}$$

где H- энтальпия на единицу объема, *T*- температура, *Q*- объемная мощность внутренних источников тепла. Температура связана с энтальпией зависимостью *T=T(H)*

Зависимость температуры от внутренней энергии *T(E)* определялась путем интегрирования известных для каждого материала с определенной точностью зависимостей теплоемкости от температуры с учетом скрытой теплоты фазовых переходов:

$$H(T)=\int_0^T C_P \rho dT+\sum \sigma\left(T-T_{phase.transition}\right)Q_{phase.transition} \tag{1.2}$$

После интегрирования данные зависимости табулировались и строилась аппроксимация обратной зависимости *T(H)*.

Для учета теплообмена излучением с поверхности ванны расплава и прилегающих к ней областей задаются граничные условия вида:

$$\lambda \nabla_j T=n_j\left\{P(\vec{r})+\kappa\left(T_{air}-T\right)\right\} \tag{1.3}$$

где n_j - вектор нормали к поверхности тела, $P(\vec{r})$ - функция распределения плотности мощности излучения, которая в общем случае зависит от температуры поверхности по закону Стефана-Больцмана и от коэффициента серости поверхности, который может быть функций координаты, температуры и других параметров, $\vec{r}$ - пространственная координата, κ - коэффициент теплообмена с окружающим воздухом, T_{air} - температура окружающей среды.

Так как движение электронного луча в ЕВМ-технологии происходит с большой скоростью (сотни мм/с) и в вакууме, влиянием конвективного теплообмена можно пренебречь и использовать на свободных границах с низкой температурой условия тепловой изоляции. Это позволяет несколько снизить время расчетов при сохранении точности, так как при малых температурах (до 1000-1500 К) радиационный теплообмен не оказывает существенного влияния.

Тепловое воздействие электронного луча может рассматриваться как поверхностный источник, в этом случае в зоне действия луча задаются граничные условия второго рода:

$$\lambda n_j \nabla_j T=P_{EBM}\cdot\frac{\eta}{2\pi\sigma^2}\exp\left(\frac{\left(x-x_{el}\right)^2+\left(y-y_{el}\right)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{1.4}$$

где P_{EBM} – полная мощность электронного луча, η – коэффициент полезного действия, x_{el}, y_{el} - координаты луча, σ - радиус пятна электронного луча,

В случае, когда глубиной проникновения электронного луча нельзя пренебрегать, воздействие луча рассматривается как объемный источник энергии с удельной мощностью, определяемой выражением:

$$Q(\vec{r})=\frac{\eta P_{EBM}}{2\pi\sigma^2}\cdot\exp\left(-\frac{\left(x-x_{el}\right)^2+\left(y-y_{el}\right)^2}{2\sigma^2}\right)\cdot\sqrt{\frac{2}{\pi\sigma_{depth}^2}}\exp\left(\frac{-z^2}{2\sigma_{depth}^2}\right) \tag{1.5}$$

где σ_{depth} – средняя глубина проникновения электронного луча.

Численный метод.

Проинтегрировав (1.1) по объему, получим:

$$\int_V \dot{H}dV=\int_S q_j dS_j+\int_V QdV \tag{1.6}$$

где S- поверхность объема V.

Покроем расчетную область кубической сеткой с шагом h, узлы которой имеют координаты вида $\vec{r}^{ijk}=\left\{h\cdot\left(i+\tfrac{1}{2}\right),h\cdot\left(j+\tfrac{1}{2}\right),h\cdot\left(k+\tfrac{1}{2}\right)\right\}$ и могут быть заданы тройкой индексов $\{i,j,k\}$. В узлах этой сетки вычисляются неизвестные значения температуры T_{ijk} и задаются параметры мате-

риала (теплопроводность, теплоемкость, плотность и т.д.). Соседние ячейки сетки оказываются разделены квадратным элементом поверхности площади h^2, предполагая, что поток тепла из ячейки $\{i, j, k\}$ в ячейку $\{i+1, j, k\}$ не имеет разрывов, и что температура в пределах одной ячейки распределена линейно, можно выразить температуру на границе между двумя соседними ячейками и тепловой поток через эту границу:

$$q_{i+\frac{1}{2},jk} = \lambda_{ijk}\frac{T_{ijk} - T_{i+\frac{1}{2},jk}}{h/2} = \lambda_{i+1,jk}\frac{T_{i+\frac{1}{2},jk} - T_{i+1,jk}}{h/2} = \frac{T_{ijk} - T_{i+1,jk}}{h}\frac{2\lambda_{ijk}\lambda_{i+1,jk}}{\lambda_{ijk} + \lambda_{i+1,jk}} \qquad (1.7)$$

Формула (1.7) учитывает разницу теплопроводностей в соседних ячейках и может быть использована для расчета неоднородных сред, к которым относятся и порошковые материалы.

Интеграл по объему в (1.6) вычислим с первым порядком точности

$$\dot{H}_{ijk}h^3 = \sum_P \vec{q}^{\,P}_{i^*j^*k^*} \cdot \Delta\vec{S}^{\,P}_{i^*j^*k^*} + Q_{ijk}h^3 \qquad (1.8)$$

где $\vec{q}^{\,P}_{i^*j^*k^*}$ -вектор потока тепла из ячейки ijk в р-ю соседнюю ячейку, $\Delta\vec{S}^{\,P}_{i^*j^*k^*}$ - соответствующий вектор поверхности, суммирование ведется по всем ячейкам, окружающим ячейку *{ijk}*. Предполагая, что коэффициент теплопроводности не имеет анизотропии, а вектора теплового потока между ячейками сонаправлены с векторами соответствующих поверхностей, (1.8) можно упростить, избавившись от векторов:

$$\dot{H}_{ijk}h^3 = \sum_P q^P_{i^*j^*k^*} \cdot \Delta S^P_{i^*j^*k^*} + Q_{ijk}h^3 \qquad (1.9)$$

Используем для аппроксимации производной по времени конечную разность первого прядка, и учтем, что для граничных ячеек существует вклад в тепловой поток от лазерного излучения, получим:

$$\frac{H^{t+\Delta t}_{ijk} - H^t_{ijk}}{\Delta t} = \frac{1}{h^3}\left\{\sum_P q^P_{i^*j^*k^*} \cdot \Delta S^P_{i^*j^*k^*} + q\left(\vec{r}_{ijk}\right) \cdot h^2\right\} + Q^t_{ijk} \qquad (1.10)$$

$$T^{t+\Delta t}_{ijk} = T_{ijk}\left(H^{t+\Delta t}_{ijk}\right) \qquad (1.11)$$

На поверхности, подвергающейся воздействию излучения, тепловой поток задается функцией распределения мощности излучения по пространству, и таким образом, расчет градиента температуры на поверхности в этом случае не требуется.

На свободных поверхностях тепловой поток равен нулю, а следовательно и градиент температуры тоже равен нулю.

Таким образом, алгоритм решения тепловой задачи следующий:

1. По формуле (1.7) и известному распределению температуры рассчитываются тепловые потоки в момент времени t.
2. По формуле (1.10) вычисляются значения удельной энергии ячеек в момент времени $t + \Delta t$
3. Определяются новые значения температур (1.11)
4. Осуществляется пересчет параметров материала: $\lambda_{ijk}\left(T^{t+\Delta t}_{ijk}\right)$, определяются параметры электронного луча (его координаты, мощность и пр.).
5. Переход на новый слой по времени.

Данная схема строго консервативна по энергии, имеет первый порядок точности по координате и времени при расчете неоднородных материалов с разрывами в свойствах (повышается до 2-го по пространству при расчете однородных материалов) и позволяет вести сквозной счет фазовых переходов. Схема является устойчивой при выполнении условия Куранта: $\Delta t < \lambda / \left(C_P \rho \cdot h^2\right)$.

Все этапы расчетов можно проводить в многопоточном режиме, что позволяет реализовать параллельные вычисления.

Тестирование схемы осуществлялось стандартным способом- путем сравнения с аналитическими решениями, контролем баланса энергии, сохранением симметрии решения в тех задачах, где решение должно быть симметричным (например, точечный нагрев).

Моделирование упаковки частиц порошка.

Для моделирования спекания и сплавления порошковых материалов был реализован следующий алгоритм заполнения объема порошком:

1. Расчетная сетка заполняется ячейками газа.
2. В сетку сверху (Z=Zmax) помещается в случайном положении (X,Y) сферическая частица заданного радиуса.
3. Определяется минимальная координата Zmin(X,Y), при которой данная частица не содержит ячеек, уже заполненных металлом.
4. Проверяются соседние координаты Zmin(X*,Y*),
5. если Zmin(X*,Y*)< Zmin(X,Y),
6. частица перемещается в координату (X*,Y*)
7. Возврат на шаг №4.
8. Иначе
9. Возврат на шаг №2.
10. Выход из алгоритма происходит при невозможности добавить новую частицу, без пересечения с уже заполненными областями.

Такой алгоритм приводит к заполнению объема с насыпной плотностью порядка 0,60-0,65, что объясняется использование достаточно грубой сетки (h~ 10-20 um при диаметре частиц порошка 80um +-20%).

Реальная насыпная плотность используемых в работе порошков составляет ~0,74, поэтому для приведения расчетной плотности в соответствие с экспериментальной, дополнительно использовалась следующая процедура: ячейки газа, имеющие наибольшее количество соседей, заполненных металлом, так же заполнялись металлом, до тех пор, пока конечная плотность заполнения не достигала значения, максимально близкого к экспериментальному.

Полученная таким способом упаковка сферических частиц имела плотность 0,73-0,76, то есть, отличается от реальной не более, чем на 3%.

Результаты моделирования показывают, что при ускоряющем напряжении 40 кВ и токе в луче 3 мА должно происходить активное испарение верхних слоев материала порошка, а глубина проплавления должна составлять примерно 1,2-1,4 мм, чего в эксперименте не наблюдается. Образцы, полученные в эксперименте, имеют явно выраженную слоистую структуру, причем, между сплавленными слоями находятся участки нерасплавленного порошка.

Данный факт говорит о том, что в реальности имеет место потеря значительной части энергии электронного луча, которая требует своего объяснения.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных и определение КПД электронного луча.

Была проведена серия экспериментов по сплавлению порошка сплава ВТ6 на установке электронно-лучевого сплавления со следующими параметрами: толщина слоя порошка 170 мкм, диаметр электронного луча 180 мкм, средний диаметр частиц порошка 80 мкм, ускоряющее напряжение 40 кВ, ток в луче 2,5 и 3 мА.

Скорость движения луча 16 мм/с, длина треков 5 мм, расстояние между треками 150 мкм. Предварительный подогрев порошка до температуры 700С в течение 20 секунд.

Результаты экспериментов показывают, что при этих условиях между слоями полностью расплавленного материала наблюдаются включения не расплавленного порошка. Моделирование процесса электронно-лучевого сплавления при этих же параметрах луча предсказывает активное испарение титана на глубину до 300 мкм. Сплавление порошка с образованием между слоями частично непроплавленных областей в расчетах наблюдается при тепловой мощности в луче в 25% от реальной. Отсюда можно сделать вывод о том, что в условиях электронно-лучевого сплавления значительная часть энергии электронного луча превращается в иные формы, кроме тепловой энергии расплавленного материала и измеренная мощность электронного луча не может использоваться напрямую как параметр числовой модели процесса.

Список литературы
1. Beaman JJ, Barlow JW, Bourell DL, Crawford RH,Marcus Harris L, McAlea Kevin P: Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing. Kluwer Academic Publishers, 1997, Norwell, pp 25–49
2. Murr L. E. et al. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies //Journal of Materials Science & Technology. – 2012. – Т. 28. – №. 1. – С. 1-14.
3. Murr L. E. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting //Additive Manufacturing. – 2015. – Т. 5. – С. 40-53.
4. Liu Y. J. et al. Microstructure, defects and mechanical behavior of beta-type titanium porous structures manufactured by electron beam melting and selective laser melting //Acta Materialia. 2016. – Т. 113. – С. 56-67.
5. Körner C. Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting–areview //International Materials Reviews. – 2016. – Т. 61. – №. 5. – С. 361-377.
6. Zhao S. et al. Compressive and fatigue behavior of functionally graded Ti-6Al- 4V meshes fabricated by electron beam melting //Acta Materialia. – 2018. – Т. 150. – С. 1-15.
7. Lim G. et al. Residual Stresses in Ti-6Al- 4V Parts Manufactured by Direct Metal Laser Sintering and Electron Beam Melting //British Society of Strain Meaurement. – 2017.
8. Rausch A.M., Kung V.E., Pobel C., Markl M., Korner C. Predictive Simulation of Process Windows for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing: Influence of the Powder Bulk Density. MATERIALS 10(10) 1117 (2017) DOI: 10.3390/ma10101117
9. Yan W.T. Ge, W.J. Qian Y., Lin S., Zhou B., Liu W.K., Lin F., Wagner G.J.: Multi-physics modeling of single/multiple-track defect mechanisms in electron beam selective melting. ACTA MATERIALIA, vol 134 (2017), pp 324-333, DOI: 10.1016/j.actamat.2017.05.061
10. Yan W.T., Qian Y., Ma W.X., Zhou B., Shen Y.X., Lin F.: Modeling and Experimental Validation of the Electron Beam Selective Melting Process. ENGINEERING, vol 3(5), pp 701-707, DOI: 10.1016/J.ENG.2017.05.021

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРИКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ТРЕНИИ ЛАТУНИ Л63 С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

А.В. Филиппов, к.т.н, ст.преп.[1], н.с.[2], Н.Н. Шамарин, асс.[1], О.А. Подгорных, зав. лаб.[1]
[1]Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-61
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81
E-mail: avf@ispms.ru

В работе рассматривается экспериментальное исследование динамики фрикционных процессов при трении объемных ультрамелкозернистых материалов. В качестве модельных образцов использовалась латунь Л63 с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой, сформированной методом равноканального углового прессования. В процессе сухого трения скольжения осуществлялась регистрация сигналов виброускорений и акустической эмиссии. Анализ коротких сигналов с применением преобразований Фурье позволил установить характерные параметры сигналов, полученных при трении крупнокристаллических и ультрамелкозернистых материалов.

Наиболее распространенными технологическими операциями формообразования ответственных и прецизионных изделий в машиностроении являются резание, выглаживание, шлифование и т.д. Все эти процессы сопровождаются интенсивным трением скольжения между инструментом и обрабатываемым изделием. Высокое удельное давление в процессах формообразования приводит к тому, что на контактных площадках трение осуществляется в условиях частичного или даже полного отсутствия смазки, т.е. в режиме сухого адгезионного трения скольжения [1–3]. Объемные материалы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой являются перспективными с точки зрения их применения при производстве ответственных элементов авиационной и ракетнокосмической техники, прецизионных элементов измерительных приборов, а также мелкоразмерных элементов в робототехнике. Применение УМЗ материалов в указанных отраслях промышленности обусловлено их более высокими показателями по механической прочности, а также точности и качеству механической обработки, по сравнению с крупнокристаллическими материалами [4,5]. Механические колебания трибологической системы связаны с изменением динамики фрикционных процессов и оказывают существенное влияние на механику процесса трения, что выражается в изменении деформационного поведения исследуемых

материалов и сказывается на интенсивности их изнашивания [6]. Для экспериментального исследования динамики процессов трения применяют методы акусто- и вибродиагностики [7–18].

В связи с выше сказанным целью данной работы является исследование динамического поведения материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях сухого трения скольжения.

Для проведения исследований использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Трение скольжения осуществлялось по схеме палец-диск на трибометре Tribotechnic. Изменение динамики фрикционных процессов оценивалось с применением лазерного Доплеровского виброметра PSV-500-3D-HV и комплекса АЭ диагностики ЭЯ-2. Испытания проводились на образцах крупнокристаллической и ультрамелкозернистой латуни Л63. УМЗ образцы получены методом равноканального углового прессования (РКУП). Число проходов при РКУП составляло от 1 до 3. Число проходов эквивалентно степени деформации материала.

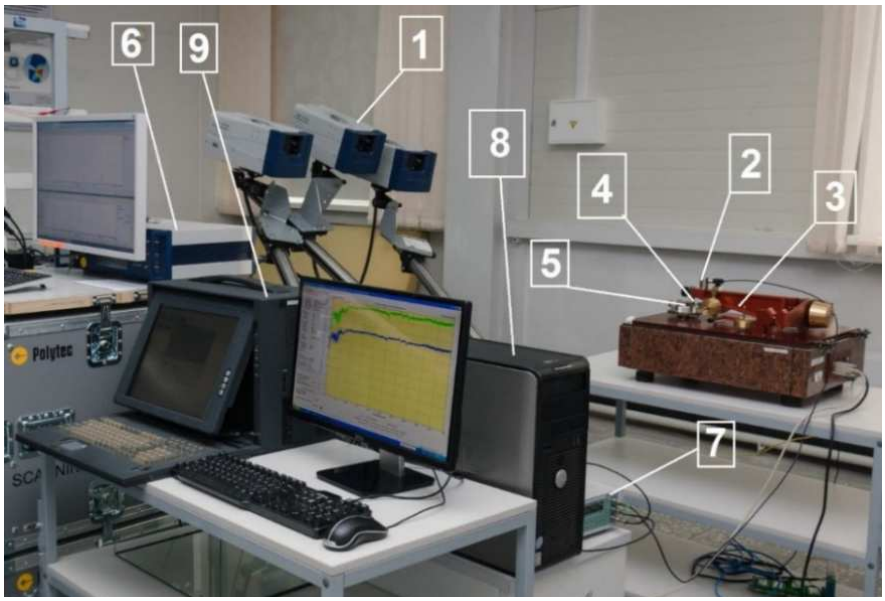


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – лазерный доплеровский виброметр, 2 – датчик АЭ, 3 – трибометр, 4 – образец, 5 – контртело, 6 – система обработки данных виброметра, 7 – усилитель АЭ, 8 – система обработки данных трибометра, 9 – система обработки данных АЭ.

На рисунке 2 приведен график иллюстрирующий влияние степени деформации материала и нормальной нагрузки на набегающую величину среднеквадратичного значения амплитуды виброускорений. Увеличении степени деформации отражает степень измельчения структуры материала. Таким образом получается, что при уменьшение размерности структуры материала приводит к повышению амплитуды вибраций в трибологической системе.

Поскольку фрикционные процессы протекают на контактных площадках на коротком интервале времени, постольку более детальный анализ динамики трения лучше проводить выделив характерные короткие сигналы [19–22]. Так при трении неупрочненного материала с крупнокристаллической структурой амплитуда виброускорений состоит из периодических небольших всплесков с плавными периодами нарастания и затухания (рисунок 3а). В результате анализа изменения амплитуды методом быстрого Фурье преобразования (Short Time Fourier Transform – STFT) мы наблюдаем следующую картину (рисунок 3б). Во-первых, диапазон изменения амплитуды по времени для выделенных частот лежит в пределах от -135,5 до 10,5 Дб. Во-вторых, всплески амплитуды виброускорений находят в области невысоких частот от 600 до 2400 Гц. Отмеченные особенности указывают на монотонность процесса трения в условиях испытания неупрочненного материала с крупнокристаллической структурой.

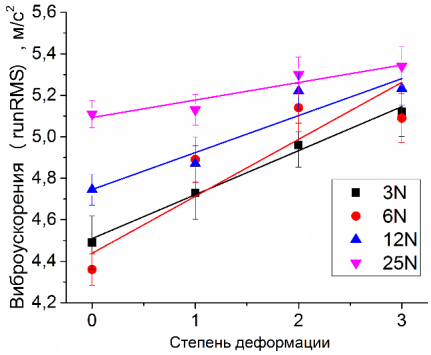
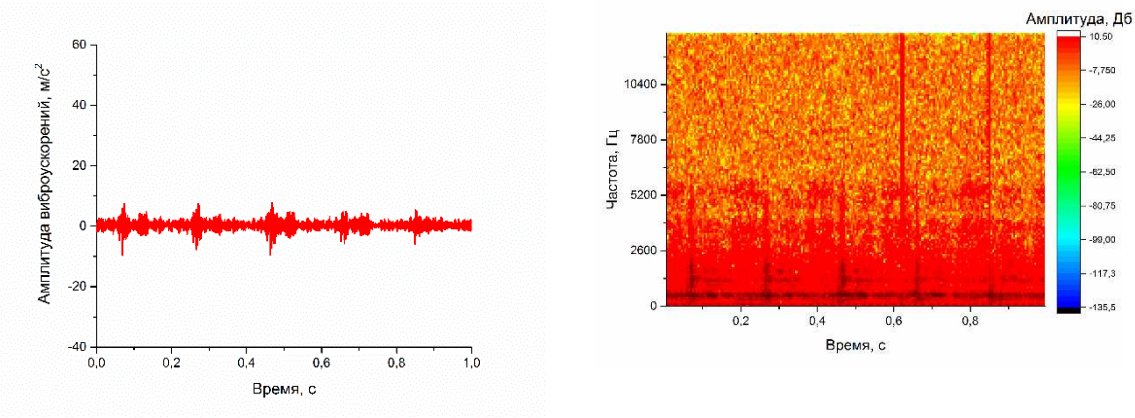
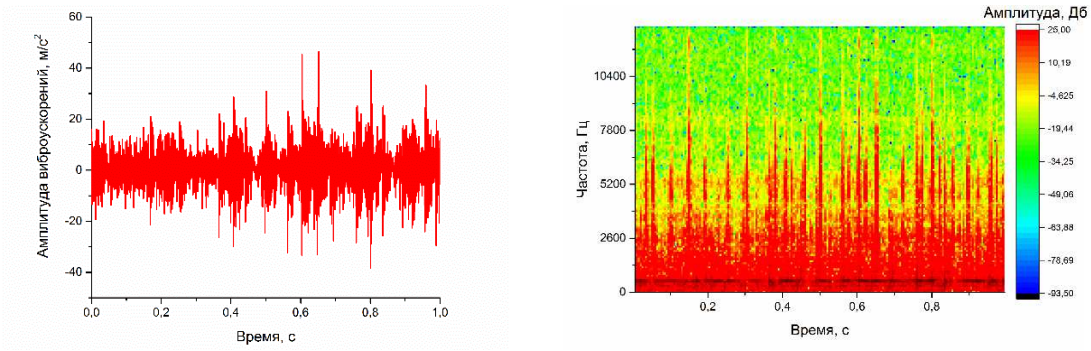


Рис. 2. Влияние степени деформации материала на среднее значение амплитуды виброускорений



а *б*

Рис. 3. Изменение амплитуды виброускорений (а) и STFT картина распределения частоты колебаний (б) во времени при трении неупрочненного материала



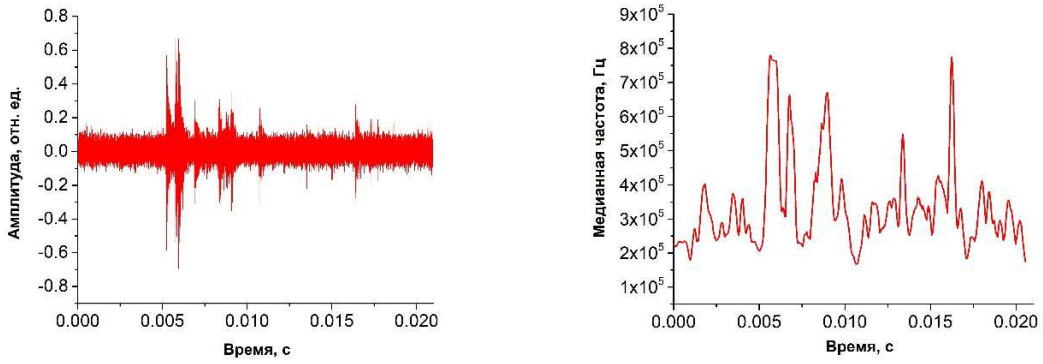
а *б*

Рис. 4. Изменение амплитуды виброускорений (а) и STFT картина распределения частоты колебаний (б) во времени при трении деформационно-упрочненного материала

При трении деформационно-упрочненного материала с УМЗ структурой количество всплесков амплитуды виброускорений резко увеличилось (рисунок 4а). Увеличение максимальной амплитуда виброускорений сопровождается сокращение периода её нарастания и затухания. STFT анализ (рисунок 4б) указывает на перераспределение энергии амплитуды сигнала, которая в рассматриваемом случае находится в диапазоне от -93,5 до 25 Дб. При этом диапазон частот и энергия амплитуды указывают на более неравномерное распределение амплитудно-частотных характеристик сигнала во времени, по сравнению с неупрочненным материалом. Такое поведение амплитуды сигнала виброускорений при сухом трении скольжения УМЗ материала указывает на увеличение колебаний в три-

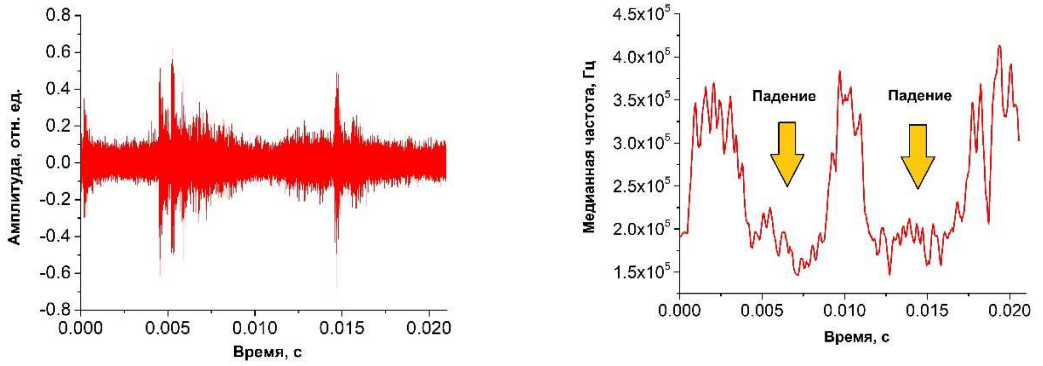
бологической системе, вызванное повышенной механической прочностью и особенностями изнашивания приповерхностного слоя образцов с образованием микротрещин и частиц износа.

При трении исходного образца и образца после однопроходной обработки РКУП типичные фреймы АЭ содержат несколько всплесков амплитуды сигнала, которые почти полностью лишены периода нарастания и затухания (рисунок 5а). Тогда как типичные фреймы, полученные при трении двух- и трехпроходных образцов, содержат всплески амплитуды со значительным периодом нарастания и затухания (~3 ms) (рисунок 6а). После STFT обработки этих фреймов получено изменение во времени медианной частоты (рисунки 5б и 6б). При трении исходного образца и после однопроходной обработки РКУП во временной области всплесков амплитуды сигнала АЭ наблюдаются всплески величины медианной частоты (рисунок 5а). При трении образцов после двух- и трехпроходной обработки РКУП периодам всплесков с нарастанием и затуханием амплитуды АЭ соответствуют периоды значительного падения медианной частоты (рисунок 6б).



с *б*

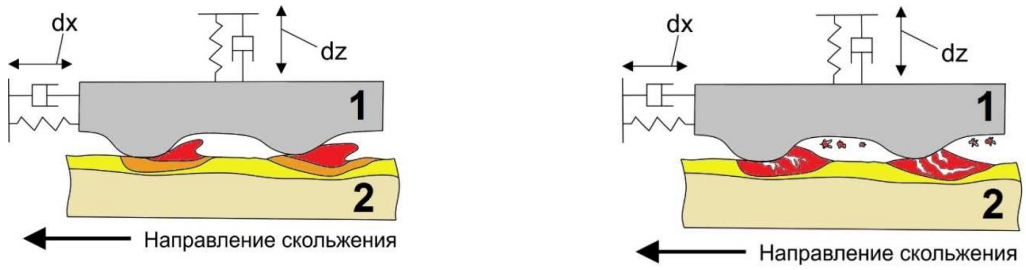
Рис. 5. Изменение амплитуды (а) и медианной частоты (б) акустической эмиссии при трении неупрочненного материала



а *б*

Рис. 6. Изменение амплитуды (а) и медианной частоты (б) акустической эмиссии при трении деформационно-упрочненного материала

Локальное падение медианной частоты объясняется изменением характера формирования и разрушения приповерхностного слоя материла, что подтверждается при проведении структурных исследований (рисунок 7). Как и в ранее выполненной работе [8] локальное падение медианной частоты соотносится с более интенсивным развитием деформационных процессов в приповерхностном слое и его разрушением с образованием множества трещин (рисунок 7б).



а *б*

Рис. 7. Схематичное представление распространения поля деформации в неупрочненном (а) и деформационно-упрочненном материалах (б): 1 – контртело (шарик), 2 – образец, dx – смещение в горизонтальной плоскости, dz – смещение в вертикальной плоскости

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что при сухом трении скольжения материала с ультрамелкозернистой структурой амплитуда вибраций трибологической системы выше, чем при трении материала с крупнокристаллической структурой. Установлены отличительные особенности в изменении амплитуды сигнала АЭ и его медианной частоты, выражающиеся в локальном падении медианной частоты АЭ в области всплеска амплитуды АЭ при трении деформационно-упрочненного материала. Такое поведение амплитуды сигнала и его частоты характерно для условий хрупкого разрушения приповерхностного слоя образца.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00058.

Список литературы

1. Bahi S, Nouari M, Moufki A, El Mansori M, Molinari A. A new friction law for sticking and sliding contacts in machining. Tribol Int 2011;44:764–71. doi:10.1016/j.triboint.2011.01.007.
2. Halila F, Czarnota C, Nouari M. A new abrasive wear law for the sticking and sliding contacts when machining metallic alloys. Wear 2014;315:125–35. doi:10.1016/j.wear.2014.03.013.
3. Atlati S, Moufki A, Nouari M, Haddag B. Interaction between the local tribological conditions at the tool- chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024???T351. Tribol Int 2017;105:326–33. doi:10.1016/j.triboint.2016.10.006.
4. Xu J, Li J, Shan D, Guo B. Microstructural evolution and micro/meso-deformation behavior in pure copper processed by equal-channel angular pressing. Mater Sci Eng A 2016;664:114–25. doi:10.1016/j.msea.2016.03.016.
5. Valiev RZ, Kozlov E V., Ivanov YF, Lian J, Nazarov AA, Baudelet B. Deformation behaviour of ultra-fine-grained copper. Acta Metall Mater 1994;42:2467–75. doi:10.1016/0956-7151(94)90326-3.
6. Munoa J, Beudaert X, Dombovari Z, Altintas Y, Budak E, Brecher C, et al. Chatter suppression techniques in metal cutting. CIRP Ann - Manuf Technol 2016;65:785–808. doi:10.1016/j.cirp.2016.06.004.
7. Câmara MA, Abrão AM, Rubio JCC, Godoy GCD, Cordeiro BS. Determination of the Critical Undeformed Chip Thickness in Micromilling By Means of the Acoustic Emission Signal. Precis Eng 2016. doi:10.1016/j.precisioneng.2016.06.007.
8. Huang PL, Li JF, Sun J, Jia XM. Cutting signals analysis in milling titanium alloy thin-part components and non-thin-wall components. Int J Adv Manuf Technol 2016;84:2461–9. doi:10.1007/s00170-015-7837-0.
9. Bhuiyan MSH, Choudhury IA, Dahari M, Nukman Y, Dawal SZ. Application of acoustic emission sensor to investigate the frequency of tool wear and plastic deformation in tool condition monitoring. Measurement 2016;92:208–17. doi:10.1016/j.measurement.2016.06.006.
10. Skrickij V, Bogdevicius M, Junevicius R. Diagnostic features for the condition monitoring of hypoid gear utilizing the wavelet transform. Appl Acoust 2016;106:51–62. doi:10.1016/j.apacoust.2015.12.018.
11. Papacharalampopoulos A, Stavropoulos P, Doukas C, Foteinopoulos P, Chryssolouris G. Acoustic emission signal through turning tools: A computational study. Procedia CIRP 2013;8:426–31. doi:10.1016/j.procir.2013.06.128.
12. Bhuiyan M, Choudhury S, Nukman Y. Tool condition monitoring using acoustic emission and vibration signature in turning. Proc World … 2012;III:2–6.

13. Bhuiyan MSH, Choudhury IA, Nukman Y. An innovative approach to monitor the chip formation effect on tool state using acoustic emission in turning. Int J Mach Tools Manuf 2012;58:19–28. doi:10.1016/j.ijmachtools.2012.02.001.
14. Loutas TH, Roulias D, Pauly E, Kostopoulos V. The combined use of vibration, acoustic emission and oil debris on-line monitoring towards a more effective condition monitoring of rotating machinery. Mech Syst Signal Process 2011;25:1339–52. doi:10.1016/j.ymssp.2010.11.007.
15. Liu X, Wu X, Liu C. A comparison of acoustic emission and vibration on bearing fault detection. 2011 Int Conf Transp Mech Electr Eng 2011:922–6. doi:10.1109/TMEE.2011.6199353.
16. Elforjani M, Mba D. Accelerated natural fault diagnosis in slow speed bearings with Acoustic Emission. Eng Fract Mech 2010;77:112–27. doi:10.1016/j.engfracmech.2009.09.016.
17. Vervloet D, Nijenhuis J, van Ommen JR. Monitoring a lab-scale fluidized bed dryer: A comparison between pressure transducers, passive acoustic emissions and vibration measurements. Powder Technol 2010;197:36–48. doi:10.1016/j.powtec.2009.08.015.
18. Loutas TH, Sotiriades G, Kalaitzoglou I, Kostopoulos V. Condition monitoring of a single-stage gearbox with artificially induced gear cracks utilizing on-line vibration and acoustic emission measurements. Appl Acoust 2009;70:1148–59. doi:10.1016/j.apacoust.2009.04.007.
19. Filippov AV, Tarasov SY, Fortuna SV, Podgornykh OA, Shamarin NN, Rubtsov VE. Microstructural, mechanical and acoustic emission-assisted wear characterization of equal channel angular pressed (ECAP) low stacking fault energy brass. Tribol Int 2018;123:273–85. doi:10.1016/j.triboint.2018.03.023.
20. Lychagin DV, Filippov AV, Kolubaev EA, Novitskaia OS, Chumlyakov YI, Kolubaev AV. Dry sliding of Hadfield steel single crystal oriented to deformation by slip and twinning: Deformation, wear, and acoustic emission characterization. Tribol Int 2018;119:1–18. doi:10.1016/j.triboint.2017.10.027.
21. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY, Podgornykh OA, Shamarin NN. Detecting transition to chatter mode in peakless tool turning by monitoring vibration and acoustic emission signals. Int J Adv Manuf Technol 2018;95:157–69. doi:10.1007/s00170-017-1188-y.
22. Filippov AV, Rubtsov VE, Tarasov SY. Acoustic emission study of surface deterioration in tribocontacting. Appl Acoust 2017;117:106–12. doi:10.1016/j.apacoust.2016.11.007.

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ РАЗЛИВКИ ФЕРРОСПЛАВОВ

Е.Н. Несипбек студ. группы 10В41,
научный руководитель: О.И. Нохрина профессор
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26.
e-mail:ekosh170396@mail.ru

Разливка металла в современном производстве ферросплавов производится несколькими наиболее распространенными методами:

- разливка в изложницы;
- разливка на разливочных машинах;
- полигонная разливка.

Разливка ферросплавов в изложницы – один из наиболее ранних способов разливки, однако до сих пор применяется для разливки кремнистых и хромистых ферросплавов. Существует две разновидности разливки в изложницы:

1. Разливка в водонеохлаждаемые чугунные изложницы (поддоны). Применяется для разливки кремнистых (ферросилиций, кремний кристаллический) и хромистых (низкоуглеродистый феррохром) сплавов.

Изложницы должны быть установлены горизонтально для обеспечения их равномерного заполнения. Для сокращения потерь металла изложницы устанавливают вплотную друг к другу. Углы изложниц, а также разрушенные места бортов подсыпают порошком выплавляемого сплава. Для предотвращения изложницы от размывания на место падения струи кладут кусок сплава того же состава, что и выплавляемый металл. Кремнистые сплавы разливают в стационарные чугунные изложницы с толщиной слитка до 100 мм, хромистые – до 60 мм. Большая толщина слитков металла способствует развитию ликвации и получению неоднородного слитка. Для хромистых сплавов с большой толщиной слитка существенно возрастают трудности по их дроблению.

Остывшие до 500 – 800°С слитки металла вручную подрывают с поверхности изложницы и с помощью навесных клещей электромостовым краном снимают и укладывают металлические короба. Слитки кремнистых сплавов вручную дробят до кусков размером менее 315 мм.

Стойкость чугунных изложниц повышается при увеличении их массы. Чтобы не было резких изменений температур, вес чугунных изложниц должен примерно в восемь раз превышать вес слитка. Достоинством разливки в чугунных изложницах является хороший товарный вид разлитого сплава. Недостатками являются: значительная доля ручного труда; высокий уровень тепловыделения в разливочных пролетах цехов; значительная структурная неоднородность слитков (наличие зон ликвации); высокий уровень выхода мелочи ферросилиция при дроблении.

2. Разливка в медные водоохлаждаемые изложницы. На Новолипецком металлургическом комбинате в цехе выплавки ферросилиция за двумя рудотермическими печами мощностью по 16,5 МВА используют разливку в водоохлаждаемые медные изложницы. Ферросилиций из летки печи по желобу через копильник поступает в одну из двух медных изложниц, принимающую весь выпуск металла. После охлаждения слиток цепляют за углы цепными стропами и подают на рольганг молотковой дробилки. Дробленый ферросилиций падает в металлический короб. Короба с металлом отправляют в сталеплавильные цеха комбината.

Достоинством данного метода разливки является: отсутствие ковшевого хозяйства; высокая стойкость изложниц (до 10 лет); хорошая структура слитка. Недостатки: необходимость использования водооборотного цикла; высокая доля ручного труда.

Разливку на разливочных машинах подразделяют на разливочные машины конвейерного типа и конвейерно-тележечные разливочные машины.

Широкое распространение для разливки марганцевых (ферромарганца, силикомарганца), хромистых (углеродистого феррохрома, силикохрома) и низкокремнистых (менее 65% кремния в сплаве) сплавов получила разливка на разливочных машинах конвейерного типа т.к. разливка сплавов в изложницы от печей производительностью более 100 т/сплава в сутки становится технически невозможной из-за ограниченных условий теплообмена в разливочных пролетах цехов. Используются одно- и двухленточные разливочные машины с длиной ленты 40 или 70 м.

Ковш с металлом устанавливают электромостовым краном на гидравлический кантователь в начале разливочной машины. Кантующее устройство помещают в герметизированную камеру. Во время разливки выделяющиеся газы из камеры отсасываются, пыль улавливается.

Жидкий металл из ковша при его наклоне кантователем по футерованному желобу заливается в чугунные мульды, из которых собрана лента разливочной машины. Лента машины на участке разливки сплава расположена под некоторым углом к горизонту, мульды проходят под желобом снизу вверх. При заполнении очередной мульды избыточный металл переливается через нижний край мульды по специальным желобкам в нижерасположенную мульду и т.д. Нижний край мульды выполняют нависающим над верхним краем следующей мульды по принципу черепицы. Это позволяет избегать переливания металла вне разливочной ленты.

Заполненные металлом мульды двигаются по наклонному участку разливочной машины и охлаждаются на воздухе. Длина наклонного участка рассчитана так, что за время движения по нему на слитках образуется твердая корочка.

После этого лента переходит на горизонтальный участок разливочной машины, на котором производится охлаждение мульд с металлом за счет опрыскивания водой. Температура сплава перед разливкой должна составлять примерно 1400 °С. Если температура металла выше указанной, необходимо произвести выдержку металла в ковше для снижения температуры.

Достоинства:

- увеличение производительности труда;
- улучшение условий труда в разливочных пролетах цехов.

Недостатки:

- высокая газонасыщенность сплава;
- низкий товарный вид готовой продукции;
- высокие потери металла с брызгами (-3%).

Применение водяного охлаждения слитков и опрыскивание мульд антипригарным покрытием существенно снижают товарный вид сплавов, разливаемых на конвейерных разливочных машинах. Товарный вид имеет особенное значение для высококремнистых сплавов, модифика-

торов и лигатур, поэтому разливка этих сплавов на машинах такого типа практически не применяется. С целью исключения водяного охлаждения и за счет этого получения слитков достаточно высокого товарного вида была разработана конвейерно-тележечная разливочная машина.

Две таких машины были построены на ОАО "Кузнецкие ферросплавы" и применялись для разливки ферросилиция марок ФС65, ФС75.

Машина представляет собой непрерывный эллиптический конвейер из установленных на рельсовом пути тележек с поддонами-изложницами для металла. Количество тележек зависит от скорости их передвижения, места расположения машины в цехе и количества разливаемого сплава.

Изложницы литые чугунные размером (1200–1500)хЮ00х150 мм. При послойной разливке глубина изложницы и масса слитка могут быть увеличены.

Ковш с металлом устанавливают на гидрокантователь. Жидкий ферросилиций при наклоне ковша с помощью гидрокантователя по качающемуся желобу разливается поочередно в передвигающиеся под желобом изложницы, установленные на тележках, за два - три оборота по замкнутому контуру машины. На дно изложниц перед разливкой насыпают мелочь ферросилиция крупностью менее 10 мм.

Полученные многослойные слитки при опрокидывании изложниц в месте разгрузки подают на вибрационную решетку. При этом они разбиваются на куски и проваливаются в металлический короб объемом 2,7 м^3. Короба с металлом отправляют на склад готовой продукции. Место разливки и выгрузки сплава оборудовано аспирационными установками.

Следущий вид разливки это – послойная разливка, применяется ко многим ферросплавам, образующим при остывании на поверхности тонкую окисную пленку: ферро-, силикомарганец, ферро-, силикохром, ферросилиций, ферротитан и др. Существует две разновидности послойной разливки ферросплавов: разливка в напольные изложницы; разливка в литейные ямы (полигоны).

В основном, послойная разливка ферросплавов применяется за рубежом. В странах СНГ послойную разливку применяют на Стахановском заводе ферросплавов.

На Стахановском заводе ферросплавов цех, выплавляющий ферросилиций, оборудован восемью рудотермическими печами с установленной мощностью трансформатора 25–27 МВА. Несмотря на то, что в цехе установлено шесть разливочных машин конвейерного типа, в районе каждого из торцов цеха оборудовали по разливочному полигону.

Каждый полигон представляет собой помещение, выполненное в ветрозащитном исполнении, оборудованное вытяжной вентиляцией. Посередине помещения проложен рельсовый путь, по которому перемещается самоходная тележка с ковшом с металлом. Путь начинается в разливочном пролете цеха; ковш с металлом на тележку устанавливают электромостовым краном в разливочном пролете, затем тележка вместе с ковшом заезжает на разливочный полигон. На тележке установлен кантователь, с помощью которого имеется возможность наклонять ковш в обе стороны от рельсового пути. Разливку производят за счет наклона ковша в сторону заполняемой разливочной ямы и передвижения тележки с ковшом вдоль края ямы. По ходу движения тележки угол наклона ковша увеличивают до тех пор, пока не будет разлит весь металл. Поскольку площадь ямы значительна, толщина каждого слоя металла не превышает 40-50 мм. Разборку ямы производят с помощью бульдозера, который заезжает с одного торца ямы и сгребает металл к другому торцу.

Список литературы:

1. Поволцкий, Д.Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов: учеб. для вузов / Д.Я. Поволоцкий, В.Я. Рощин, Н.В. Мальков; 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.;
2. Ферросплавное производство. Разливка металла [Электронный ресурс]:Библиотека технической литературы – Режим доступа: http:// http://metallplace.ru/about/stati – 25.01.2018. – Загл. с экрана;
3. Производство ферросплавов [Электронный ресурс]: Библиотека технической литературы – Режим доступа: http://emchezgia.ru/elektropechi – 05.02.2018. – Загл. с экрана.

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Н.Н. Рахымтай[1], студент, Е.А. Кайролла[1], студент, И.М. Гончаренко[1,2], к.т.н., доц.
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-70-16-19
[2]Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр.-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-13-00
E-mail: saya_rakhumtay@mail.ru,erbulan---94@mail.ru

Исследован процесс плазменно–ассистированного вакуумно-дугового синтеза износостойких покрытий состава Ti-Al-Si-N, предназначенных для защиты режущего инструмента. Описаны особенности структуры и механических свойств таких пленочных материалов в зависимости параметров технологического процесса и взаимодействия с материалом подложки. Выполнен сравнительный анализ механизмов разрушения покрытий и выявлены оптимальные режимы обработки.

The process of plasma assisted vacuum-arc synthesis of wear-resistant coatings of Ti-Al-Si-N composition is investigated, designed to protect the cutting tool. The features of the structure and mechanical properties of such film materials were being describe, depending on the parameters on technological process and the interaction with the substrate material. A comparative analysis of the mechanisms of the destruction of coatings was carrying out and the optimal processing regimes were revealing.

Для обеспечения защиты рабочей поверхности инструмента и увеличения срока его службы в условиях роста скоростей обработки материалов на практике используют жаростойкие износостойкие покрытия на основе нитридов металлов. Основными методами однородного нанесения тонкопленочных покрытий на инструмент в больших технологических объемах являются электрофизические способы, проводимые в вакууме, такие как магнетронное и вакуумно-дуговое распыление металлических мишеней (катодов) в азотосодержащей среде.

Сегодня среди видов функциональных покрытий, обладающих высокой твердостью (HV ~ 30 - 50 ГПа) и способных работать в условиях высоких температур (> 700 °C), относят индустриальное применение следующие сложные композиционные соединения: TiN/CrN, TiN/BN, TiN/Si3N4 и TiN/AlN [1-4]. Однако, наряду с высокой твердостью, эти материалы обладают повышенной хрупкостью. Известно, что серьёзной проблемой для промышленного применения упрочняющих защитных покрытий, наносимых на детали различного назначения, является непредсказуемость момента начала их растрескивания, причина которого – внутренние напряжения в области границы «подложка – покрытие».

Поэтому с целью оптимизации состава и морфологии покрытий требуются исследования, направленные на изучение влияния параметров воздействия заряженных частиц на эволюцию физико-механических свойств нитридных покрытий в сочетании с силой их адгезионного взаимодействия с подложкой, выполненной из инструментального материала.

В данной работе представлены результаты проведенных экспериментов при формировании покрытий многокомпонентной системы Ti-Al-Si-N при распылении дуговым разрядом поверхности композиционного порошкового спеченного катода, содержащем в определенной пропорции такие элементы как титан, алюминий и кремний. Заменяя несколько катодов на одну Ti-Al-Si (композиционным), которая содержит необходимые компоненты в требуемом соотношении, можно достигнуть существенную оптимизацию конструкции оборудования для нанесения покрытий и повышения надежности и стабильности процесса.

Синтез многокомпонентных покрытий указанной выше системы толщиной порядка 1-3 мкм осуществлялся на специализированной вакуумной установке. «При формировании многокомпонентной плазмы, основными ее устройствами являлись следующие: источник газоразрядной плазмы на основе несамостоятельного дугового разряда низкого давления, обеспечивающий активацию рабочего газа и электродуговой испаритель (источник металлической плазмы из катодного пятна вакуумно-дугового разряда), оснащенный композиционными порошковыми катодами»

В ходе выполнения представленной работы были проведены несколько экспериментальных исследовании, а именно, структуры, формирующейся в нитридных износостойких покрытиях; изменения механических свойств данных покрытий при разных параметрах электродугового плазменно-ассистированного процесса; были изучены оптимизация технологических режимов, механизмы и

закономерности синтеза; были исследованы основные свойства инструмента, на которые наносились покрытия. Также был повышен эффективность и очистка плазменного потока от макрочастиц, которые генерируются с холодного катода электрического дугового разряда, путем пропускания его через криволинейный плазмовод по прототипу, отмеченному в [8, 9].

При проведении экспериментальной части в качестве объектов были применены, такие материалы как: сталь 12Х18Н10Т (HV~300-350 кг/мм2), сталь Р6М5 (HV~940-980 кг/мм2) и твердый сплав ВК-8 (HV~1600-1800 кг/мм2).

Основные свойства полученных покрытий были исследованы большим набором современных методик. Оптические приборы ММР-4 и OLYMPUS GX-71 и на сканирующий электронный микроскоп SEM-515 «Philips» были применены для наблюдения поверхности хрупкого излома образца и микроструктуру поверхности. На микротвердомере ПМТ-3 и нанотесте NHT-S-AX-000X измеряли твердость покрытия. Толщина покрытий определена с помощью прибора Calotest; адгезию определили скретч-тестером модели Micro-Scratch Tester MST. Все устройства были представлены от фирмы CSEM Instruments.

Нанесение покрытий на подложки были подразделены на несколько этапов. Ключевыми параметрами процессов, влияющие на свойства покрытий, являлись следующие: ток дуговых разрядов (Iд), давление газа (р), отрицательный потенциал смещения, подаваемый на образцы (Uсм).

При напылении были применены следующие параметры: давление в камере P=1,8×10-3Торр; рабочий газ - смесь азота с аргоном (Ar:N2-50:50); время напыления t=30мин.; величина отрицательного смещения U=0В; 100В; 200В; 300В ток дугового разряда ID=50А .

После измерений лунок абразивного износа, оставленных вращающимся испытательным шаром на поверхностях образцов с помощью прибора Calotest, выяснилось, что зависимости от величины отрицательного смещения толщина покрытия меняется в (таб.1). Эти изменения носят немонотонный характер.

Таблица 1

Зависимость толщины покрытия Ti-Al-Si-N от величины напряжения смещения (Uсм).

$U_{см}$, В	ВК-8	12Х18Н10Т
0	0,856	0,856
100	0,783	0,783
200	0,595	0,595
300	1,100	1,100

Визуальное изучение поверхностей образцов показало, что покрытия, сформированные с использованием криволинейного плазмовода, однородны без наличия каких-либо загрязнений, пор и трещин, в точности повторяют микрорельеф подложки. Покрытия, полученные на традиционных источниках без отсечки макрочастиц, имеют поры и в разной степени запылены макрокаплями – продуктами эрозии катода. В следствии измерения шероховатости с помощью высокоточной измерительной установки для получения 3D-микрофотографий высокого разрешения “Micro Measure 3D station” показали, что в моменте напыления без фильтрации макрочастиц увеличение параметра Ra может достигать 10 раза. При с использованием плазменного фильтра размер микронеровностей практически повторяет рельеф подложки (Ra ~ 0,02 мкм) и не изменяет с увеличением толщины защитного покрытия.

Проведенный при помощи просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) структурно-фазовый анализ покрытий, показал, что конденсат имеет элементный состав – Ti, Si, N; фазовый состав – δ-TiN и γ-Si3N4; средний размер кристаллитов δ-TiN составляет D = 7 нм, кристаллитов γ-Si3N4 – d = 2-3 нм. Распыление катода состава Ti-Al-Si в среде ионизированного азота позволяет возможность формирования нитридов кремния, наиболее стабильным среди которых является нитрид состава Si3N4. Судя по дифракционной картине расположение частиц нитрида кремния, обнаруживается на границах кристаллов TiN.

В результате экспериментов показано, что с увеличением напряжения смещения адгезия нитридной пленки уменьшается, о чем свидетельствуют значения критической нагрузки в процессе тестирования с помощью скрэтч-теста. Измерения микротвердости с помощью прибора ПМТ-3М при высоких ис-

пытательных нагрузках (LN=50гр.;100гр) не выявили существенного влияния напряжения смещения на изменение твердости поверхности для всех образцов. Вероятно, на эти измерения оказал существенное влияние размерный фактор толщин покрытий. Тем не менее, при значительном уменьшении вдавливающей нагрузки (LN=1гр.) в процессе измерения твердости при помощи динамического нанотвердомера “Nano-Hardness Tester” фирмы CSEM Instruments было зафиксировано влияние интенсивности ионной бомбардировки на изменение поверхностной твердости образцов (таб.2).

Таблица 2.

Зависимость твердости покрытия Ti-Al-Si-N от величины напряжения смещения (Uсм).

$U_{см}$,В	Экспериментальные значения твердости, кГ/мм^2 HV, (L_N=1гр)	
	Материал подложки	
	ВК-8	12Х18Н10Т
0	3563,75	3122,37
100	3268,29	3152,52
200	3015,27	1523,51
300	3231,25	2216,68

Можно заметить, что формирование служебных характеристик материала имеет многофакторный характер; вклад одного или другого механизма упрочнения существенным образом зависит от составов материалов катодов и параметров разряда.

Экспериментальные результаты позволяют утверждать, что изменение параметров технологического процесса формирования защитных покрытий в вакуумно-дуговом методе, а именно смещение отрицательного напряжения, влияет на толщину, твердость и адгезию получаемого покрытия. Оптимизация шероховатости покрытий, получаемых данным методом, может быть достигнута применением искривленного электромагнитного поля для транспортировки плазменного потока.

Не смотря на хорошие физико-механические показатели многокомпонентных покрытий, в частности, твердость покрытия, проблемы с адгезией из-за напряженного состояния материала конденсата в каждом конкретном случае требуют своих путей решения. В связи с этим необходимо продолжение проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Vlcek J., Musil J. Magnetron sputtering of alloy and alloy based films // Thin solid films. – 2000. - (April) - P. 104-109.
2. PetrzhikM.I., Shtansky D.V., Kiryukhantsev-KorneevF.V., SheveikoA.N., Leyland A., LevashovE.A., Yerokhin A.L., Matthews A.. Hard tribological Ti–B–N, Ti–Cr–B–N, Ti–Si–B–N and Ti–Al–Si–B–N coatings //Surf. And Coat. Technol. – 2005. – Vol. 200. – P. 208-212.
3. Cairney J.M., Martin P.J., Hoffman M., Bendavid A. Nanocomposite Ti–Si–N, Zr–Si–N, Ti–Al–Si–N, Ti–Al–V–Si–N thin film coatings deposited by vacuum arc deposition. // Surf. Coat. Technol. 2005. V.200. P. 2228−2235.
4. Саблев Л.П., Андреев А.А., Григорьев С. Н., Шулаев В.М. Вакуумно-дуговые устройства и покрытия. Под общей редакцией Неклюдова И.М., Шулаева В. М. Харьков 2005.
5. В.Ф. Карпов, А.И. Костржицкий др. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме. М.: Машиностроение, 1991, 176 с.
6. Григорьев С.В. Винтизенко Л.Г., Толкачев В.С., Коваль Н.Н., Щанин, П.М.Лопатин И.В., Дуговые разряды низкого давления с полым катодом и их применение в генераторах плазмы и источниках заряженных частиц. // Изв. вузов. Физика.-2001.-№9.-С.28-35.

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ПРОГРЕССИВНАЯ ПРОТЯЖКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

Г.Т. Итыбаева, к.т.н., Ж.К. Мусина, к.т.н., А.Ж. Таскарина, доктор PhD
Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова
140008, г. Павлодар ул. Ломова 64, тел. (7182)-67-36-33
E-mail: galia-itibaeva@mail.ru

Актуальной проблемой является обработка отверстий деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. Для решения этой проблемы разработана конструкция двухступенчатой прогрессивной протяжки, которая позволит увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

The actual problem is the machining of the holes of machine parts, to which high demands are placed on the accuracy of size, shape and location. To solve this problem, the design of a two-stage progressive broach has been developed that will increase the processing capacity, reduce the pulling and vibration forces, the specific pressure on the drive teeth, thereby increasing the draw resistance and the quality of the cylindrical hole machining.

Протягиванием обрабатывают отверстия разнообразного профиля с точностью 6-7 квалитетов и шероховатостью поверхности R_a 1,25÷0,32мкм. Длина протягиваемого отверстия обычно не превышает трехкратной величины обрабатываемого диаметра. Перед протягиванием отверстия обрабатывают сверлом, зенкером или резцом.

Процесс протягивания выполняется разными схемами резания: профильная; прогрессивная или переменного резания; генераторная.

Высокая эффективность процесса протягивания объясняется большой длиной режущих кромок, одновременно участвующих в процессе резания; выполнением одним инструментом за один рабочий ход нескольких переходов, и отсутствием большого числа обратных ходов, которые сопровождают процесс долбления шпоночных пазов, шлицевых и зубчатых, многогранных и фасонных отверстий [1-7].

При обработке отверстий протяжками с круглыми зубьями сила резания скачкообразно изменяется вследствие переменного количества одновременно работающих зубьев, шаг которых обычно не кратен длине обрабатываемой детали. В результате постоянно меняется НДС технологической системы и возникновение колебаний, которые уменьшают качество обработки (увеличивается шероховатость, отклонение от заданной геометрической формы отверстия) и снижается стойкость протяжки [7-8].

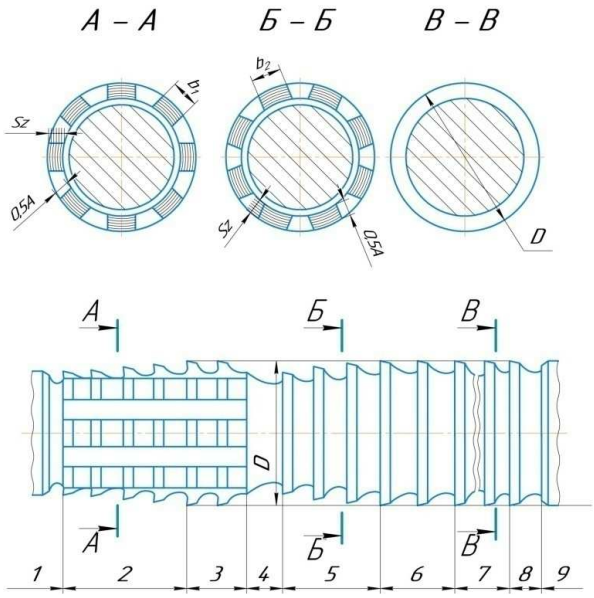


Рис. 1 – Двухступенчатая прогрессивная протяжка для обработки цилиндрических отверстий

Улучшение условий резания, качества протянутого отверстия, а также применение прогрессивных конструкций привели к разработке нового более эффективного металлорежущего инструмента – двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий (рисунок 1).

Режущая часть протяжки двухступенчатая: на первой ступени режущие зубья выполнены со шлицевыми прямобочными режущими выступами для деления стружки, что даёт возможность применить больший диапазон подачи на зуб для повышения производительности. Она идёт после участка 1 (передней направляющей) и обозначена цифрами 2, 3. На участке 2 выполнено расчётное количество режущих зубьев, прорезающих в отверстии прямобочные канавки. На участке 3 выполнено два предварительных калибрующих зуба. Участок 4 – увеличен для выхода инструмента при фрезеровании и шлифовании боковых сторон режущих выступов. Вторая ступень имеет круглые режущие зубья и срезает оставшиеся после прохода первой ступени участки между образовавшимися канавками. Она обозначена цифрами 5, 6. На участке 5 выполнено расчётное количество режущих зубьев, срезающих в отверстии выступы между образованными первой ступенью канавками. На участке 6 выполнено два предварительных калибрующих зуба, как и на первой ступени. На участке 7 выполнены круглые калибрующие зубья, после которых расположена задняя направляющая 8. Протяжка не усложнена, т.к. обработка выкружек на зубьях протяжки переменного резания может быть более трудоёмкой.

Таким образом, применение двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий позволит увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

Список литературы

1. Кацев П.Г. Обработка протягиванием. – М. : Машиностроение. 1986. – 272 с.
2. Скиженок В.Ф. и др. Высокопроизводительное протягивание/ В.Ф. Скиженок, В.Д. Лемешонок, В.П. Цегельник. – М. : Машиностроение, 1990. – 240с.
3. Dudak N., Taskarina A., Kasenov A., Itybaeva G., Mussina Z., Abishev K., Mukanov R. Hole machining based on using an incisive built-up reamer. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017. Т. 18. № 10. С. 1425-1432.
4. 4 Дудак Н.С., Шерниязов М.А., Степаненко Б.М., Ворощцова С.А. Теоретические исследования вибраций при протягивании // Наука и техника Казахстана № 3, 2002. – С. 158 – 166.
5. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К. Конструкции металлорежущих инструментов. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. 2016. С. 123-126.
6. Малюгин В.М., Клепиков В.В. Анализ процесса обработки отверстий протягиванием // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 2 С. 49 – 166.
7. 7. Касенов А.Ж. Формирование шероховатости поверхности отверстия обработанного развёрткой-протяжкой. Наука и техника Казахстана. 2011. № 3-4. С. 46-49.
8. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Таскарина А.Ж., Курмангалиев Т.Б. Конструкция протяжки профильной схемы резания с винтовыми равноширокими зубьями // Вестник ВКГТУ. – 2014. – № 1 – С. 25-30.

О ПАРАМЕТРАХ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАНИИ С ПОМОЩЬЮ БИЗНЕС-ПРОЦЕСОВ

М.Ю. Катаев[1], д.т.н., проф., Н.В. Лосева[1], специалист, К.И. Жидкова[2], магистрант,
[1]Томское региональное отделение Фонда социального страхования,
[2]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, тел. (3822)-70-15-36
E-mail: kmy@asu.tusur.ru

В статье приводится описание параметров, необходимых для информационной системы принятия решений государственной организации при оказании услуг с помощью бизнес-процессов. Любая информационная система, позволяющая подготавливать данные для принятия решений, строится на основе количественной информации. Однако, само решение выбирается чаще всего на основе опыта, знаний, что субъективно и не во всех случаях является правильным. Нами предлагается выделить класс событий, для которых возможно разработать шаблоны решений. Выбор решения основывается на анализе параметров бизнес-процессов государственной организации при оказании услуг.

Ключевые слова: принятие управленческих решений, бизнес-процессы, информационная система.

The article describes the parameters necessary for the decision-making information system of the state organization in the provision of services through business processes. Any information system that allows data to be prepared for decision-making is based on quantitative information. However, the decision itself is chosen most often on the basis of experience, knowledge, which is subjective and not always correct. We propose to allocate a class of events for which it is possible to develop decision templates. The choice of the solution is based on the analysis of the parameters of the business processes of the state organization in the provision of services.

Keywords: management decision-making, business processes, information system.

Проблемы информационной поддержки принятия управленческих решений в государственных учреждениях известны давно [1-5], поскольку не существует универсальных методик, позволяющих сделать управление своевременным, точным по месту и эффективным. Управленческие решения должны предназначаться для достижения целей организации в условиях воздействия внешних и внутренних факторов. Одним из элементов процесса управления является подход, на котором он строится, давно известный функциональный или современный – процессно-ориентированный [6]. В последнем случае организация представляется в виде некоторой взаимосвязанной системы, функционирующей на основе бизнес-процессов. В этом случае эффективность и качество принятия управленческих решений зависят от уровня взаимодействия между бизнес-процессами (системами параметров). Отметим, что в настоящее время, информация, которая возникает в ходе деятельности любой организации, преимущественно относится к экономическому и ресурсному классу описания. Вследствие чего, данной информации зачастую оказывается недостаточно, чтобы понимать сам процесс деятельности и влиять на его эффективность.

Для реализации требований, необходимых для понимания основных бизнес-процессов организации, необходимо строить модель, которая отражает процесс деятельности в полном его объеме. В основе такой модели должны находиться параметры, которые возникают в ходе взаимодействия бизнес-процессов. Среди всех типов бизнес-процессов можно выделить рутинные, которые выполняются на строго регламентированной основе (для государственной организации – процесс оказания той или иной услуги) и не типовые, неизбежно возникающие в ходе деятельности организации (например, составление не типового отчета). Одни бизнес-процессы обладают высокой динамикой принятия решений (несколько часов), другие же характеризуются длительным сроком реализации (несколько дней). Кроме того, на выполнение бизнес-процессов влияют условия неопределенности внешней и внутренней среды. Все эти особенности должны быть учтены в модели деятельности для того, чтобы правильно оценивать текущие результаты деятельности и строить прогнозные значения.

Выделим основные этапы управленческого процесса [3]:

1. Выявление проблемы;
2. Анализ проблемы;
3. Разработка проектов решения;
4. Принятие решения;
5. Реализация решения;
6. Анализ эффективности решения.

Для реализации всех этапов управленческого процесса необходима объективная, точная по месту и своевременная информация. Полученная в ходе деятельности информация позволяет устранить неопределенности при подготовке и принятию решений. Управление начинается со сбора и хранения информации и, благодаря ее обработке и анализу, управление осуществляется. Между уровнями управления (стратегическим, тактическим и оперативным) существует информационный и временной разрыв, который является тормозом при выработке эффективного решения.

Из теории управления известно, что обратная связь (регулирование по амплитуде и знаку отклонения) позволяет построить надежную и эффективную систему управления. На выходе системы формируется сигнал о наличии отклонения фактического значения результата от ожидаемого (планового), что является основой для формирования определенного типа воздействия, приводящего к уменьшению отклонения. Для государственных учреждений одним из параметров бизнес-процессов, который может быть точно измерен, является время, которое затрачивается каждым сотрудником на выполнение бизнес-процессов и отдельных поручений руководителя. Естественно, что между выполнением бизнес-процессов и поручений у сотрудника возникает необходимость в затратах времени, не связанных с основной деятельностью. На этой основе можно построить численную модель [7], которая будет основываться на общем количестве рабочего времени, затраченном сотрудником на бизнес-процессы, поручения и остальное время. Накапливая эту информацию, можно однозначно судить как об эффективности работы отдельно взятого сотрудника, так и об эффективности работы государственной организации в целом. Предполагается, что эта информация может быть использована для подготовки и принятия управленческих решений.

Система, которая может быть построена на использовании подобной информации, предлагается нами в следующем виде:

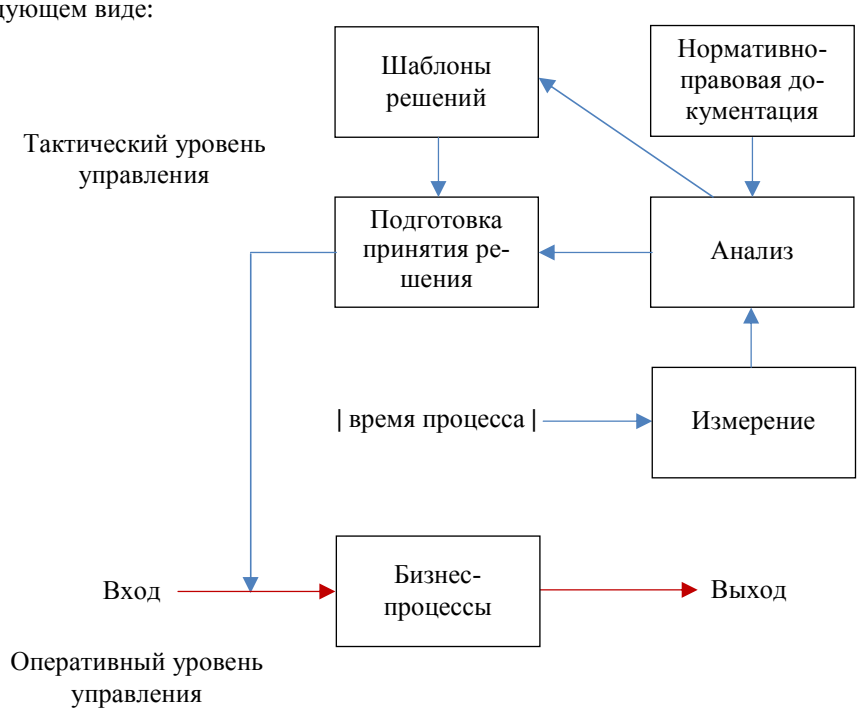


Рис. 1. Содержательная модель системы управления, основанная на бизнес-процессах

Из рис. 1 видно, что предлагаемая модель описания деятельности организации максимально близка к реальному объекту управления, так как основана на измерении времени. Отметим, что сегодня на рынке информационных систем, основанных на бизнес-процессах, отсутствуют решения, которые опираются на параметры, связанные с бизнес-процессами в ходе деятельности. Существует огромное количество решений, автоматизирующих те или иные задачи управления предприятием или организацией, однако, не позволяющих автоматизировать подготовку принятия решений.

Новизна работы заключается в определении параметров информационной системы, позволяющей руководителю государственной организации получать некоторые шаблонные проекты ре-

шений, в зависимости от анализа временного процесса деятельности. Особенно это важно в моменты, когда необходимо учитывать различные факторы внешней и внутренней среды.

Список литературы

1. Белов В.С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения. – М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М.: 2005. – 111 с.
2. Пейн Э. Руководство по CRM: путь к совершенствованию менеджмента клиентов. – М.: Гревцов Паблишер, 2007. – 255 с.
3. Шуремов Е.Л., Чистов Д.В., Лямова Г.В. Информационные системы управления предприятиями. – М.: Бухгалтерский учет, 2006. – 109 с.
4. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике. – М.: Экзамен, 2003. – 494 с.
5. Дэниел О'Лири ERP-системы: выбор, внедрение, эксплуатация. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: Вершина, 2004. – 272 с.
6. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 408 с.
7. Катаев М.Ю., Емельяненко А.А. Модель оценки эффективности тактического планирования на предприятии с процессно-ориентированным подходом к управлению / М.Ю. Катаев, А.А. Емельяненко. // Управление экономическими системами. – 2013. – №58. – С.31-42.
8. Катаев М.Ю., Bulysheva L.A., Li Da Xu, Лосева Н.В. Влияние внешней и внутренней среды на принятие решений государственного учреждения / М.Ю. Катаев, L.A. Bulysheva, Li Da Xu, Н.В. Лосева // 22-я Международная научно-практическая конференция, 10-11 октября 2016, г.Томск, В-Спектр. – Томск. 2016. – С.50-54.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫБОРА СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

О.А. Колегова, специалист по УМР каф. ИС
«Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета»,
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-64
E-mail: Olga030188@mail.ru

В статье обозначена проблема снижения рентабельности пассажирских автотранспортных предприятий и связанные с этим сложности по реализации процедуры стратегического прогнозирования и управления предприятием. Обосновано использование метода аналитических сетей в модели поддержки принятия решений при управлении стратегией автотранспортного предприятия, представленной в работе [1], в качестве инструмента, позволяющего формализовать экспертные знания на основных этапах оценки и выбора проектов стратегического развития. Описаны основные шаги и приведены результаты расчета алгоритма метода аналитических сетей в рамках данной модели.

Ключевые слова: стратегия, пассажирские автотранспортные предприятия, рентабельность предприятия, метод аналитических сетей.

The article outlines the problem of reducing the profitability of passenger motor transport enterprises and the associated difficulties in implementing the procedure of strategic forecasting and enterprise management. The use of the method of analytical networks in the model of decision support in managing the strategy of a trucking enterprise presented in [1] is substantiated as a tool that allows to formalize expert knowledge at the main stages of evaluation and selection of projects for strategic development. The main steps and calculations of the algorithm algorithm for analytical networks within the framework of this model are described.

Keywords: strategy, passenger motor transport enterprises, profitability of the enterprise, method of analytical networks.

Большинство государственных пассажирских автотранспортных предприятий функционирует на рынке транспортных услуг в состоянии хронической убыточности, либо на пределе рентабельности. Особенно остро проявляется данная проблема на государственных автотранспортных предприятиях малых и средних городов, что обусловлено рядом историко-экономических предпосылок и сформировавшихся на их фоне трудноразрешимых социально-экономических проблем, в том числе недостаточностью мер государственной финансовой поддержки предприятий [1,2].

Хозяйственная деятельность государственных пассажирских предприятий, функционирующих с одной стороны в условиях низкой рентабельности и убыточности, а с другой в условиях необходимости выполнения социальных обязательств перед населением, сопряжена с необходимостью самостоятельного поиска путей реализации стратегических направлений предприятия, способных обеспечить выход из сложного финансово-экономического положения. Однако наличие на рынке автотранспортных услуг большого количества частных перевозчиков и тяжелое финансовое состояние государственных пассажирских автотранспортных предприятий, подвергает в значительной мере реализацию стратегической деятельности данных предприятий рискам, которые предполагают вероятность наступления неблагоприятных событий.

Процедура стратегического прогнозирования наиболее рентабельных направлений развития предприятий, занимающихся автотранспортными услугами, осложнена следующими проблемами. Во-первых, для полноценной и всесторонней оценки деятельности автотранспортного предприятия и формирования стратегических направлений его развития требует анализировать и учитывать все факторы, действующие на предприятие: население - потребители транспортных услуг, частные перевозчики – конкуренты рынка, местные муниципальные органы власти, внутренние бизнес-процессы и т.п. Во-вторых, наличие большого количества показателей для оценки хозяйственной деятельности предприятия, а также необходимость использования качественной информации требует привлечения методов экспертных оценок. Такие задачи относятся к задачам принятия решений в условиях неопределенности и мультикритериальности [3].

Применение метода аналитических сетей для выбора наиболее рентабельного проекта развития предприятия.

Для решения данной задачи предлагается разработать модель на основе методологии системы сбалансированных показателей (ССП) и метода аналитических сетей (МАС). ССП позволяет обеспечить стратегическое управление предприятием на основе измерения и оценки эффективности реализуемой стратегии по набору оптимально подобранных сбалансированных показателей, отражающих все аспекты деятельности предприятия [4]. ССП предлагается дополнить методом аналитических сетей (МАС), так как в методологии ССП нет четкого алгоритма принятия решений по выбору наиболее приоритетных стратегических целей и определению степени влияния стратегических целей более низких уровней на цели более высокого уровня, а также влиянии стратегических целей на выбор альтернативных проектов развития предприятия. МАС позволяет работать с плохоформализуемыми и многокритериальными проблемами и получать оценки приоритетности всех элементов сетевой структуры относительно заданной общей цели при наличии взаимных влияний и обратных связей [5].

В работе [1] описаны основные этапы разработки данной модели поддержки принятия решений по выбору стратегии автотранспортного предприятия.

В данной модели МАС используется в качестве инструмента для выбора наиболее приоритетных стратегических целей в разрезе каждого аспекта финансово-хозяйственной деятельности предприятия и выбора наиболее рентабельного проекта среди альтернативных проектов развития автотранспортного предприятия.

Реализация базового алгоритма метода аналитических сетей включает в себя выполнение следующих этапов:

1. Построение сетевой структуры (связи в сети устанавливаются аналогично связям в разработанной стратегической карте ССП) [1]. Все элементы: стратегические цели, которые представлены в модели в качестве факторов, стратегические проекты развития – альтернативы объединяются в кластеры (проекции ССП) – кластер факторов-целей, альтернатив. В сети отображается влияние кластеров друг на друга в отношении глобальной цели предприятия – повышение рентабельности.

Построена аналитическая сеть, которая включает в свою структуру основные группы факторов и альтернатив, образующих 7 кластеров – 7 сформированных проекций в рамках ССП (рис. 1).

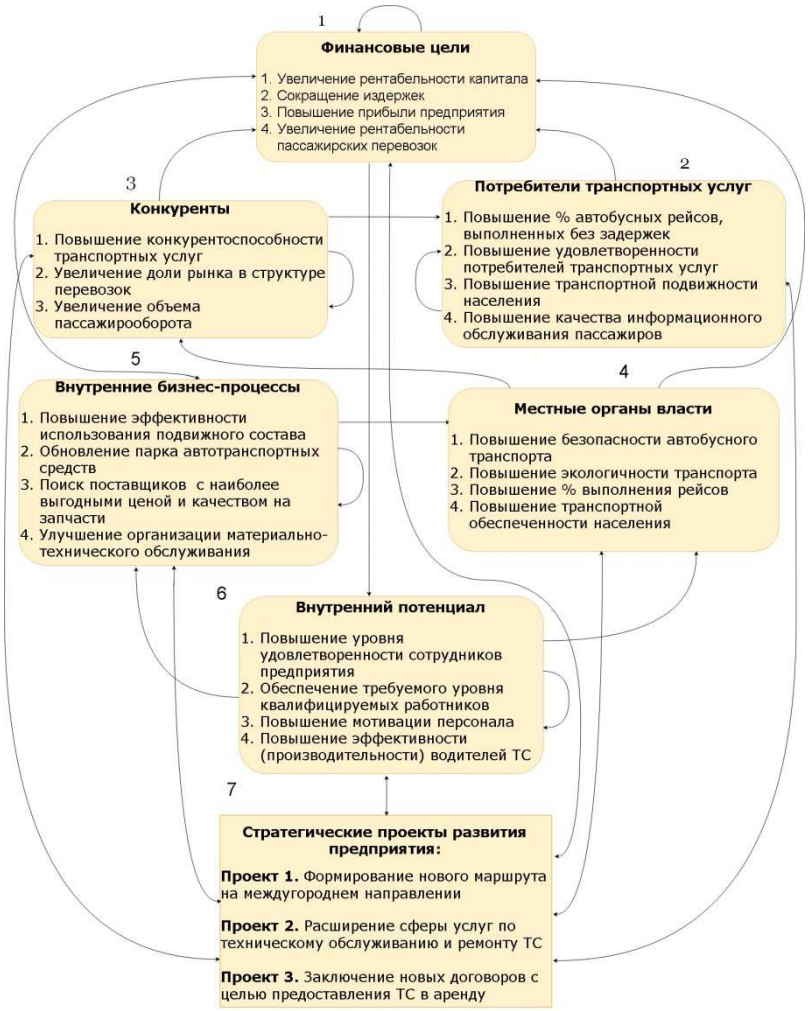


Рис. 1 Структура сетевой задачи выбора наиболее приоритетного проекта развития пассажирского автотранспортного предприятия

Формирование кластеров и связей между ними осуществляется на основе конкретных знаний экспертов (руководство, специалисты планово-экономического отдела) данной области о специфике решаемой задачи.

Кластер «Стратегические проекты развития предприятия» включает в себя три альтернативных стратегических проекта, реализация каждого из которых при тех или иных условиях и достижении тех или иных стратегических целей различных кластеров в наибольшей степени способствует достижению общей стратегической цели предприятия. Кластеры «Внутренний потенциал», «Внутренние бизнес-процессы», «Местные органы власти», «Потребители транспортных услуг», «Конкуренты», «Финансовые показатели» включают стратегические цели, каждая из которых характеризует разные аспекты деятельности пассажирского предприятия, и реализация которых способствует достижению общей цели предприятия – повышению рентабельности.

2. Определяются приоритеты элементов кластеров. Составляются матрицы парных сравнений элементов каждого кластера относительно каждого элемента влияющего на него кластера. Главные собственные векторы матриц сравнений интерпретируются как приоритеты элементов кластеров. Если в разрезе одной проекции (кластера) ее элементы влияют друг на друга (наличие циклических связей), то формируются матрицы парных сравнений элементов кластеров относительно друг друга. Так как МАС позволяет учитывать взаимное влияние факторов и альтернатив в сети, то при проведении процедуры сравнения экспертам необходимо осуществлять корректную постановку вопросов. Так, например, при заполнении матриц парных сравнений альтернатив относительно элементов кластеров эксперт отвечает на вопрос: «Реализация какого стратегического

проекта принесет наибольшую рентабельность предприятию при достижении данной цели?». При обратном сравнении (элементов кластеров относительно альтернатив) эксперт отвечал на вопрос: «Достижение какой цели в наибольшей степени способствует рентабельности данного стратегического проекта?».

3. Построение суперматрицы на основании векторов приоритетов.

Числовая модель в МАС представлена суперматрицей – матрицей, в которой отображается численно взаимное влияние элементов в сети или в иерархии (рис. 2).

$$W = \begin{array}{c|cc} & \text{Критерии} & \text{Альтерна тивы} \\ \hline \text{Критерии} & W_{11} & W_{12} \\ \text{Альтерна тивы} & W_{21} & W_{22} \end{array}$$

Рис. 2 Числовая модель МАС

В суперматрице W элементы Wij называются блоками и представляют собой матрицы, выражающие влияние i-го компонента сети матрицы W на j-й компонент. Столбцы в блоках заполняется числами, являющимися локальными приоритетами матриц парных сравнений элементов в строках этого блока по отношению к элементам в столбцах этого блока – приоритеты элементов кластеров проекций.

При заполнении блоков суперматрицы при вынесении суждений экспертами была достигнута необходимая степень их согласованности (ОС≤0,1).

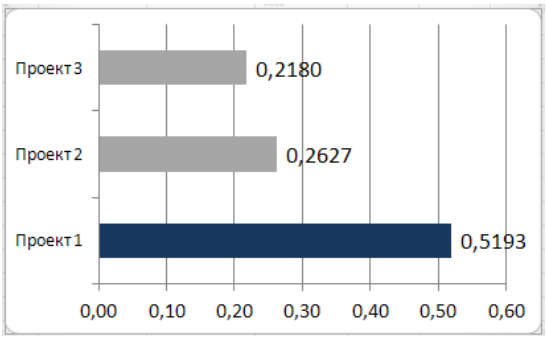


Рис. 3 Глобальные приоритеты альтернативных проектов суперматрицы

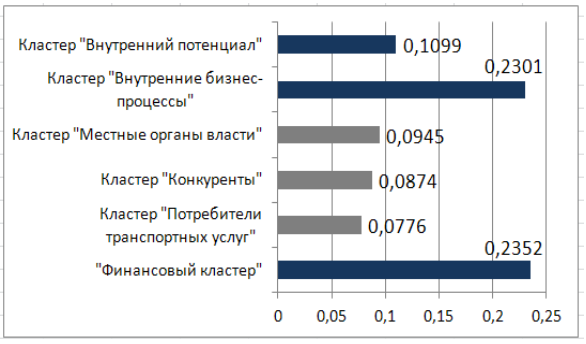


Рис. 4 Вклад каждого кластера в цель

4. Вычисляются приоритеты (веса) кластеров аналитической сети. Составляются матрицы парных сравнений влияний каждого кластера относительно других. Полученные приоритеты кластеров используются в качестве весовых коэффициентов в процедуре приведении матрицы к стохастическому виду.
5. Приведение суперматрицы к стохастическому виду. Для решения данной задачи веса кластеров умножаются на соответствующие приоритеты элементов кластеров. Формируется матрица стохастическая по столбцам.
6. Анализ структуры суперматрицы и вычисление результирующих предельных приоритетов. Для получения решения задачи на заключительном этапе алгоритма МАС формируется предельная суперматрица путем последовательного возведения взвешенной (стохастической по столбцам) суперматрицы в целочисленные степени. Последовательное возведение стохастической суперматрицы в целочисленные степени позволяет получить вектор предельных приоритетов, неизменяющийся при дальнейшем возведении в степень.

С помощью процедуры нормирования получим окончательное решение задачи – глобальный вектор приоритетов и вклад каждого кластер в достижение общей цели предприятия (рис. 3,4).

Полученные результаты позволяют считать альтернативный проект «Формирование нового маршрута на междугороднем направлении» наиболее рентабельным для автотранспортного предприятия (приоритет 0,9).

Согласно рис. 4 наибольший вклад в достижение общей цели предприятия с учетом важности и взаимосвязи стратегических целей стратегической карты предприятия вносят кластеры - проекции «Финансовый кластер» (0,2352), «Внутренние бизнес-процессы» (0,2301), Внутренний потенциал (0,1009). «Местные органы власти» является 4-ым по влиянию кластером со значение предельного приоритета 0,0945. Меньший вклад в достижение общей цели имеют кластеры «Конкуренты» (0,0874) и «Потребители транспортных услуг» (0,0776).

Следовательно, в рамках реализации наиболее приоритетного проекта 1 в условиях взаимного влияния основных действующих сил наибольшее внимание при разработке стратегии предприятия следует уделить анализу и разработки целей, характеризующих финансовую составляющую, внутренние бизнес-процессы автотранспортного предприятия и аспекты взаимоотношений с персоналом предприятия.

На рис. 5 представлены приоритеты функциональных стратегических целей в разрезе каждого кластера – проекции ССП.

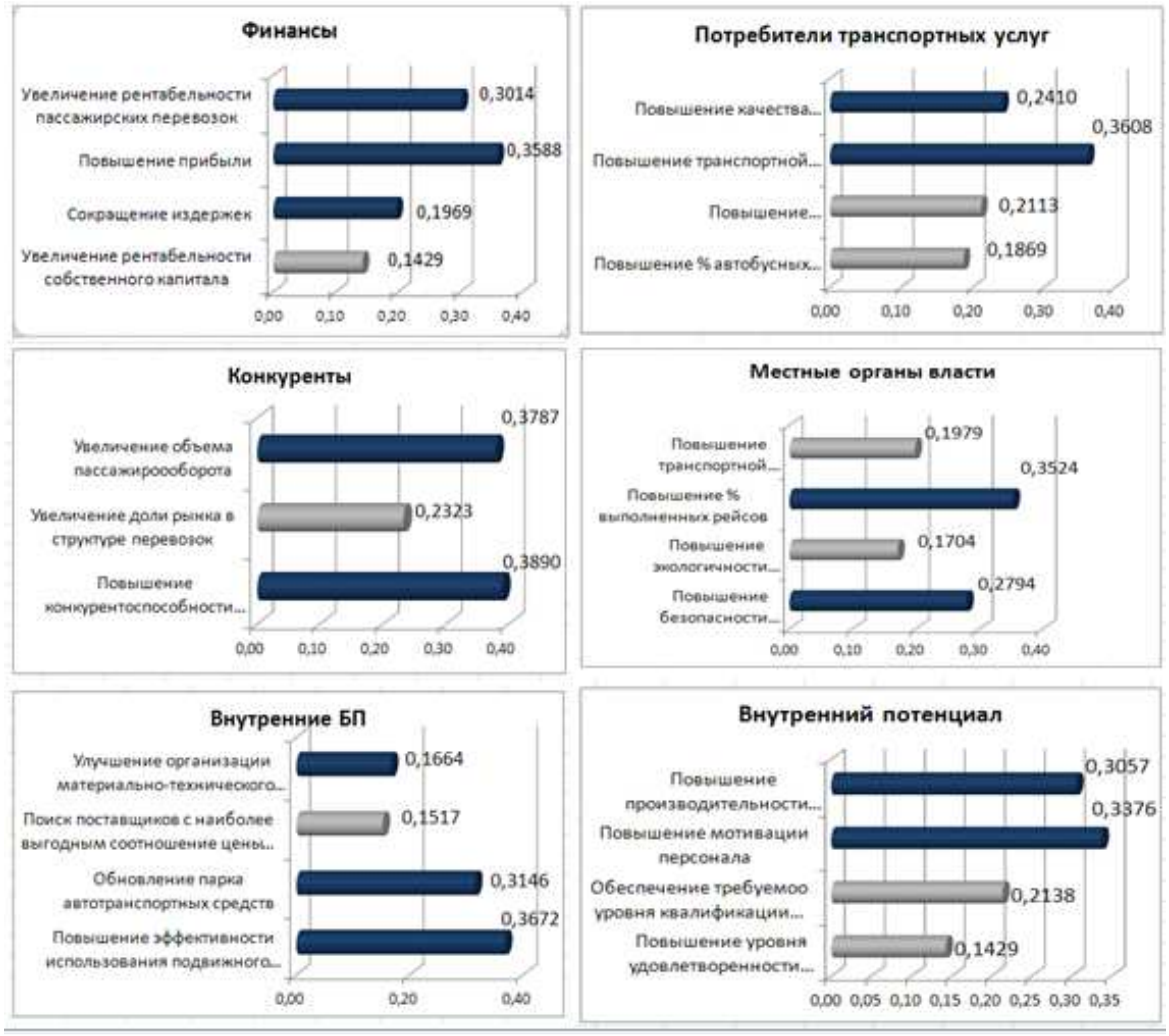


Рис. 5 Приоритеты элементов кластеров в разрезе каждого кластера

Получение предельных значений векторов приоритетов в разрезе каждого кластера позволяет концентрировать усилия на достижении только тех промежуточных функциональных стратегических целей в каждой проекции стратегической карты (сферы деятельности автотранспортного предприятия), которые в наибольшей степени способствуют увеличению рентабельности предприятия в рамках выбранного приоритетного проекта 1.

Согласно полученным данным при реализации стратегии автотранспортного предприятия предлагается концентрировать внимания на реализации следующих наиболее приоритетных промежуточных стратегических целей в разрезе каждой из проекций:

- «Внутренний потенциал»: мотивация персонала (0,3376) и повышение производительности водителей ТС (0,3057);
- «Внутренние бизнес-процессы»: «Повышение эффективности использования подвижного состава» (0,3672), «Обновление парка автотранспортных средств» (0,3146) и «Улучшение организации материально-технического снабжения» (0,1664);
- «Местные органы власти»: «Повышение % выполнения рейсов» (0,3524), «Повышение безопасности автобусного транспорта» (0,2794);
- «Конкуренты»: «Повышение конкурентоспособности» (0,3890), «Увеличение объема пассажирооборота» (0,3787);
- «Потребители транспортных услуг»: «Повышение транспортной подвижности населения» (0,3608) и «Повышение качества информационного обслуживания» (0,2410);
- «Финансовые цели»: «Повышение прибыли» (0,3588), «Увеличение рентабельности пассажирских перевозок» (0,3014) «Сокращение издержек» (0,1969).

Предполагается соответственно отслеживание только тех показателей стратегической карты, которые характеризуют выбранные промежуточные стратегические цели, что позволяет снизить трудоемкость в процессе мониторинга множества показателей стратегической карты автотранспортного предприятия.

Применение метода аналитических сетей в разработанной модели позволит решить следующие задачи:

- оценить степень влияния реализации тех или иных стратегических целей на реализацию стратегических проектов предприятия;
- значительно облегчить трудоемкость этапа выбора наиболее значимых целей в рамках методологии сбалансированной системы показателей - исключить из рассмотрения и оценки несущественные с точки зрения хозяйственной деятельности предприятий стратегические цели и соответственно отслеживание ненужных показателей, тем самым образом обеспечивая повышение качества и достоверности итогового результата получения адекватного стратегического варианта развития.
- выявить степени влияния основных сил (конкуренты, потребители транспортных услуг, местные органы власти, персонал предприятия и т.д.) на достижение поставленной цели (определение значимости вклада каждой категории в достижение целей предприятия).
- позволяет установить правильную последовательную логическую связь между целями различных проекций ССП, в результате чего становится возможным достижение общей стратегической цели автотранспортного предприятия.

Список литературы

1. Колегова О.А., Захарова А.А. Разработка модели поддержки принятия решений при выборе стратегии государственного пассажирского автотранспортного предприятия // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 11 (часть 2); URL: http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view ?id=41938 (дата обращения: 14.12.2017).
2. Колегова О.А., Захарова А.А. Основные проблемы функционирования государственных автотранспортных предприятий на рынке пассажирских перевозок малых и средних городов [Электронный ресурс] / О. А. Колегова, А. А. Захарова // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 18-20 мая 2017 г., Юрга / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ); под ред. Д. А. Чинахова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – [С. 117-120]. – Заглавие с экрана. – Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: http://earchive.tpu.ru/handle/11683/38632/
3. A.A. Zakharova, A.N. Lazareva, A.A. Aleksandrov. Mathematical Software. For Evaluating And Supporting The Selection Decision On Academic Programs. Advances in Computer Science Research, 2016. doi:10.2991/itsmssm-16.2016.107
4. Каплан Роберт С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. - 304 с.
5. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т. Л. Саати. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 360 с.

КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Е.С. Деменева, магистр, Е.С. Ерастова, магистр, В.В. Кокарева,
старший преподаватель кафедры ТПД
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, тел. (846) 335-18-26
E-mail: esdemen@yandex.ru

В данной работе рассматриваются комплексные технологические процессы, которые позволят наиболее быстро и экономично внедрить аддитивные технологии в традиционное производство, а так же структура (Workflow) комплексного технологического процесса и требования к ее формированию. Основная цель работы – сформировать методику организации технологических процессов на базе аддитивного производства для обеспечения требуемых геометрических и технико-экономических параметров детали.

This paper deals with the complex technological processes which are based on joint additive and convenient manufacturing for most effective and economical management. The main goal of the work is to form a methodology and Workflowfor for organizing complex processes to ensure the required geometric and technical, economic parameters of the part.

Аддитивные технологические процессы

Сегодня в авангарде производства современной авиационной техники тенденции снижения веса конструкций за счет топологической и бионической оптимизации. Кроме этого, серийность производства уменьшается и необходимо изготавливать изделия небольшими партиями более экономичными способами. Широко внедряемые аддитивные технологии позволяют получить свободную форму детали с оптимальным использованием материала. Однако, существующие недостатки данных технологий, такие как невысокая точность и шероховатость поверхности, приводят к применению пост обработки «выращиваемых» деталей.

Комплексный технологический процесс позволяет получать деталь с требуемой точностью и заданной формой, исключая ограничения входящих в него отдельных технологических процессов. В основном эффективность применения подобных технологических процессов наблюдается при изготовлении изделий сложной формы из труднообрабатываемых материалов с обеспечением требований точности и качества поверхности. Особенность организации комплексного технологического процесса заключается в оптимальном синтезе существующих технологических процессов, как аддитивных, так и субтрактивных.

В рамках данной работы комплексный технологический процесс включает технологию селективного лазерного сплавления (СЛС) и механическую обработку.

Основные особенности комплексного технологического процесса:

- сокращение количества технологических операций, простоев оборудования, а следовательно и длительности производственного цикла;
- возможность компенсировать недостатки аддитивных технологий (остаточные напряжения) за счет дополнительной термообработки или механического воздействия;
- возможность применять различные материалы и создавать новые функциональные свойства изделий;
- упрощение процесса планирования и оперативного учета.

Главной задачей при организации комплексных технологических процессов является оптимальное сочетание факторов формообразования детали посредством аддитивных технологий (толщина слоя, ориентация, плотность, остаточные напряжения) и традиционных методов (инструмент, допуски) с требованиями обеспечения точности и качества изделия. Основная идея формирования комплексного технологического процесса при изготовлении изделий сложной формы и конфигурации заключается в таком сочетании аддитивных и субтрактивных методов производства, при котором механическая обработка будет минимальной, что приведет к сокращению затрат на приобретение специальной оснастки и инструментов. Наиболее актуальны данные технологии при изготовлении штучной кастомизированной продукции, производство «на заказ» которой традиционными методами дорогостоящее и требует изготовления специальной оснастки, себестоимость которой не окупается.

Таким образом, селективное лазерное сплавление порошковых композиций позволяет достигнуть заданную форму изделия, а традиционные методы механической обработки обеспечивают заданные допуски.

На рисунке 1 представлена концепция комплексного технологического процесса, состоящего из последовательного сочетания СЛС и механической обработки детали.

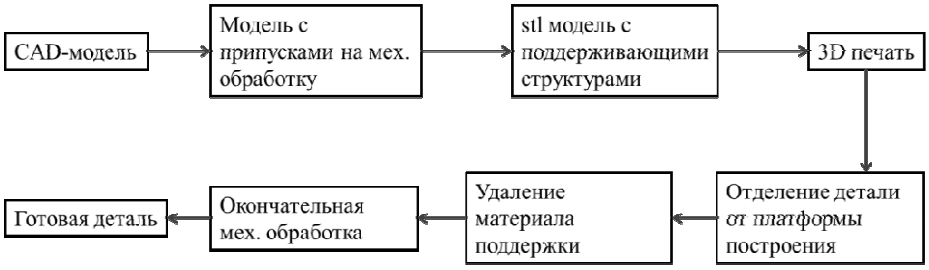


Рис. 1. Концепция комплексного технологического процесса на базе селективного лазерного сплавления

На рисунке 2 приведен Workflow комплексного технологического процесса на базе селективного лазерного сплавления.

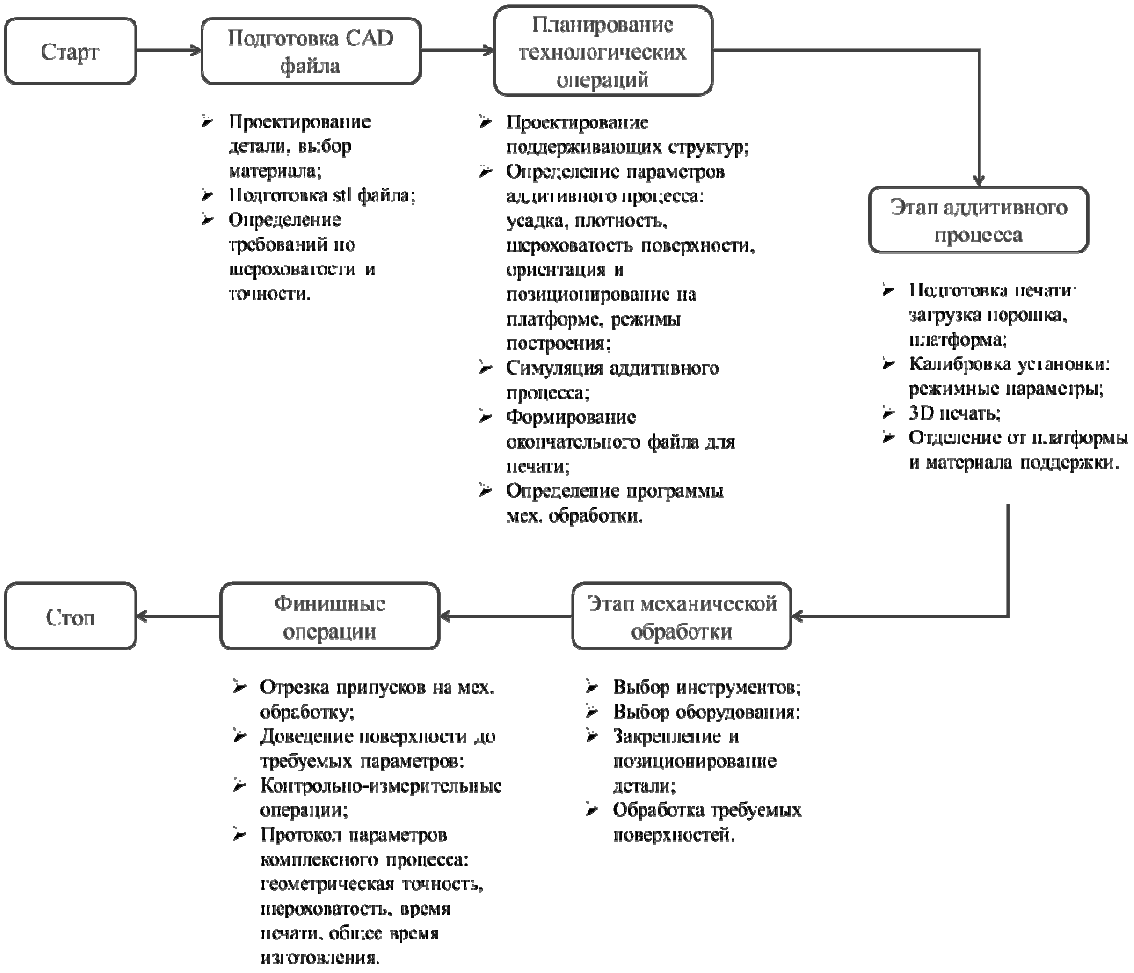


Рис. 2. Workflow комплексного технологического процесса на базе селективного лазерного сплавления

Особенность комплексного технологического процесса заключается в том, что выбор конкретного материала и технологии аддитивного производства определяет ограничения и требования для механической обработки.

Таким образом, при организации комплексного технологического процесса должна создаваться цифровая вычислительная среда для планирования и моделирования технологических процессов с учетом ограничений и особенностей каждого из них.

Рис. 3. Основные компоненты комплексного технологического процесса

Основными компонентами системы комплексного технологического процесса (рисунок 3) являются конструкция, материал, аддитивные технологии, технологии механической обработки.

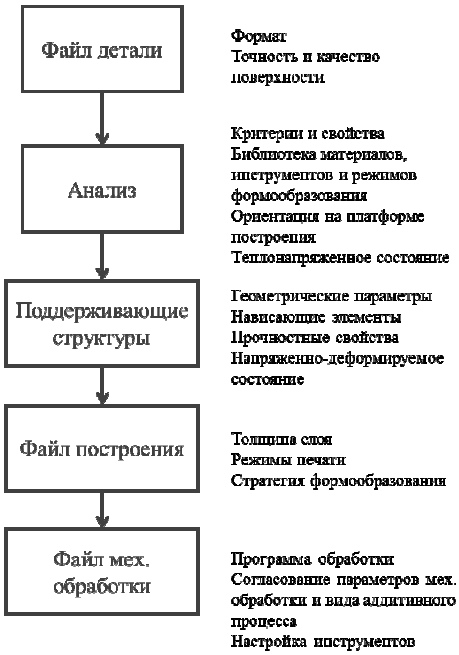


Рис. 4. Структурная схема блоков информационной системы комплексных технологических процессов

Особенности конструкции детали: толщина стенок, внутренние каналы и отверстия, внутренняя структура, влияют на формирование итогового CAD файла для «выращивания» на установке аддитивного производства. Свойства порошкового материала определяют режимы «выращивания», что формирует точность и качество, свойства получаемого изделия, следовательно и параметры (силы резания) механической обработки. Особенности аддитивного процесса, как было сказано выше, определяют стратегию «выращивания».

Для обеспечения связанности технологических процессов необходима интеграция данных по ограничениям и требованиям каждого из компонентов комплексного технологического процесса. На рисунке 4 приведена схема структурных блоков цифровой вычислительной среды для планирования и моделирования комплексных технологических процессов.

Преимущества применения комплексных технологических процессов на базе аддитивных технологий заключаются в следующем:

- экономия времени и издержек на предварительную обработку труднообрабатываемых материалов (титановые сплавы и сплавы на основе никеля);
- возможность изготовления изделий сложной (кастомизированной) конфигурации (геометрическая форма и внутренняя структура);
- увеличение коэффициента использования материала.

Список литературы

1. Томилина Т.М., Вдовин Р.А., Гребенников А.С., Лактионова М.М., Смелов В.Г., Сотов А.В. Сравнение традиционных и аддитивных методов применительно к созданию эффективных виброизоляторов и звукопоглотителей В сборнике: Аддитивные технологии: настоящее и будущее. Сборник докладов III Международной конференции. 2017. С. 20.

2. Богданович В.И., Гиорбелидзе М.Г., Сотов А.В., Проничев Н.Д., Смелов В.Г., Агаповичев А.В. Математическое моделирование процессов плавления порошка в технологии селективного лазерного сплавления Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 4-1. С. 105-114.

НАСТРОЙКА МОДЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

А.А. Захарова, к.т.н., Я.В. Гребенюк, студ.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Юргинский технологический институт
652055, г. Юрга ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 77764
E-mail: aaz@tpu.ru.

Показана актуальность разработки платформы (программной среды), позволяющей на её основе создавать системы стратегического управления организациями, используя сквозные технологии поддержки принятия решений и универсальные инструментальные средства. Статья посвящена решению одной из задач, возникающей при разработке такой платформы – настройке универсальных моделей поддержки принятия решений под условия принятия решений и особенности предметной области стратегического управления. Разработан механизм настройки моделей, выявлены и представлены параметры настройки.

Программа «Цифровая экономика Российская Федерации» [1] ставит одной из задач создание и развитие перспективных цифровых платформ и сквозных технологий. При этом под цифровой платформой понимается система организации цифрового взаимодействия (основанная на совокупности технологий, продуктов и услуг субъектов – производителей и потребителей услуг), открытая для присоединения новых субъектов и позволяющая субъектам создавать собственные продукты и услуги и в дальнейшем предоставлять их на платформе. В связи с этим актуальной задачей является создание фундаментальных научных заделов для возникновения новых платформ и технологий.

В то же время в настоящее время в РФ осознана необходимость повышения качества и эффективности стратегического управления на всех уровнях экономики: макро, мезо, микро и т.д. [2,3]. Эта цель достижима только при использовании современных информационных технологий, создании новых научно-методологических основ поддержки принятия стратегических решений. Учитывая современные тенденции развития информационных технологий, целесообразна разработка среды (платформы), позволяющей на её основе создавать системы стратегического управления организациями, используя сквозные технологии поддержки принятия решений и универсальные инструментальные средства. Это позволит, с одной стороны, создавать собственные программные продукты для решения задач стратегического управления различного вида (некоммерческое использование), а, с другой стороны, предоставлять на базе этой платформы услуги стратегического консалтинга. Учитывая объемы мирового (более 31 млрд. долл.) и российского (более 3,7 млрд руб.) рынков стратегического консалтинга [4], такая среда разработки (платформа) может обеспечить повышение конкурентоспособности цифровых технологий РФ.

В [5] представлены структура, состав универсальных моделей принятия решений и программных модулей среды разработки систем поддержки принятия стратегических решений (СР СППСР), основанных на использовании экспертных знаний. Реализация прототипа данной среды осуществляется на базе технологической платформы 1С: Предприятие 8.3. СР СППСР позволяет разрабатывать на основе библиотек универсальных инструментов экземпляры СППСР для решения различных задач стратегического управления любых организаций (социально-экономических систем). В среде разработки предусмотрена возможность опционального включения в создаваемый экземпляр СППСР типовых модулей.

Одной из задач, которую необходимо решить при разработке СР СППСР, является настройка универсальных моделей поддержки принятия решений под условия принятия решений и особенности предметной области стратегического управления. Решение этой задачи и представлено в данной статье.

Представим некоторые особенности универсальных моделей поддержки принятия решений СР СППСР [5] в таблице 1.

Таблица 1

Универсальные модели среды разработки СППСР

Этап стратегического управления	Модель принятия решений (номер в таблице 2)	Назначение	Базовые методы
Анализ	Модель оценки стратегических факторов социально-экономических систем (СЭС) (1)	Формализация экспертных суждений о необходимом (достаточном, планируемом) уровне конкретных факторов СЭС; определение принадлежности исследуемого (фактического, достигнутого) значения фактора СЭС к тому или иному уровню (например, «низкий – высокий»). Являются входными для использования нечетких моделей SWOT-анализа.	Лингвистические переменные, методы построения терм-множеств (попарных сравнений, статистических данных, стандартных функций), методы агрегирования и оценки согласованности мнений экспертов.
	Нечеткие модели SWOT-анализа (2)	Оценка желательных и фактических значений факторов СЭС с точки зрения их важности и необходимости учета их влияния на стратегическое развитие СЭС; установление возможных взаимосвязей отдельных факторов и оценка важности их сочетаний для стратегического развития СЭС.	Лингвистические переменные системы нечетких правил (продукции), нечеткий логический вывод на основе правила modus ponens, методы агрегирования и оценки согласованности мнений экспертов.
Выбор	Иерархическая модель оценки проектов развития СЭС (3)	Оценка альтернатив (проектов, программ) развития СЭС, исходя из влияния, оказываемого действующими силами внутри предприятия и его окружении.	Метод анализа иерархий, методы агрегирования и оценки согласованности мнений экспертов.
Контроль	Модель интегральной оценки стратегического развития СЭС (4)	Контроль достижения целевых стратегических ориентиров в отдельности, оценка общей успешности реализации выбранной стратегии СЭС.	Нечеткие переменные, многокритериальный метод, методы агрегирования и оценки согласованности мнений экспертов.

Покажем на примере одной из моделей, какие параметры требуют настройки в зависимости от условий принятия решения, предметной области и особенностей самой задачи принятия решений. Модель оценки стратегических факторов СЭС основана на лингвистических переменных.

Лингвистическая переменная фактора имеет следующий вид [6]:

$$<\beta, T, X>,$$

где β – наименование лингвистической переменной;

T – множество значений лингвистической переменной $T = \{T_1, T_2 ... T_s\}$, характеризующих желаемый (допустимый, требуемый и т.д.) уровень проявления данного фактора и/или его влияния на выбор альтернативы. Каждое значение лингвистической переменной представляет собой наименование нечеткой переменной $\alpha_s, s = \overline{1,h}$, формализующей s-тый уровень фактора;

X – область определения лингвистической переменной.

Нечеткие переменные, характеризующие уровень фактора имеют вид:

$$< \alpha_s, X, C_{\alpha_s} >,$$

где α - наименование нечеткой переменной;

$C_{\alpha_s} = \{\mu_{\alpha_s}(x) / x\}$ – нечеткое множество, характеризующее значения нечеткой переменной α_s;

$\mu_{\alpha_s}(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества C_{α_s}. Для каждого значения $x \in X$ может быть получено значение степени принадлежности (соответствия) данного значения фактора *s*-тому уровню фактора.

Метод построения функции принадлежности должен позволять учитывать условия, особенности и способы получения и обработки экспертной информации для оценки конкретного фактора, а именно:

- тип фактора (качественный, количественный);
- наличие универсальных измерительных свойств. Количественные факторы, по сути, сами собой представляют такие свойства. Для качественных факторов найти универсальные свойства не всегда возможно, в качестве таковых могут служить, например, обобщенные показатели (рассчитываемые по устоявшимся методикам), относительные рейтинги объектов и т.п.;
- источник информации (эксперт в области знаний, отдельный субъект среды принятия решений или их совокупность);
- тип ЛПР (индивидуальный, групповой);
- численность экспертной группы;
- тип шкалы, используемый для оценки факторов
- характер измерений и др.

Таким образом, для пользователя СППСР, осуществляющего настройку модели, лингвистическая переменная имеет следующие реквизиты:

1. Наименование полное и сокращенное.
2. Краткое описание.
3. Функциональная область, к которой относится эта переменная (выбор из заданных ЛПР в данном проекте СППСР.
4. Область определения, которая может быть задана двумя вариантами:
   - интервал значений, например минимум 0, максимум 300$
   - перечислением альтернатив: например, Юрга, Новосибирск, Кемерово и т.д.
5. Единицы измерения.
6. Базовые значения (названия нечетких переменных). Например, «низкий», «средний», «высокий».
7. Метод, которым будет осуществляться построение функции принадлежности.
8. Способ экспертного оценивания: индивидуальный или групповой. В зависимости от выбранного способа в СППСР будут использоваться соответствующие методы обработки экспертных оценок, получения групповой оценки, определяться согласованность экспертных мнений.

Сведем возможные параметры настройки моделей в таблицу 2.

Таблица 2

Параметры настройки моделей принятия решений в СППСР

Настраиваемый параметр	Модели принятия решений (нумерация по табл.1)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Описание лингвистической (нечеткой) переменной (название, краткая характеристика, ед.измерения)	+			+
Функциональная область, к которой относится лингвистическая (нечеткая) переменная	+			+
Область определения лингвистической (нечеткой) переменной	+			+
Базовые значения лингвистической переменной	+			
Метод построения функции принадлежности	+			+
Способ экспертного оценивания (индивидуальный/групповой)	+	+	+	+
Создание структуры иерархии для оценки проектов развития СЭС			+	
Создание структуры целевых ориентиров реализации стратегии (в т.ч. использование подгрупп)				+
Назначение весов целевых ориентиров реализации стратегии				+

Вопросы формирования экспертной группы и настройки параметров методов оценки компетентности и согласованности экспертов подробно представлены в [7].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16 – 07 - 00299а.

Список литературы

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. N 1632-р.
2. О стратегическом планировании в Российской Федерации: [федер. Закон: принят Гос. Думой 28 июня 2014 г. N 172-ФЗ]
3. Стратегическое планирование и новые технологии [Электронный ресурс] // Центр стратегических разработок. 24.10.2017. – Режим доступа: https://www.csr.ru/news/2313/
4. Consulting Industry// Consultancy.uk [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www. consultancy.uk/consulting-industry
5. Zakharova A.A. Developing the structure and structural patterns for a system to support strategic decision making using expert knowledge. Proc.of 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST - 2016). Novosibirsk, NSTU, 2016. Vol. 2, pp. 497–501
6. Захарова А.А. НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 11-2. – С. 276-280; URL: http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40966
7. Захарова А.А., Колегова О.А. Разработка структуры и функций типового модуля "Работа с экспертами" для системы поддержки принятия решений стратегического управления организацией // Новые исследования в разработке техники и технологий. – 2017. – № 2.– С.18-25

ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ИНДУСТРИИ 4.0

Д.А. Заколдаев, к.т.н., доц., И.О. Жаринов, д.т.н., проф.
Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики
197101, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49, тел. (812)-252-20-37
E-mail: Mpbva@mail.ru

Предлагается схема организации взаимодействия компонентов киберфизических систем на производстве на основе онтологий. Рассматривается производственное предприятие Индустрии 4.0 типа умная фабрика. Основное внимание в статье уделено взаимодействию цифровых двойников оборудования и цифровых двойников технологических процессов с реальным оборудованием предприятия.

Онтология в общем случае представляет собой [1] спецификацию (детальное описание), используемую для формального и декларативного определения какой-либо области знаний, содержащую терминологический словарь этой области знаний и перечень терминологических связей, основанных на принципах математической логики, описывающих отношения терминов на уровне «часть-целое». Составными частями онтологии являются: глоссарии (перечень терминов и их академических определений), тезаурусы (определяют семантическую связь между различными терминами) и пр.

Онтология – это один из способов структурирования терминов (понятий) в заданной предметной области. Характерной особенностью онтологического словаря, отличающей его от обычного, является логическая структурированность используемого терминологического аппарата при сохранении внутреннего единства словаря [2].

Зачастую, онтологии представляют в виде древовидной структуры классов или в формате программно реализованной базы данных, т.е. системы терминов, описывающих: классы (термины, понятия); экземпляры классов (конкретные представители терминов); отношения и свойства классов и экземпляров [3]. Существуют специальные языки программирования и форматы представления различных структур данных, используемые для описания онтологий: xml-формат, RDF (Resource Description Framework), OWL (Web Ontology Language), Cycl, Ontolingua и др.

Задача исследования заключается в определении схемы взаимодействия онтологий и цифровых моделей изделия и производственных процессов его изготовления на промышленных предприятиях Индустрии 4.0.

Описание производственных процессов на основе онтологий

Схема формирования описания производственных процессов на основе онтологий на предприятиях Индустрии 4.0 типа «умная фабрика» [4, 5] приведена на рис.1. Исходными данными для получения цифрового двойника предприятия и цифровых моделей технологических процессов изготовления изделий приборостроения являются:

- на физическом уровне: задействованные в технологическом процессе киберфизические системы (технологическое оборудование); технологическая документация, определяющая маршрут изготовления изделия (технологические карты, описания технологических процессов изготовления изделия и их последовательность выполнения);
- на уровне математических абстракций: онтологии предметной области цифрового производства на предприятиях Индустрии 4.0 типа «умная фабрика» и онтологический словарь;
- на уровне ресурсов: комплекты конструкторской, программной и технологической документации; государственные, межгосударственные, отраслевые и международные стандарты, а также руководящие документы и методические указания, на основе которых подготавливаются специальные методики испытаний для контроля качества изготавливаемой на производственном предприятии продукции.

Уровень цифровых моделей на производстве Индустрии 4.0 представлен совокупностью [6, 7]:

- цифровых двойников технологического оборудования;
- цифровых моделей операций технологического процесса изготовления изделий;
- цифровых моделей изготавливаемого изделия и его составных частей (входят в состав конструкторской (КД), программной (ПД) и технологической (ТД) документации);
- цифровых моделей внешних воздействующих факторов, необходимых для проведения виртуальных испытаний цифровой модели изделия с использованием технологий имитационного моделирования.

Онтологии на предприятиях Индустрии 4.0

В приложении к предметной области Индустрии 4.0 представителями физического мира автоматизированных систем выступают киберфизические системы, установленные на производственных предприятиях типа умная фабрика, а представителями виртуального мира технологий обработки информации выступают облачные технологии и технологии промышленного интернета вещей на уровне сервисов [8-10].

Центральное место в онтологии занимают классы (наборы объектов, коллекции и пр.), которые определяют основные понятия рассматриваемой предметной области. В части производственных предприятий Индустрии 4.0 целесообразно рассматривать два вида классов для онтологий:

- классы, соответствующие обобщенным понятиям на уровне кибермира;
- классы, соответствующие реальным объектам в физическом мире.

Классы, соответствующие обобщенным понятиям (абстрактные классы), определяют термины для описания процессов обработки информации на уровне абстракций с целью доступа пользователя (персонала завода, программного агента цифровой системы управления предприятием и пр.) к классам, соответствующим реальным объектам. Классы, соответствующие реальным объектам, определяют термины, необходимые для определения конкретных объектов (процессов) реального мира (экземпляров технологического оборудования, технологических операций и пр.) в автоматизированных системах производства Индустрии 4.0.

В этой связи, онтология может быть представлена на уровне формальной модели упорядоченной совокупностью множеств конечной размерности [1-3]: термины; отношения между терминами (на уровне «часть-целое»); функции интерпретации терминов и отношений.

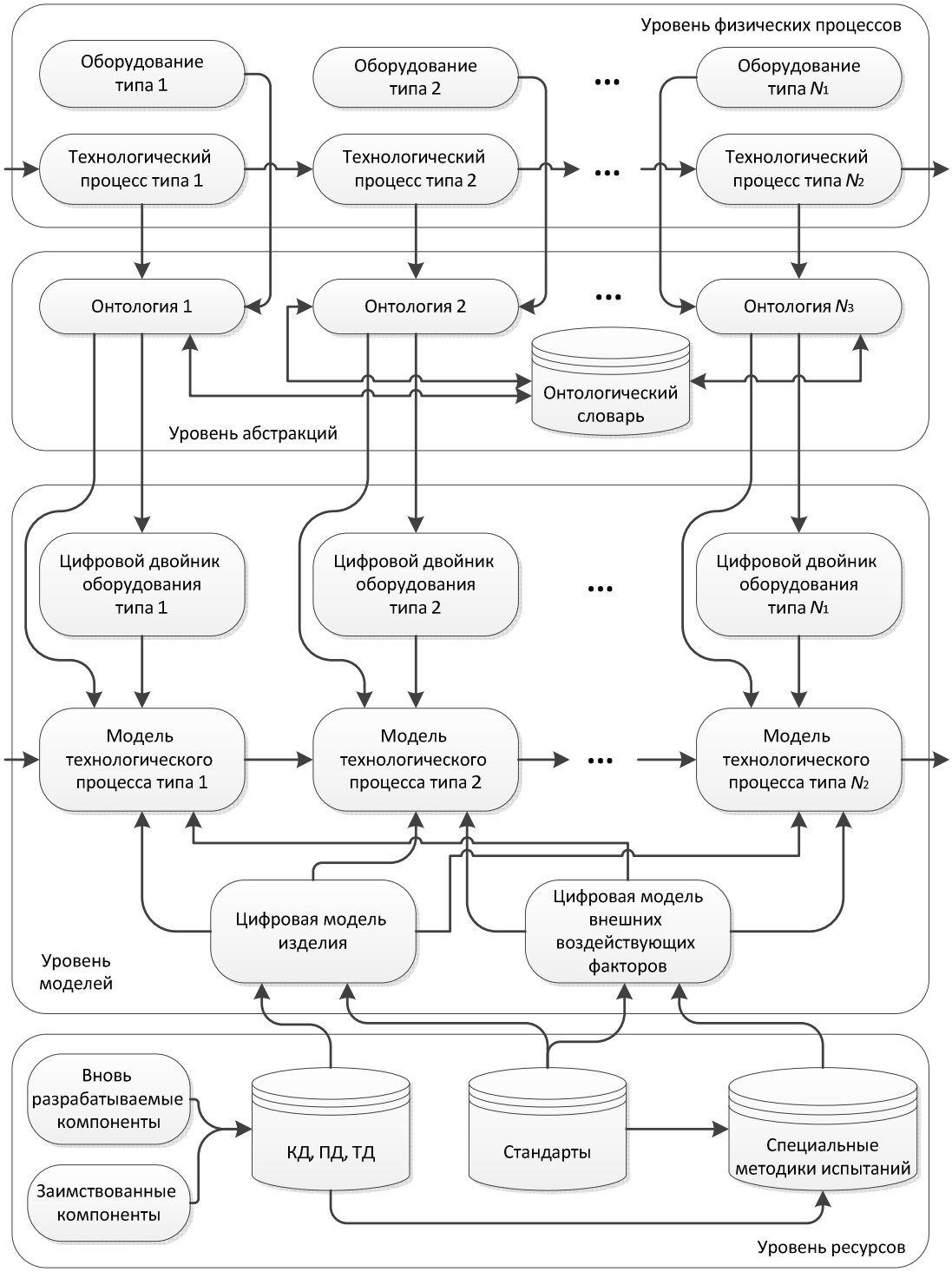


Рис.1. Схема формирования описания производственных процессов на основе онтологий на предприятиях Индустрии 4.0 типа «умная фабрика».

Функция интерпретации, заданная для каждого термина, позволяет поставить в соответствие семантику языка, воспринимаемую человеком, и семантику языка, пригодную для машинной обработки данных (например, с использованием терминологического аппарата баз данных). Таким образом, интерпретирующая функция транслирует термины классов онтологии в машинные запросы пользователя (персонала завода, программного агента цифровой системы управления предприятием

и пр.) к базе данных, что может быть реализовано программным способом на уровне абстракций, как показано на рис.1.

Подход к описанию предметной области знаний на основе онтологий представляет собой форму человеко-машинного интерфейса, в которой термины онтологического словаря могут одновременно использоваться как разработчиком, так и автоматизированной системой в процессе машинной обработки данных. Такой эффект достигается за счет представления терминов в онтологии на основе формальной семантики языка, доступной для компьютерной обработки и воспринимаемой человеком. Таким образом, онтологии выступают посредником между физическим миром автоматизированных систем предприятия Индустрии 4.0 и виртуальным миром технологий обработки информации.

Список литературы

1. Бармина О.В., Никулина Н.О. Построение системы поддержки принятия решений на основе онтологического анализа предметной области // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника / Сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции (19-21 мая 2016 г., г. Севастополь), Севастополь: Издательство Севастопольского государственного университета, 2016, с.463-467.
2. Боргест Н.М. Введение в онтологию проектирования // Информационные технологии и системы / Сб. трудов 3-ей международной научной конференции (26 февраля - 02 марта 2014 г., г. Челябинск), Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2014, с.61-63.
3. Манаськин А.В., Брунилин А.А., Саенко И.Б. Онтологический подход к созданию систем поддержки принятия решений // Технические науки — от теории к практике / Сб. статей по материалам LXIV международной научно-практической конференции (28 ноября 2016 г., г. Новосибирск), Новосибирск: СибАК, 2016, №11(59), с.28-32.
4. Виноградова Е.Ю., Галимова А.И. Информационная система планирования и управления предприятием как элемент цифровой экономики // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли / Сб. трудов научной и учебно-практической конференции (06-07 июня 2017 г., г. Санкт-Петербург), СПб: Издательство СПбПУ Петра Великого, 2017, с.168-176.
5. Дементьев С.Г., Назаров В.В., Шабалкин Д.Ю. Интегрированная автоматизированная система конструкторско-технологической подготовки производства и управления изготовлением воздушных судов как основа цифровой производственной системы // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития / Материалы 4-ой международной научно-практической конференции (16-17 октября 2014 г., г. Ульяновск), Ульяновск: Издательство Ульяновского государственного университета, 2014, с.89-90.
6. Зиберов М.В. Цифровое производство — технологическая платформа информационного общества // Проблемы и перспективы развития науки в России и мире / Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции (17 июня 2017 г., г. Пермь), Уфа: Издательство ООО «Агентство международных исследований», 2017, с.113-119.
7. Сидоренко С.А., Герасимов Р.В., Степанян А.А. Проектирование промышленных предприятий методом создания цифровой модели // Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности / Материалы 3-й ежегодной научно-практической конференции (14-30 апреля 2015 г., г. Ставрополь), Ставрополь: Издательство Издательского дома «Тэсэра», 2015, с.259-261.
8. Скрипченко Ю.С., Гусев П.Ю. Цифровое моделирование сборочного производства в Technomatix plant simulation // Техника и технологии: пути инновационного развития / Материалы международной научно-практической конференции (01 июня 2011 г., г. Курск). Под ред. А.А. Горохова, Курск: Издательство Юго-западного государственного университета, 2011, с.133-135.
9. Степанова А.С., Степанов С.Л. Организация структур систем кастомизированного производства в четвертой индустриальной революции // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2016) / Труды 26-ой международной молодежной конференции (17-19 октября 2016 г., г. Москва), М: Издательство ООО «Аналитик», 2016, с.85-89.
10. Babiceanu R.F., Seker R. BigData and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook // Computers in Industry, 2016, vol.81, pp.128-137.

ПОВЫШЕНИЕ НАЛОГА НА ДОХОДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ И РЫНОК ТРУДА: ЗА И ПРОТИВ

И.В. Добрычева, ассистент
Томский политехнический университет
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: dobrycheva@tpu.ru

Конституцией Российской Федерации за гражданами страны закрепляется строгое обязательство по уплате налогов, которые установлены законодательством [1]. Одним из таких налогов является налог на доходы физических лиц (НДФЛ), или как его еще называют, подоходный налог. НДФЛ может оказывать влияние на стимулирование предпринимательской деятельности и обеспечивает доходы бюджета за счет наиболее платежеспособных слоев населения [2].

Первая попытка ввести подоходное обложение в России относится к 1810 году, когда война с Наполеоном исчерпала государственный бюджет, и требовались дополнительные ресурсы финансирования. В течение последующих годов XIX века подоходное обложение отсутствовало.

Впервые в истории России подоходный налог был установлен в начале 1916 года, в начале 1920-х годов он стал источником поступлений в доходную часть бюджета страны. В СССР отсутствовала налоговая система, но данный налог существовал, хотя и не имел фискального значения, так как в бюджеты всех уровней отчислялись определенные суммы от доходов предприятий [3].

В Российской Федерации был принят Закона Российской Федерации от 7 декабря 1991 года № 1998-1 «О подоходном налоге с физических лиц», что позволило создать новую систему подоходного налогообложения физических лиц [4]. В настоящий момент порядок расчёта, взимания и уплаты налога на доходы физических лиц - прямого федерального налога – регламентируется Главой 23 Налогового Кодекса Российской Федерации [5].

Налоговые ставки по НДФЛ – 13%, 15%, 30% и 35% в зависимости от вида доходов. Большая часть трудящихся граждан страны платит 13% с заработной платы после применения налоговых вычетов.

По объему поступлений НФДЛ можно оценивать, исходя из данных, взятых с сайта ФНС (таблица 1).

Таблица 1

Поступления по видам налогов в консолидированный бюджет РФ за 2016-2017 гг

виды налогов	млрд. руб.		темп, %
	2016	2017	
НДПИ	2 929,4	4 130,4	141,0
Налог на прибыль	2 770,2	3 290,0	118,8
НДФЛ	3 017,3	3 251,1	107,7
НДС	2 657,4	3 069,9	115,5
Акцизы	1 293,9	1 521,3	117,6
Имущественные налоги	1 116,9	1 250,3	111,9

Из таблицы 1 мы видим, что за 2017 год прирост по налогам (в консолидированный бюджет) составляет от 11,9 % (имущественные налоги) до 41% (налог на добычу полезных ископаемых). Прирост НФДЛ составил всего 7,7%, а общая его доля не достигает 22% в общей сумме поступлений (рисунок 1).

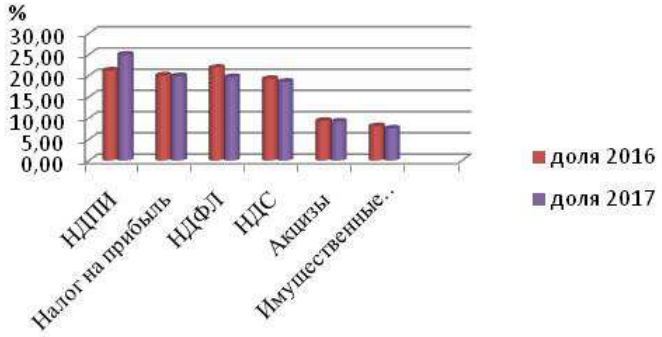


Рис. 1. Объем поступлений по видам налогов за 2016-2017 гг.

Основную поддержку оказывает рост фонда заработной платы (плюс 6,3% по итогам 2016 года и плюс 5,5% оценка 2017 года), который вносит вклад в динамику поступлений НДФЛ (плюс 7,5% по итогам 2017 года). Таким образом, «белая» заработная плата – это основа для будущих налоговых поступлений.

Вообще, уровень доходов россиян можно полагать не очень высоким по сравнению с доходами в экономически развитых странах. Кроме того, неформально занятые не выплачивают налог на доходы, а лица с высокими доходами укрываются от налогообложения. Теневой рынок труда и черные заработные платы – это мощнейший фактор уменьшения сборов по НДФЛ в консолидированный бюджет.

Налогообложение может быть прогрессивным, регрессивным и пропорциональным. Впервые прогрессивное налогообложение было введено в Великобритании в декабре 1798 года, позднее, в 1893 году в Пруссии была проведена реформа налогообложения и введен прогрессивный налог, а в России первая попытка введения такого налогообложения относится к 1810 г. К началу двадцатого века прогрессивный подоходный налог был введён во многих европейских странах [6].

В настоящее время в России применяется «плоская» шкала налогообложения. В 2016 году в правительстве РФ в очередной раз заговорили о желании ввода прогрессивного налогообложения, когда обеспеченное население со своих доходов платят больше, а малообеспеченное – меньше. Однако существует риск оттока капитала из страны, увеличения «теневого» бизнеса и серых схем заработных плат.

Возможными преимуществами могут быть увеличение пополнения бюджета и уменьшение социального расслоения. С другой стороны, усложнится процедура налогообложения, может снизиться стимул улучшать результаты труда и увеличивать доходы.

В бюджетах экономически развитых стран поступления с НДФЛ занимают доминирующее положение, достигая, например, в США почти 60% всех налоговых поступлений. В таблице 2 указаны ставки подоходного налога по странам.

Таблица 2

Ставки подоходного налога по странам

Самые высокие ставки подоходного налога	Самый низкий подоходный налог
Швеция – 56,9%	Казахстан и Болгария – 10%
Португалия – 56,5%	Беларусь – 12%
Дания – 55,6%	Россия – 13%
Бельгия – 53,7%	Литва – 15%
Испания – 52%	Румыния и Венгрия – 16%
Аргентина – 9–35%,	Египет – 10–20%,
Израиль – 10–47%,	Китай – 5–45%.
Индия – 10–30%,	

Налогообложение доходов физических лиц в большинстве развитых стран осуществляется с использованием прогрессивных налоговых ставок, что в наибольшей степени способствует реализации принципа равенства и справедливости налогообложения.

Законопроекты представлены в таблице 3 [8]

Инициатор	0%	13%	Другие ставки
Справедливая Россия – 1 проект	-	До 24 млн руб.	От 24 млн руб. и выше ставка от 25% до 50%
Справедливая Россия – 2 проект	-	До 5 млн руб.	От 5 млн – 18% От 50 и выше 23-28%
КПРФ	-	0,4 млн руб.	До 1 млн - 30% Более 1 млн – 50%
ЛДПР	До 180 тыс. руб.	До 2,4 млн.руб.	До 100 млн – 288,6 тыс.руб. + 30% От 100 млн – 29, 57 млн + 70%

В России от прогрессивной шкалы пока отказались, зато Минфин предлагает увеличить НДФЛ до 15% и уменьшить с 30 до 21 процента ставки страховых взносов [7]. Есть также предложение установить «налоговые весы» в 15% НДФЛ, 21% НДС и 21% отчислений по страховым взносам. Уменьшение нагрузки на бизнес для «выбеливания» рынка труда, с одной стороны, и увеличение НФДЛ для физических лиц, с другой стороны. Рост НДФЛ – непопулярное решение, однако, надо понимать, что возможность использовать налоговые вычеты – другая сторона медали. Работающий

по серым заработным схемам практически не имеет возможность получать социальные и имущественный налоговые вычеты, зато его работодатель существенно экономит на страховых взносах с неучтенной заработной платы. Страдает, в конечном счете, работник, теряя, вдобавок, пенсионные начисления. Налогообложение в 15%, с другой стороны, имеет смысл лишь при значительном увеличении числа официально трудоустроенных работников, однако такая реформа может привести к уменьшению страховых взносов и недофинансированию фондов страхования.

Госдума отклонила в первом чтении четыре законопроекта о переходе к прогрессивной шкале по налогу на доходы физических лиц, внесенные представителями оппозиции.

Для подтверждения исследования в рамках федерации, был проведен дополнительный анализ по данным статистической отчетности по Федеральным округам.

На рисунке 2 можно увидеть, что больше всего поступлений в федеральный бюджет по налогам и сборам осуществили Центральный, Приволжский и Уральский федеральные округа. Наиболее «бедными» являются Северо-Кавказский, Дальневосточный и Южный федеральные округа.

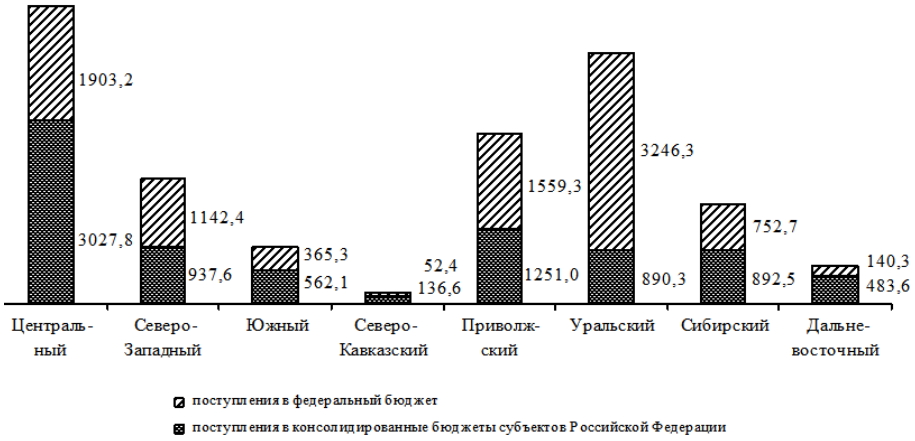


Рис. 2. Поступление налогов, сборов и иных обязательных платежей в консолидированный бюджет российской Федерации по федеральным округам за 2017 год, млрд.руб.[9]

Смоделируем в таблице 3 расчет объемов НДФЛ за год, перечисленных за одного условного жителя федерального округа, исходя из его месячной средней заработной платы.

Таблица 3

Расчет НДФЛ по данным о номинальной заработной плате по федеральным округам за 2017 г.

	Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, руб.	Средний совокупный доход за 2017 г., руб.	Сумма НДФЛ при плоской шкале налогообложения, 13% руб	Сумма НДФЛ при плоской шкале налогообложения, 15% руб	НДФЛ при прогрессивной шкале налогообложения (проект от ЛДПР.) руб.	НДФЛ при прогрессивной шкале налогообложения (проект от КПРФ.) руб
Центральный	48 396	580 752	75 498	87 113	52 098	106 226
Северо-Западный	44 696	536 352	69 726	80 453	46 326	92 906
Южный	28 653	343 836	44 699	51 575	21 299	44699
Северо-Кавказский	24 346	292 152	37 980	43 823	14 580	37980
Приволжский	29 166	349 992	45 499	52 499	22 099	45499
Уральский	43 853	526 236	68 411	78 935	45 011	89 871
Сибирский	33 822	405 864	52 762	60 880	29 362	53 759
Дальневосточный	49 022	588 264	76 474	88 240	53 074	108 479
ИТОГО			471 048	543 517	283 848	579 418

Приведенный расчет демонстрирует, что, исходя из средней заработной платы, большая часть населения не получает совокупный доход в размере 1 млн руб. в год. Наименьшие сборы обеспечит сбор НДФЛ по проекту ЛДПР, наиболее жесткой можно признать шкалу от партии КПРФ (сборы увеличиваются). Плоская шкала НДФЛ в 15% более выгодна для Центрального, Северо-Западного, Дальневосточного и Уральского федеральных округов. В менее благополучных Южном, Северо-кавказском, Приволжском, Сибирском федеральных округах, вероятно, налоговая нагрузка на отдельное физическое лицо со средней заработной платой значительно возрастет. Так как, судя по строке Итого, общий сбор налогов по проекту прогрессивной шкалы от КПРФ и проекту плоской шкалы в 15% примерно одинаковый, может сложиться ситуация, когда бедные слои населения будут платить еще больше.

Причиной, по которой Россия предпочла плоскую шкалу налогообложения, явилась потребность в увеличении объема налоговых поступлений в бюджет государства, а также легализация доходов граждан РФ [10].

Обобщая, нужно отметить, что существенные различия в величине средней заработной платы жителей различных федеральных округов и городов федерального значения (Москва, Санкт-Петербург) приводят к росту социального расслоения в будущем. Например, пенсионный коэффициент зависит от размера перечислений, а значит, для стабилизации ситуации было бы эффективно также реформировать систему страховых взносов, причем так, чтобы не пострадали физические лица в части хотя бы будущего пенсионного обеспечения.

Повышение НДФЛ может привести к обострению и без того сложной ситуации на рынке труда, особенно в моногородах и сельской местности, где заработные платы ниже, чем средние по округам и регионам. Провоцировать рост теневого рынка занятости нежелательно. Налоговые льготы и каникулы, грантовая поддержка малого и среднего бизнеса, ТОРы – достаточный набор инструментов для роста официально заявленных самозанятых, и если часть бизнесменов предпочитает оставаться в тени и не платить налоги, необходимо выявлять причины и обеспечивать непрерывный контроль за их деятельностью. Перекладывание налогового бремени на наемных работников не решит данную проблему.

Список литературы

1. «Конституция Российской Федерации» (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ).
2. Пансков В. Г. Налоги и налогообложение: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / В. Г. Пансков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 382 с.
3. Налоги и налоговая система Российской Федерации: учебник и практикум для академического бакалавриата / под науч. ред. Л.И. Гончаренко. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 541 с.
4. Зозуля В. В. Налогообложение природопользования: учебник и практикум для прикладного бакалавриата / В. В. Зозуля. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 257 с.
5. «Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)» от 05.08.2000 N 117-ФЗ (ред. от 03.04.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.05.2017).
6. Госдума отклонила законопроекты о прогрессивной шкале НДФЛ [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://ria.ru/economy/ 20130115/918221319.html (дата обращения 15 марта 2017г)
7. В Минфине задумались о повышении ставки НДФЛ до 15 процентов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lenta.ru/news/2017/02/22/ndfl/.
8. Госдума отклонила законопроекты о прогрессивной шкале НДФЛ от 12.10.2017 г. РИА Новости [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ria.ru/economy/20171012/1506705596.html
9. Росстат [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/con nect/rosstat_m ain/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140086420641.
10. НДФЛ в 2018 году: введение прогрессивного налогообложения Январь 24, 2017 Источник: http://god-2018s.com/novosti/ndfl-v-2018-godu-vvedenie-progressivnogo-nalogooblozheniya – 15.05.2017.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗНАНИЯМИ В ГОСТИНИЧНОМ БИЗНЕСЕ

А.В. Маслов, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал)
ФГАОУ ВО Национального Исследовательского Томского политехнического университета,
652050, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская, 26,
тел. 8(384-51)7-77-64, факс 8(384-51)7-77-67
E-mail: maslovav@tpu..ru

Знания – чрезвычайно важный фактор развития человеческого потенциала, а в условиях организации он превращается в весьма значимый ресурс, связанный с персоналом. В статье рассматриваются вопросы применения технологий управления знаниями в современных экономических условиях. Проанализировано понятие «управление знаниями». Определены основные препятствия к извлечению знаний и технологии, обеспечивающие процесс управления знаниями в гостиничном предприятии.

Knowledge is an extremely important factor in the development of human potential, and in terms of organization it becomes a very significant resource, I swear with the staff. The article deals with the use of control technologies in modern economic conditions. The concept of "knowledge management" is analyzed. There are identified the main obstacles to the extraction of knowledge and technology that ensure the process of management in a hotel enterprise.

В процессе рыночных преобразований экономики Российской Федерации сфера услуг получила мощнейший импульс к ускорению развития. Таким образом в ее составе были сформированы качественно новые элементы, большинство прежних элементов прошли функциональную и структурную перестройку. К числу таковых относятся индустрия гостеприимства и туристская деятельность.

Новые рыночные инструменты управления утверждаются, в свою очередь, в качестве устойчивого и достаточно эффективного развития сферы услуг. Потенциал данных инструментов в индустрии гостеприимства раскрыт не совсем полностью. Они только адаптируются к специфическим условиям управления в этом секторе сферы услуг: особой роли человеческого фактора, сезонности, неравномерности развития гостиничного бизнеса, зависимости конечных результатов деятельности от эффективного комбинирования имеющихся в гостинице ресурсов [1].

В расширяющемся гостиничном хозяйстве конкурентоспособность гостиничных услуг может быть обеспечена только путем извлечения синергетического эффекта от комбинированного использования всех существующих современных рыночных инструментов управления [2].

Рыночные инструменты управления вошли в практический и научный оборот отечественной индустрии гостеприимства совсем недавно. Опыт рыночных преобразований российской экономики лишний раз доказывает, что указанные инструменты должны адаптироваться к тем или иным условиям развития экономических отношений в той сфере, где они применяются. Это позволит считать абстрактно универсальными [3].

Управление знаниями – новое научное направление, сформировавшееся в течение двух последних десятилетий. Термин «управление знаниями» возник по аналогии с такими понятиями, как «управление данными», «управление информацией». Однако со временем понятие «управление знаниями» претерпело серьезные изменения и в начале XXI века приобрело новое значение: оно стало больше ориентироваться на отдельную личность, произошло признание, что задача передачи собственного и получения чужого знания связана с возможностями вступления в коллективный обмен знаниями; что производство и обработка знаний в организации осуществляются по своей специфической логике.

Своим появлением это направление обязано активному переходу постиндустриальных стран к инновационной экономике – той стадии экономического развития, на которой в процессе производства продуктов и оказания услуг главную роль играют ресурсы интеллектуального капитала [1]. Интеллектуальный капитал – все неденежные и нематериальные ресурсы, полностью или частично подлежащие управлению и контролю со стороны организации и участвующие в создании ценности организации, увеличивая тем самым ее возможности.

Необходимо отмстить, что на сегодняшний день наиболее активно методы теории управления знаниями применяются на практике на предприятиях наукоемких отраслей, высокотехнологичных отраслей, в научно- исследовательских организациях. Вместе с тем, вопросы управления знаниями также интересуют руководителей организаций индустрии гостеприимства. Это доказывает исследование норвежских исследователей П. Уестнеса и С. Уестнеса со ссылкой к работам Й. Рууса, направленное на оценку ресурсов интеллектуального капитала, повышение эффективности инвестиций в

персонал, создание управленческого инструмента для систематической и эффективной работы с интеллектуальным капиталом и изучение потребностей в интеллектуальном капитале для улучшения показателей работы и достижения целей бизнеса в 16 отелях цепи Radisson SAS Hotels&Resorts, расположенных в Норвегии [3; 4; 5].

Полученные данные показали, что в Radisson SAS Hotels&Resorts существуют прочные взаимоотношения между человеческими и организационными ресурсами. Это объясняется тем, что, хотя гостиничный бизнес и требует, прежде всего, больших знаний и опыта, тем не менее, речь идет про сервисное предприятие, в котором как индивидуальные знания сотрудников (человеческие ресурсы), так и организационные знания (организационные ресурсы), выраженные в установившихся процедурах, системах, клиентских базах данных и т.д., рассматриваются как важные элементы эффективного руководства отелем. В результате была разработана модель оценки интеллектуального капитала, имеющегося в гостиничной сети, и было достигнуто большое понимание путей создания ценности интеллектуального капитала в рассматриваемой организации. Кроме того, оказалось, что сознательная концентрация внимания на управлении интеллектуального капитала имела точно такое же значение, как и реальное внедрение нового процесса, потому что это привело к осознанию важности нематериальных активов среди персонала. Это понимание само по себе является совершенно необходимым в ситуации конкурирования в экономике, в которой знания и нематериальные активы считаются самыми важными активами.

Построение эффективных систем управления знаниями позволяет решать задачи распределения знаний между заинтересованными отделами компаний, а также между регионально разобщенными сотрудниками одной компании. Соответственно, преимущества использования системы управления знаниями организации в сфере гостеприимства особенно ощутимы в гостиничных цепях, так как сетевым организациям необходимо обеспечивать принятый стандарт качества обслуживания гостей в каждом из отелей, находящихся в географически отдаленных друг от друга регионах. Также важно отмстить, что в сетевых отелях системы управления знаниями позволяют использовать опыт успешных подразделений гостиничного предприятия, расположенного в одном регионе, для повышения эффективности деятельности сходных по функциям подразделений гостиничных предприятий сети в других регионах.

Для того, чтобы система управления знаниями действительно приносила пользу, она должна постоянно пополняться. В международной практике управления знаниями выделяют пять основных препятствий к извлечению знаний:

- глобализация (перегрузка знаниями, поскольку их источников стало слишком много; возникновение межкультурных проблем, связанных с тем, что в разных странах существуют различные системы убеждений, моральных ценностей, законодательство и т.д.; обмен нерелевантными или неполными знаниями, так как партнеры плохо понимают информационные потребности друг друга);
- постоянные изменения на рынке труда (в современных условиях труда наблюдается тенденция использования временных работников и внешних консультантов, что затрудняет процесс пополнения системы знаний компании - знания внешних консультантов не являются собственностью компании и не могут быть принудительно включены в систему);
- устаревание знаний (большинство знаний имеют ограниченный срок службы, их нужно постоянно обновлять и переоценивать);
- опасения экспертов лишиться своего положения (профессиональная мобильность и тенденция к узкой специализации, а не к приобретению энциклопедических знаний, привели к тому, что количество специалистов широкого профиля уменьшилось; в то же время специалисты в узких областях не всегда охотно делятся своими знаниями);
- неподходящая технология.

На сегодняшний день существует большое количество технологий, позволяющих обеспечивать и содействовать успешной реализации процесса управления знаниями в гостиничном секторе. Среди наиболее популярных следует отмстить: системы принятия решений; базы и архивы данных; системы управления документооборотом; программное обеспечение группового пользования и другие. Ярким примером успешного использования методов управления знаниями в гостиничном бизнесе посредством формирования базы данных о клиентах могут послужить отели Ritz-Carlton.

В международной практике существует перечень должностей, связанных с процессом управления знаниями в организации (директор по знаниям, менеджер по управлению знаниями, координатор по знаниям, аналитик, специалист по управлению знаниями и др.). Вместе с тем, в большинстве отечественных организаций индустрии гостеприимства штатное расписание не предусматривает по-

добных должностей, что свидетельствует о невысоком внимании со стороны руководства к данному направлению менеджмента.

Для решения организационных проблем управления знаниями необходимо соединить гуманитарные и информационные технологии, т.е. «людей и информацию», для сохранения полученного корпоративного опыта и знаний для повторного их применения, а также для предоставления сотрудникам доступа к необходимой информации. Особенно важно обеспечить условия для сбора, переработки, поиска, использования и распространения знаний территориально распределенным финансовым организациям, имеющим многочисленные филиалы и офисы в разных регионах и странах, в которых решаются однотипные бизнес-задачи (депозитарные операции, кредитование, разработка карточных программ и т.п.) и формируются однотипные «наборы знаний», которые необходимо регулярно передавать группам сотрудников.

Основными результатами кастомизации знаний (от англ, customize – изготовить на заказ), как правило, являются «карты знаний», «пакеты знаний», каталоги ресурсов, форумы и чаты, сообщества практиков, сторитлинг (рассказ, как эго было) и корпоративные блоги.

Каталог ресурсов знаний и информации позволяет увидеть, какой формализованный опыт в компании уже существует.

«Пакеты знаний» – совокупность тематических ссылок на внутренние и внешние ресурсы, необходимые для решения определенных задач - работы над текущими проектами, поиска новых сотрудников и других.

«Карты знаний» представляют собой визуализированную совокупность взаимосвязей единиц информации и объектов знаний, а также их носителей, представленную графически. Такие карты содержат отсылки на нужные знания и указывают путь доступа к ним (контактные телефоны, адреса, ссылки на ресурсы).

Форумы и чаты являются средствами неформального или относительно формализованного общения. Участники дискуссий должны иметь четко определенный профессиональный интерес, например, обучение, получение новых знаний и опыта решения задач от более опытных коллег.

Сообщества практиков – группа людей, объединенных профессиональными интересами, которые обмениваются знаниями по определенной тематике, вместе решают проблемы и находят новые подходы к решению бизнес-задач. Чаще всего при существующей коммуникационной потребности у профессионалов ведущая роль принадлежит компании и находится в прямой зависимости от информационно-коммуникационных технологий.

Сторителлинг и корпоративные блоги – это способ обмена «скрытыми» знаниями и формирования корпоративной культуры. Как было показано выше, знания присутствуют в организациях в явной и скрытой форме, а концепции сторителлинга и корпоративных блогов помогают именно в выявлении знаний. Сотрудники описывают свои впечатления и мнения (т.е. скрытые знания) в форме емких интервью, посвященных, например, проведению переговоров, устранению ошибки в программном обеспечении, или отчету о командировке. Результаты фиксируются в базе знаний.

Информационные технологии поддерживают правила, сопровождающие процесс управления знаниями, помогают снять возникающие барьеры на пути решения задач формирования единой рабочей среды, реализации механизма отчуждения, накапливания, использования и модификации знаний, поддержки инноваций и доведения сведений о них всем заинтересованным в них сотрудникам.

Однако информационные технологии не играют доминирующую роль в методиках управления знаниями: если в банке не будут проводиться мероприятия по формированию культуры совместной работы и общего доступа к данным, то IT-решения не позволят получить ощутимые результаты. Точно так же использование только лишь гуманитарных технологий без привлечения информационных технологий не приведет к эффективному управлению знаниями. Это обосновывает необходимость актуализации, существующей в финансовых институтах информационно-технологической политики и разработки на ее основе стратегии управления знаниями.

От выбора способа представления знаний зависит эффективность поиска необходимой информации и возможность последующего многократного использования. Это означает, что знания, формализованные в явном виде, после специальной обработки (структурирования), могут стать частью корпоративного интеллекта [6].

К числу основных информационных технологий, поддерживающих управление знаниями, относятся:

- добыча данных и текстов (DataMining) – распознавание образов, выделение значимых закономерностей из данных, находящихся в хранилищах или входных, или выходных потоках. Эти методы основываются на статистическом моделировании, нейронных сетях, генетических алгоритмах и др.;
- системы управления документооборотом – хранение, архивирование, индексирование, разметка и публикация документов;
- средства для организации совместной работы – сети intranet, технологии групповой работы, синхронные и асинхронные конференции;
- корпоративные порталы и порталы знаний;
- средства, поддерживающие принятие решений – экспертные системы, системы, поддерживающие дискуссионные группы и т.д. [2].

Внедрение системы управления знаниями в гостиничных предприятиях содействует снижению рисков и ведет к повышению эффективности работы как отдельной компании, так и всей национальной гостиничной системы в целом, так как все составляющие структуры интеллектуального капитала играют возрастающую роль в обеспечении основных факторов конкурентоспособности: рост доли продукции (услуг) компании на мировом рынке; обеспечение устойчивых темпов роста продаж, прибыльности продаж; эффективности сбытовой политики компании; положительное соотношение объемов продаж с советующими показателями конкурентов и др.

Принимая во внимание отсутствие на отечественном рынке гостиничных услуг информационно-исследовательских компаний, автор считает целесообразным на микроуровне определить одного или нескольких сотрудников ответственными за исследовательскую деятельность в рамках функционирования предприятия.

На макроуровне управление знаниями может быть реализовано посредством создания профессиональных объединений (клубов, ассоциаций) в рамках деятельности которых будет осуществляться сбор и анализ информационных данных по разным направлениям сферы гостиничного бизнеса, позволяющие формировать видение и возможные тенденции развития национального гостиничного сектора в будущем. Все это позволит обеспечить достижение отелями конкурентных преимуществ перед иными участниками международного рынка гостиничных услуг, иметь возможность снижать себестоимость своих услуг, максимизировать доход от продаж, достигать и поддерживать высокие стандарты обслуживания.

В настоящее время практику управления знаниями с целью повышения конкурентоспособности компании на международном уровне активно демонстрирует гостиничный бренд FourSeasons, анонсировав в начале ноября 2016 г. об открытии в г. Торонто (Канада) исследовательского центра FourSeasonsResearch and DiscoveryStudio [7]. Центр представляет собой творческое пространство и глобальный источник знаний и навыков, в котором сотрудники из любого подразделения отелей, входящих в гостиничный бренд FourSeasons в любой стране мира, могут собраться вместе, чтобы экспериментировать, моделировать реальные ситуации и новые идеи, разрабатывать и создавать многофункциональные номера, манипулировать с пространством и тестировать варианты планировки, прежде чем переходить к реальному воспроизведению интерьеров.

Внедрение технологии FourSeasons в российских предприятиях позволит дизайнерам и веем участникам процесса понимать последствия своих решений, находить слабые места и потенциал для улучшения и быстро дорабатывать проекты, что в целом позволяет создавать совершенный гостиничный продукт и совершенствовать сервис, предоставляемый гостям отелей, продумывая все до мелочей.

Следует отмстить, что управление знаниями играет очень важное значение в деятельности организации индустрии гостеприимства в условиях растущей конкуренции, так как наиболее динамичные и новаторские компании могут превзойти своих конкурентов (даже самых сильных), пользующихся преимуществом использования дешевых факторов производства, посредством использования оригинальных интеллектуальных ресурсов. Важно понимать, что развитие рынка гостиничных услуг как на национальном уровне, так и на международном, подвержено влиянию со стороны международных гостиничных цепей, система организации деятельности которых уже отработана на протяжении десятилетий и в разных регионах мира по веем направлениям ведения бизнеса, включая и управление интеллектуальным капиталом.

Список литературы

1. Балабанов И.Т. Экономика туризма / И.Т. Балабанов, А.И. Балабанов. –М.: Финансы и статистика, 2009. – С. 184.

2. Мысова О.С. Оценка эффективности использования рыночных инструментов в сфере услуг (на примере гостинично-туристского комплекса Ростовской области) / О.С. Мысова: Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Южно-Российский гос. ун-т экономики и сервиса" (ГОУ ВПО "ЮРГУЭС"). Шахты, 2015.
3. Bontis, N. The knowledge toolbox: A Review of the tool available to measure and manage intangible resources / N. Bontis, N. C. Dragonetti, K. Jacobsen, G. Roos // European Management Journal. – 2016. – № 17 (4). – P. 391-402
4. Моряков В.А. Состояние и развитие систем управления в сфере услуг: дисс. канд. наук: / Моряков В.А.; спец. 08.00.05. - Москва, 2011.
5. Roos, G. Measuring your company's intellectual performance / G. Roos, J. Roos // Long Range Planning. – 2012. – Vol. 30, iss. 3. – P. 325, 413-426.
6. Марченко Г. Исследование инвестиционного климата регионов России: проблемы и результаты / Г. Марченко // Вопросы экономики. – 2009. –№ 9. – с. 69-79.
7. Westnes, P. Evaluating Intellectual capital in the hotel industry. A case study of Radisson SAS Hotel&Resorts: Master's thesis / P. Westnes, S. Westnes ; The Norvegian School of Hotel management, Stavanger University College, Norway. – Stavanger, 2016. – 103 p.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ПООЩРЕНИЙ СОТРУДНИКОВ И СТУДЕНТОВ

Т. Ю. Чернышева, к.т.н., доц., К. В. Стриженко, студ.
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51) 7-77-64
tatch@list.ru

В статье рассмотрена система поощрений сотрудников и студентов. Составлена диаграмма сущность-связь процесса учета всех этапов документооборота данного процесса. Представлен пример формы разработанной информационной системы учета и анализа распределения поощрений сотрудниками студентам.

The article considers the system of incentives for employees and students. A diagram is drawn of the essence-relationship of the process of accounting for all stages of the workflow of this process. An example of the form of the developed information system of the account and the analysis of distribution of encouragements by employees to students is presented.

Системы поддержки принятия решений все прочнее входят в деятельность руководителей. Практически все сферы организаторской деятельности носят учетный, аналитический и плановый характер. В каждой организации существует система поощрения деятельности сотрудников. В образовательной деятельности кроме сотрудников есть обучаемые (студенты). Система поощрений сотрудников и студентов включает разные формы поощрений. Существует своя процедура подачи заявлений на поощрение и учет награждений [1]. Процесс подачи, учета и поддержки решения о награждении (поощрении) итерационный и иерархичкский.

Рассмотрим данную систему на примере Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета [2].

Начальник отдела по внеучебной работы отправляет распоряжение о предоставлении кандидатур на поощрения по подразделениям кафедр. От каждой кафедры отправляется список кандидатур на поощрения начальнику по внеучебной работы. После обработки списка, начальник по внеучебной работе предоставляет списки кандидатур Ученому совету ЮТИ ТПУ. Список утвержденных кандидатур на поощрения на местном уровне получает директор ЮТИ ТПУ и утверждает приказ. Для поощрений на российском уровне и уровне ТПУ директор отправляет список ученому совету ТПУ. После рассмотения и подтверждения кандидатур списки напавляются директору ТПУ. Схема данного документооборота представлена на рисунке 1.

Произведен анализ предметной области и построены модели бизнес-процессов «как есть» (IDEF0) и «как должно быть».

Диаграммы «сущность-связь» (ERD) предназначены для разработки моделей данных и обеспечивают стандартный способ определения данных и отношений между ними [3,4].

Модель данных – это схема данных предметной области, которая создается для правильного отображения действительности в ИС. Данные моделируются с целью построения базы данных.

С помощью ERD-диаграмм осуществляется детализация хранилищ данных моделируемой и проектируемой системы путем идентификации и документирования объектов (сущностей), важных для предметной области, свойств этих объектов (атрибутов) и их отношений с другими объектами (связей).

Рис. 1. Документооборот системы поощрений

Диаграмма сущность-связь (ERD) представлена на рисунке 2.

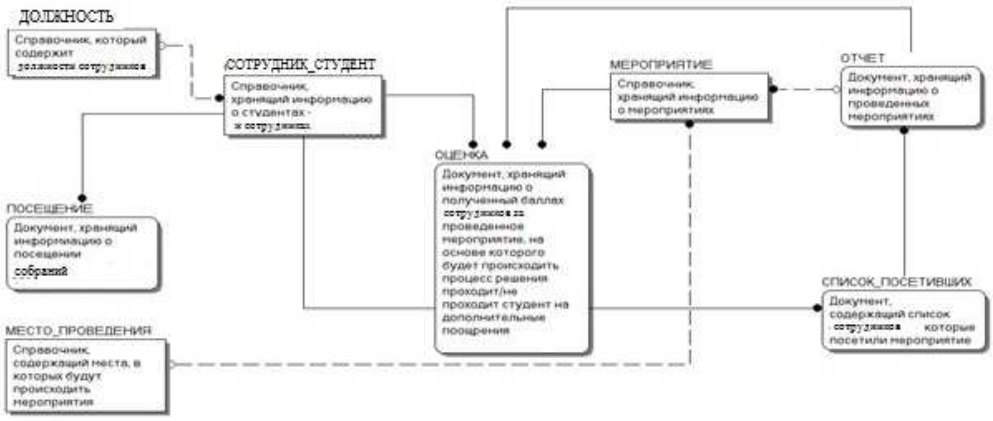


Рис.2 - Диаграмма сущность-связь

На основании анализа информационных потоков были выделены входная, выходная информация и функции системы. Таким образом, информационная система учета и анализа распределения поощрений сотрудникам и студентам ЮТИ ТПУ должна реализовывать следующие функции:

- учет заявлений сотрудников и студентов на поощрение;
- распределение поощрений за деятельность сотрудников и студентов;
- учет поощрений сотрудников и студентов;
- анализ деятельности сотрудников через систему поощрений.

Информационная система позволит анализировать качественную деятельность не только каждого сотрудника, подразделения, но и деятельность ответственного за процесс подачи и контроля системы поощрений института [5]. Пример отчета информационной системы представлен на рисунке 3.

		Отчет по поступившим заявлениям (за период)			
Период: 01.07.2017 - 01.08.2017					за сентября 2017 г
Уровень мероприятия	Кафедра	Поступившие заявления	Одобрено	%	
Институтский	БЖДЭиФВ	5	4	80	
	ГОИЯ	5	4	80	
	ГШО	4	4	100	
	ИС	5	5	100	
	МЧМ	3	2	67	
Университетский	БЖДЭиФВ	3	2	67	
	ГОИЯ	5	4	80	
	ГШО	6	5	83	
	ИС	5	5	100	
	МЧМ	4	4	100	
Муниципальный	БЖДЭиФВ	5	3	60	
	ГОИЯ	5	3	60	
	ГШО	4	3	75	
	ИС	5	3	60	
	МЧМ	2	2	100	
Итого		66	53	80	

Рис.3 – Пример отчета «Анализ удовлетворения заявлений на поощрение»

Информационная система разрабатывается в интегрированной среде 1С: Предприятие 8.3, так как некоторые другие виды деятельности уже учитываются системе, разработанной на данной платформе [6].

Основным назначением данной системы является автоматизация учета и хранения информации по сотрудникам и мероприятиям для планирования событий и последующего поощрения наиболее активных сотрудников. Система должна позволять изменять, дополнять и вести поиск информации о сотрудниках и мероприятиях, а также анализ деятельности в целом.

Список литературы

1. Верещагина Л.А. Психология персонала. Потребности, мотивация и ценности. – М.: Гуманитарный центр, 2012. – 212 с.
2. Сайт Юргинского технологического института Томского политехнического университета [Электронный ресурс.] Режим доступа: http://uti.tpu.ru/
3. Похилько А.Ф., Горбачев И.В. CASE–технология моделирования процессов с использованием средств BPWIN и ERWIN – Ульяновск: Изд. УлГТУ, 2008.
4. Оптимизация бизнес-процессов \\ [Электронный ресурс.] Режим доступа: http://www.Axisco nsu lting.ru/index.php-id
5. Hierarchical Model of Assessing and Selecting Experts / T. Yu. Chernysheva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127 : Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering. – 012027, 6 p.
6. Подбор программного обеспечения на основе методов анализа и прогнозирования, реализованных в 1С// А. Н. Важдаев, Т. Ю. Чернышёва, Е. И. Лисачева // Инновационные технологии и экономика в машиностроении : сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, 21-23 мая 2015 г., Юрга / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. Д. А. Чинахова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 219-224.

РАЗРАБОТКА ИТ-СТРАТЕГИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧАСТНОЙ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

С.В. Разумников, к.т.н., старший преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал) Национального Томского политехнического университета
652055, г. Юрга, Ленинградская 26, тел. 8(38451)77764
E-mail: demolove7@inbox.ru

При внедрении облачных технологий необходимо наличие стратегического плана, который может помочь правильно поставить перед ИТ цели и увидеть их достижение, контролировать и корректировать движение к достижению результата. В статье рассматриваются особенности частных облачных сред. Показана важность разработки ИТ-стратегии для внедрения облачных технологий на предприятии, а также необходимые требования для ее формирования.

Облачные технологии зарекомендовали себя как движущая сила изменений, которая кардинально меняет укоренившиеся методы приобретения, управления и использования технологий и предоставляет исключительные возможности для трансформации традиционных бизнес-моделей. Для все большего числа компаний облачные вычисления приобретают приоритетное значение.

В сфере облачных решений на передний план выдвинулись частные облачные среды. Их растущая популярность в существенной степени обусловлена повышенным уровнем контроля и предлагаемыми ими стратегическими возможностями. Частные облачные среды представляют собой оптимальный компромиссный вариант, обеспечивающий ожидаемые преимущества и эффективность облачных технологий и позволяющий избежать проблем с соблюдением конфиденциальности и требований, возникающих в многоарендных облачных моделях.

Естественно, что такие среды часто выбирают для выполнения важных корпоративных бизнес-приложений и конфиденциальных рабочих задач. Но для организаций с точки зрения экономики и эксплуатации огромное значение имеют возможности самостоятельного управления, автоматизации и учета в частных облачных средах. Эти возможности позволяют существенно уменьшить объем администрирования, выполняемого вручную, снизить затраты на эксплуатацию и поддержку ИТ-систем и упростить динамическое использование и предоставление ИТ-ресурсов.

Тем не менее, руководителям ИТ-отделов необходимо тщательно подойти к анализу того, что предполагает переход к таким средам, и предпринять надлежащие действия по планированию и внедрению частных облачных сред. Необходимо долгосрочная стратегия [1, 2] на основе целостного подхода к облачной среде в контексте всей ИТ-среды предприятия и его деятельности. Важно иметь комплексный портфель частных облачных решений, который позволит поддержать этот стратегический подход с помощью слуг, учитывающих различные уровни развития облачных сред и охватывающих весь жизненный цикл развертывания, от стратегического планирования и оценки до внедрения и управления. Независимо от того, собирается ли предприятие начать переход к частной облачной среде, расширить возможности имеющейся среды или внедрить облачные технологии в центре обработки данных, услуги по аналитике помогают быстро и экономически эффективно воспользоваться преимуществами частных облачных сред.

Особенности частных облачных сред. Частные облачные среды позволяют динамически объединять внутренние ИТ-ресурсы и совместно использовать их в масштабах предприятия. При этом обеспечивается практически мгновенный доступ к таким ресурсам и сокращаются расходы на администрирование по сравнению с традиционным развертыванием ИТ-систем. Частные облачные среды кардинальным образом меняют всю ИТ-систему, ускоряя трансформацию бизнес-моделей, необходимую в сложных экономических условиях:

- ускорение вывода продуктов на рынок;
- быстрая масштабируемость;
- автоматизация администрирования и управления услугами;
- интеграция данных и информации;
- учет использования.

Несмотря на растущее предложение продуктов и услуг, призванных упростить развертывание частных облачных сред, успех проекта зависит от наличия четкой облачной стратегии и плана действий по внедрению, разрабатываемого на ее основе. Основная проблема заключается в организации внедрения таким образом, чтобы как можно раньше получить ожидаемые преимущества.

Понимание относительной важности этих целей совершенно необходимо для разработки эффективной стратегии частной облачной среды. Кроме того, разработка такой стратегии требует от ИТ-специалистов и представителей бизнеса совместного обсуждения готовности организации к внедрению облачной среды не только в смысле достаточной степени виртуализации и автоматизации инфраструктуры, но также с точки зрения культурной готовности организации к изменениям, порождаемым облачной средой. Заинтересованным сторонам нужно ответить на фундаментальные вопросы о дизайне облачной среды, уровнях обслуживания и развертывании, согласовать стратегические ожидания и требования организации к облачной среде, включая следующее:

- Роль облачной среды в формировании бизнес-процессов.
- Рабочие нагрузки, получающие максимальные преимущества от облачной среды (разработка/тестирование, производство, корпоративные приложения).
- Требования к готовности, производительности и безопасности.
- Требования к вычислительной мощности, системам хранения и пропускной способности.
- Ответственность за операционную систему (ОС) и инфраструктуру и ответственность за управление.
- Интеграция с традиционной серверной инфраструктурой организации.
- Интеграция с более широкой корпоративной стратегией в области ИТ и бизнеса.

Разработка собственных стратегий позволяет принять правильные решения о частной облачной среде, которые помогут существенно повысить отдачу. Стратегия также поможет определить наличие необходимых финансовых и технических ресурсов для проектирования и построения частного облачного решения и управления им самостоятельно или, в случае необходимости, со сторонней поддержкой.

Услуги сторонних организаций по разработке стратегии и проектированию частной облачной среды призваны помочь в разработке стратегии частной облачной среды и реалистичного плана действий по развертыванию такой среды, согласующегося с бизнес-целями организации.

Проект и стратегия облачной инфраструктуры. Облачная стратегия должна опираться на тщательную оценку инфраструктуры и рабочих нагрузок с целью понять возможности их оптимизации с помощью облачной среды. Ставится задача понять приоритеты в области бизнеса и ИТ, проблемы и требования. Информация, собранная в ходе обсуждения в течение нескольких последующих недель, обрабатывается с использованием качественных и количественных инструментов для анализа имеющейся инфраструктуры в контексте приоритетов предприятия. Это позволяет определить, где и каким образом следует внедрить облачные вычисления в среде предприятия.

Эксперты в области ИТ внутри предприятия или консультанты сторонних организаций сопоставляют собранную информацию с системой внедрения облачных сред, представляющей собой стандартизованный справочник моделей предоставления облачной среды (общедоступная, частная, гибридная) и услуг (инфраструктура, платформа, приложение), для определения стратегической цели облачной среды [3]. Выбираются подходящие для предприятия типы услуг и модели предоставления, целевую производительность облачной среды и варианты среды, которые обеспечат максимальные преимущества для бизнеса в кратчайшие сроки [4].

Система внедрения облачных сред также позволяет определить возможности управления облачными услугами, такие как учет и выставление счетов, необходимые для частного облака, а также потенциальные проблемы, которые следует рассмотреть до начала развертывания, например, связанные с корпоративным управлением и интеграцией. Аналитические методы позволяют выполнять разработку стратегии на 90 % быстрее, чем традиционные методы анализа. Конечными результатами являются практический план перехода и оформленный в визуальной форме план действий по развертыванию облачной среды, которые помогают упростить выбор рабочей нагрузки и эксплуатацию облачной среды в соответствии с бизнес-целями.

Прежде чем приступать к развертыванию частной облачной среды, необходимо понять, как это повлияет на производительность сетевой инфраструктуры и приложений. Услуги по разработке стратегии и оптимизации сетевой инфраструктуры для облачных вычислений помогают решить обе эти задачи. Два предложения (одно для сетевой инфраструктуры, другое для приложений) помогают выявить потенциальные риски для сетевой инфраструктуры и приложений, а также возможности для оптимизации. Заблаговременное выявление и решение этих проблем сводит до минимума вероятность дорогостоящих задержек и проблем миграции во время развертывания.

В рамках услуги по оптимизации сетевой инфраструктуры проводится оценка конфигураций архитектуры и потоков данных, а также анализ основных характеристик сети, таких как безопасность, высокая доступность и управление. Эта услуга ориентирована на анализ имеющихся уязвимо-

стей и выявление возможностей подготовки сети для полной поддержки частной облачной среды. Итоговый отчет о готовности и система показателей определяют приоритеты для рекомендуемых усовершенствований, обеспечивая баланс между функциональностью сети и затратами и рисками.

Услуга по оптимизации сетевых приложений предполагает проведение проверки зависимостей между приложениями, серверами и сетью, а также анализа пригодности приложений для предоставления в облачной среде. В системе показателей определены приоритеты для приложений, лучше всего подходящих для переноса в облачную среду. Также приводятся рекомендации по оптимизации конкретных приложений, направленные на повышение производительности в сети.

Список литературы

1. Холодков А. ИТ-стратегия, часть 1: общий стратегический процесс в организации // ИТ-консультант.рф – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kholodkov.ru/it/?p=671. Дата обращения: 10.09.2015.
2. Разумников С.В. Разработка стратегии внедрения облачных технологий для предприятий // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 18-20 мая 2017 г., Юрга. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 183-185].
3. Разумников С.В., Курманбай А.К. Разработка моделей оценки эффективности и рисков внедрения облачных ИТ-сервисов: системный подход // Science Time. 2015. № 9 (21). С. 221-227.
4. Разумников С.В. Оценка эффективности и рисков от внедрения облачных ИТ-сервисов // Фундаментальные исследования. - 2014. - Вып. № 11-1. - С. 33-38.

РЕЙТИНГ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ ПО КАЧЕСТВУ ЖИЗНИ

В.И. Марчук ст. преподаватель, кафедры ЭиАСУ
Е.П. Коршунова студентка группы О-17Б71, кафедры ЭиАСУ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Юргинский технологический институт
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail.ru: tika75-1977@mail.ru

В данной статье проводится анализ качество жизни рассматривается как характеристика условий жизнедеятельности людей и является, по сути, отражаем степени удовлетворения населением своих потребностей.

Проблема улучшения качества жизни в стране целом и в каждом регионе России является важнейшие стратегической задачей на современном этапе общественного развития. Качество жизни является одним из важнейших показателей, характеризующих уровень развития стран и наций.

Наша страна, обладающая огромными территориями и населенной многочисленными народами, вопрос оценки качества жизни в территориальном резерве с целью выработки мер по сглаживанию региональных различий приобретает особую актуальность.

Для количественного определения диспропорций в этой сфере агентство «РИА Рейтинг» медиагруппы «Россия сегодня» к Российскому инвестиционному форму подготовило рейтинг российских регионов по качеству жизни.

Рейтинг строился на основе комплексного учета различных показателей, фиксирующих фактическое состояние тех или иных аспектов условий жизни и ситуации в социально-экономической сфере. При расчете рейтинга проводился анализ 72 показателей, которые объединены в 11 групп, характеризующих основные аспекты качества жизни в регионе:

- уровень доходов населения;
- занятость населения и рынок труда;
- жилищные условия населения;
- безопасность проживания;
- демографическая ситуация;
- экологическая и климатические условия;
- здоровье населения и уровень образования;
- обеспеченность объектами социальной инфраструктуры;
- уровень экономического развития;
- уровень развития малого бизнеса;

- освоенность территории и развитие транспортной инфраструктуры.

Позиции субъектов РФ в итоговом рейтинге определились на основании интегрального рейтингового балла, который рассчитывался путем агрегирования рейтинговых баллов регионов РФ по всем анализируемым группам. Рейтинговый балл группы определялся путем агрегирования рейтинговых баллов показателей, входящих в группу.

При составлении рейтинга регионов по качеству жизни – 2017 использовались последние доступные на момент расчета данные – показатели 2016-2017 годов.

Лидерами рейтинга вновь стали наши основные центры притяжения рабочей силы: Москва, Санкт-Петербург и Московская область. Эта тройка возглавляет рейтинг уже в течение многих лет, имея высокие рейтинговые баллы, пока недосягаемые для других регионов. Скорее всего, в ближайшие годы эта ситуация не изменится. Развитость инфраструктуры, высокий уровень развития экономики, социальной сфере вкупе с высоким потенциалом дальнейшего развития позволяет этим регионам надолго закрепиться в топе рейтинга.

Замыкают рейтинг Республика Тыва и Республика Ингушетия.

Таблица

Рейтинг Российских регионов по качеству жизни. Итоги 2017 года [1]

Позиция в рейтинге 2017 года	Субъект РФ	Рейтинговый балл в рейтинге 2017 года (мин.-1, макс.-100)	Позиция в рейтинге 2016 года
1	г. Москва	76,92	1
2	г. Санкт- Петербург	75,88	2
3	Московская область	70,55	3
4	Республика Татарстан	65,59	4
5	Белгородская область	64,00	6
6	Краснодарский край	62,89	5
7	Воронежская область	61,21	7
8	Липецкая область	59,50	9
9	Ханты-Мансийский автономный округ - Юрга	58,46	8
10	Калининградская область	57,00	11
11	Свердловская область	56,80	12
12	Ленинградская область	56,61	13
13	Тюменская область	55,81	10
14	Нижегородская область	55,50	14
15	Курская область	54,40	15
16	Ямало-Ненецкий автономный округ	53,30	24
17	Тульская область	53,20	23
18	Ростовская область	52,91	18
19	Калужская область	52,83	17
20	Самарская область	52,81	16
21	Челябинская область	52,19	19
22	Ставропольский край	51,52	21
23	г. Севастополь	50,97	29
24	Республика Башкортостан	50,53	25
25	Рязанская область	49,36	20
26	Новосибирская область	49,11	28
27	Пензенская область	49,10	26
28	Ярославская область	49,07	27
29	Республика Адыгея	48,35	22
30	Хабаровский край	47,91	36

«Если на полюсах рейтинга существенных изменений не произошло, то сердцевина продемонстрировала ряд заметных изменений, - отметил генеральный директор агентства «РИА Рейтинг» медиагруппы «Россия сегодня». Наиболее существенно в лучшую сторону изменились позиции Крыма, который с 66-го места переместились на 55-е, что вполне закономерно отражает позитивные измене-

ния, происходящие на полуострове. В число лидеров по росту вошли также Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Хакасия, Чеченская Республика, Тульская область»

Полная версия рейтинга и методики его составления опубликованы на сайте «РИАРейтинг».

РИАРейтинг – это универсальное рейтинговое агентство медиагруппы МИА «Россия сегодня», специализирующееся на оценке социально-экономического положения регионов РФ, экономического состояния компаний, банков, отраслей экономики, стран. Основными направлениями деятельности агентства являются: создание рейтингов регионов РФ, банков, предприятий, муниципальных образований, страховых компаний, ценных бумаг, другим экономических объектов; комплексные экономические исследования в финансовом, корпоративном и государственном секторах.

Рейтинговое агентство «РИА Рейтинг» медиагруппы МИА «Россия сегодня» представляет очередной, шестой по счету рейтинг качества жизни населения в российских регионах.

Рейтинг, построенный на основании комплексного учета различных показателей, фиксирующих фактическое состояние тех или иных аспектов условий жизни и ситуации в социальной сфере, позволяет оценить межрегиональные различия в данной сфере.

Уровень и качество жизни населения являются базовыми показателями успешности и стабильности социально-экономического развития страны.

Категория «качество жизни» включает аспекты жизнедеятельности человека, в том числе социально-экономические, культурные, политические, экологические.

Количественный характеристикой качества жизни является уровень жизни как мера общего количества вещей, используемых индивидуумом в виде носителей благ. Под качеством жизни понимается удовлетворенность населения с точки зрения широкого набора потребностей и интересов.

Список литературы

5. Аналитическая записка об итогах социально-экономического развития [Электронный ресурс] http://www.riarating.ru/infografika/20180214/630082471.html.
6. Корчагин Ю.А. Рейтинг регионов РФ по малому бизнесу.

ИНВЕСТИЦИИ ЛИЧНОГО ДОХОДА КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ЛЮДЕЙ

Г.О. Тащиян, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, г. Юрга
652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел.(38451) 7-77-62
E-mail: gtashiyan@mail.ru

Экономическая нестабильность и риск обесценивания накопленных средств толкает людей к увеличению доли сберегаемого дохода. Невысокий уровень финансовой грамотности приводит к тому, что сбережения население предпочитает хранить либо дома, либо на банковском депозите. Такая форма накоплений даже не сохранит накопленные средства от инфляционного обесценивания, но и не принесет сколько-нибудь значимого дохода. Целью статьи является изучение вопросов инвестиций личного дохода как фактора улучшения качества жизни людей на примере города Юрга.

Economic instability and the risk of depreciation of accumulated funds pushes people to increase the share of the saved income. A low level of financial literacy leads to the fact that the population prefers to keep savings either at home or on a bank deposit. This form of savings will not even save the accumulated funds from inflationary depreciation, but it will not bring any significant income. The purpose of the article is to study the issues of personal income investments as a factor in improving the quality of life of people by the example of the city of Yurga.

Вопросы об уровне качества жизни населения всегда актуальны для всех жителей нашей страны. Особенно эту проблема можно наблюдать в моногородах, поскольку это населённые пункты, зависящие от одного или нескольких «градообразующих» предприятий в плане трудоустройства и инфраструктуры. И если возникают проблемы у таких предприятий, то эти проблемы отражаются и на жителях города, поскольку большинству из них попросту негде работать. А это резко снижает уровень качества жизни населения города, что также отражается на регионе в целом.

Существует ряд определений понятия «качество жизни» в современной литературе.

Так, например, с философской точки зрения «качество жизни» – это социологическая категория, выражающая качество удовлетворения материальных и культурных потребностей людей [1].

В социологии «качество жизни» является важнейшим интегральным показателем социального благосостояния общества и индивида. Измерение качества жизни – необходимый компонент социального мониторинга, оценки состояния и характера развития социальных процессов в любой стране [2].

В экономике «качество жизни» рассматривается как обобщающая социально-экономическая категория, представляющая обобщение понятия «уровень жизни», включает в себя не только уровень потребления материальных благ и услуг, но и удовлетворение духовных потребностей, здоровье, продолжительность жизни, условия среды, окружающей человека, морально-психологический климат, душевный комфорт [3].

Необходимо отметить, что по всей стране стала широко внедрятся программа повышения уровня качества жизни граждан страны за счет повышения их финансовой грамотности.

Так на базе Гимназии города Юрги в виде профильных практик реализована программа по обучению финансовой грамотности школьников старших классов. В результате учащиеся приобретают знания и навыки по составлению своего личного бюджета. Одним из достоинств этой программы стало участие в 2017 году школьников Гимназии в межрегиональном конкурсе на лучшее интервью с финансистами среди школьных и студенческих команд «Спроси финансиста». Организация и проведение данного конкурса осуществлялось Национальным Агентством Финансовых Исследований (НАФИ) и Институтом развития финансовых рынков (ИРФР). В качестве результата учащиеся предоставили работу по определению инструментов инвестирования личных доходов для повышения уровня качества жизни жителей города Юрги.

В качестве инвестиционных инструментов были рассмотрены корпоративные облигации российских компаний, российские государственные облигации, акции российских компаний, операции с валютой, операции с недвижимостью, паевые инвестиционные фонды (ПИФы), индивидуальные инвестиционные счета, драгоценные металлы, банковские депозиты.

Для каждого из перечисленных инструментов были определены достоинства и недостатки, а также ориентировочная минимальная сумма, начиная с которой инвестирование имеет реальный экономический смысл и приносит весомый доход (далее - порог вхождения).

Так, например, по облигациям можно выделить следующие положительные стороны:

Минимальный риск. Важным преимуществом облигаций по сравнению с другими видами инвестирования является надежность. Купонный доход выплачивается вне зависимости от экономического положения предприятия. В том случае, если предприятие не имеет средств для выплаты процентов по облигациям, оно будет вынуждено расстаться с собственным имуществом для покрытия долгов.

Стабильность. Вследствие того, что облигации приносят фиксированный доход, владелец облигаций имеет возможность точно планировать свой бюджет, не занимаясь операциями с ними ежедневно.

Получение двух видов дохода: купонного (1 раз в период) и от разницы номинальной стоимости облигации при спекулятивной купле/продаже.

Однако же имеется и своя отрицательная сторона, которая выражается в относительно небольшом доходе. В сравнении с более рисковыми инвестиционными инструментами, облигации приносят достаточно небольшой купонный доход – порядка 4-10% в год.

Важным преимуществом государственных облигаций перед корпоративными является то, что доход по ним не облагается налогом.

Порог вхождения: 80-100 тысяч рублей. Облигации видятся оптимальным инструментом долгосрочного инвестирования, т.к. в краткосрочной перспективе не дают высокой доходности при вложениях в пределах указанной суммы. Большие суммы принесут больший процент, однако в социально-экономических условиях Кемеровской области их рассмотрение малоперспективно.

По акциям можно выделить следующие положительные стороны:

Высокая прибыльность. Стоимость акций напрямую зависит от финансового состояния предприятия-эмитента. Резкий рост или падение котировок акций даёт возможность получения сверхприбылей в короткие сроки.

Получение двух видов дохода. Зарабатывать на акциях можно не только играя на колебаниях их стоимости, покупая и продавая их, но и получая с них определенную долю от прибыли фирмы – дивиденды.

Отрицательные стороны:

Высокий уровень риска. Непрофессиональным участникам рынка трудно точно предсказать предстоящее поведение котировок, что приводит к серьёзным финансовым потерям в случае их изменения в неблагоприятную сторону.

Необходимость постоянного личного участия. Операции спекулятивного характера с акциями невозможны без временных затрат на отслеживание динамики котировок и биржевых новостей.

Порог вхождения: 30-60 тысяч рублей. Возможность получения сверхприбылей снижает минимально приемлемую сумму вложения, одновременно серьёзно увеличивая риск её потери.

По валюте можно выделить следующие положительные стороны:

Высокая ликвидность. Валюту практически любого государства можно очень быстро обменять на рубли в любом банке или через Интернет, то есть валюта как способ вложения денег обладает высокой ликвидностью – способностью быть проданной по рыночной цене в любой момент времени.

Возможность получения сверхприбылей в ходе экономической нестабильности. Примером может служить ситуация на российском валютном рынке в декабре 2014 года, когда за 2 дня курс рубля по отношению к доллару снизился более чем в 1.5 раза.

Отрицательные стороны:

Высокие риски. Для валютного рынка в целом характерна высокая волатильность, что подразумевает быструю смену курса валютных пар. Непрофессиональному инвестору достаточно сложно предсказать будущее движение валютного курса, что в неблагоприятной ситуации может привести к убыткам.

Необходимость личного участия. Валюта не является консервативным инвестиционным инструментом. Для получения ощутимой прибыли требуется отслеживать биржевые новости, чутко реагировать на любое изменение конъюнктуры продажей или покупкой валюты.

Низкая прибыльность. Прибыль, получаемая в ходе операций с небольшими объёмами валюты, зачастую невелика и может даже не превышать уровня инфляции. Большую абсолютную прибыль можно получить, используя большое кредитное плечо, предоставляемое некоторыми инвестиционными платформами, что, в свою очередь, существенно повышает риски.

Порог вхождения: 20-50 тысяч рублей. Сумма снижается при использовании большого плеча.

По недвижимости можно выделить следующие положительные стороны:

Надежность. Недвижимость относится к активам, которые обладают высокой ценовой стабильностью. Помимо того, её стоимость гарантировано не упадёт до нуля.

Консервативность. Этот фактор также немаловажен, ведь человек чувствует себя гораздо комфортнее и увереннее, если он имеет конкретное представление о том, как конкретно работает выбранный им инвестиционный инструмент. В представлении большинства россиян, недвижимость – актив, обладающий реальной стоимостью и ценностью, в отличие от «виртуальных» акций и облигаций.

Отрицательные стороны:

Высокий порог вхождения. Недвижимость – дорогостоящий актив, требующий серьёзных первоначальных вложений.

Медленная окупаемость. Учитывая высокую стоимость недвижимости, можно сделать вывод, что первоначальные вложения окупятся только в средне- и долгосрочной перспективе.

Низкая ликвидность. Экономическая нестабильность, кризис нередко вызывают существенное падение спроса на недвижимость, в результате чего продать актив или даже сдать его в аренду может оказаться проблематично.

Порог вхождения: 0,9-1.2 миллиона рублей. В такую сумму в текущей ситуации обойдётся приобретение квартиры в г. Юрга площадью от 30 м^2.

По паевым инвестиционным фондам можно выделить следующие положительные стороны:

Низкий порог вхождения. Начинать инвестировать в ПИФы можно с самых небольших сумм. Так, стоимость одного пая обычно равна 500 – 3000 рублей. Соответственно, данный способ инвестирования может подойти каждому, и на начальном этапе проблем с финансами возникнуть не должно.

Не требует личного участия. При инвестировании в ПИФы всю деятельность по выбору объектов вложения ваших денег ведет управляющая компания, соответственно инвестору не приходится принимать.

Высокая доходность. Средняя доходность наиболее успешных российских ПИФов превышает 50% годовых за счёт диверсификации активов и осуществления управления ими квалифицированными специалистами.

Отрицательные стороны:

Высокие риски. Гарантия того, что выбранный инвестором ПИФ, показывавший блестящие результаты на протяжении нескольких лет, не сработает в текущем периоде в минус, отсутствует.

Налоги и комиссия. При продаже доли в паевом инвестиционном фонде, инвестор обязан уплатить 13% налог на доход физических лиц. Помимо того, ежегодно он платит комиссию в размере 1.5-3% от стоимости пая.

Консервативность. Государство осуществляет контроль за деятельностью ПИФов; их деятельность должна строго соответствовать уставу. Таким образом, фонд не сможет избавиться от неприбыльного актива

Порог вхождения: 500-3000 рублей.

По индивидуальному инвестиционному счету (ИИС) можно выделить следующие положительные стороны:

Налоговые льготы. Открытие ИИС предполагает налоговые льготы, выгодно отличающие ИИС от других видов инвестирования. Существует 2 вида налоговых льгот на выбор: 1) При помещении денег на ИИС на 13 % от годовой суммы вложений уменьшается НДФЛ для владельца счета. 2) Освобождение от налогов при выводе средств, заработанных на ИИС.

Стабильность. ИИС позволяют получать стабильный доход, который можно повысить с помощью налоговых вычетов, не требующий личного участия в управлении средствами.

Отрицательные стороны:

Каждое физическое лицо может открыть только один ИИС.

Налоговые льготы наступают только через 3 года после открытия счета.

Пополнять ИИС можно только в рублях.

Порог вхождения: до 1 млн. руб. (Федеральный закон от 18.06.2017 № 123-ФЗ, п. 8 ст. 10.2-1 Федерального закона от 22.04.1996 № 39-ФЗ)

По драгоценным металлам можно выделить следующие положительные стороны:

Стабильность. Так же, как и другие материальные активы, драгоценные металлы не могут значительно обесцениться в среднесрочной перспективе.

Высокая доходность в долгосрочной перспективе.

Высокая ликвидность. Осуществить продажу слитков или монет можно в любом банке после проведения соответствующей экспертизы.

Отрицательные стороны:

Налоги. При продаже драгоценного металла в виде слитка необходимо заплатить подоходный налог в размере 13 %, а также НДС в размере 18 %, что может сказаться на размере прибыли.

Высокие риски. Цены драгоценных металлов на мировом рынке подвержены не только структурным, но и конъюнктурным колебаниям, которые сложно предсказать.

Порог вхождения: 40-50 тысяч рублей. Подобная сумма вложения способна обеспечить весомый доход уже через 3-5 лет.

Важнейшими показателями, определяющими выбор того или иного финансового инструмента, являются доходность и уровень риска. Под доходностью понимается тот процент, на который увеличится или уменьшится стоимость активов по истечении некоторого периода. Уровень риска исчисляется как стандартное (среднеквадратическое) отклонение ожидаемой доходности и отражает потенциальный разброс значений доходности в течение этого периода.

Для определения обоих показателей была проанализирована статистика доходности трёх наиболее доходных и известных паевых инвестиционных фондов, банковских депозитов в Сибирском ФО, индексов акций российских компаний (MICEXINDEXCF), корпоративных (MICEXCBI) и государственных (RGBITR) облигаций, а также стоимость валютной пары USD-RUB, драгоценных металлов (платины и золота), квадратного метра нового и вторичного жилья в г. Юрга. На основании этих показателей был произведён расчёт общей и среднемесячной доходности актива, а также потенциального уровня риска (табл. 1).

Таблица 1.

Уровень доходности и риска инвестиционных инструментов

	ПИФы			Акции	Корпоративные облигации	Частные облигации
	Райффайзен	Открытие	Сбербанк			
Период	Январь 2014 – декабрь 2016				Июнь 2015 – декабрь 2016	
Общая доходность (%)	69,83	62,47	53,55	40,12	28,90	22,26
Среднемесячная доходность (%)	2,23	2,04	1,80	1,42	1,35	1,06
Риск (%)	7,73	2,11	5,35	1,92	2,15	1,52

Золото	Платина	Депозит	Валютная пара USD-RUB	Недвижимость	
				В новостройках	Вторичный рынок
Январь 2014 – декабрь 2016		Июнь 2015 – июль 2016	Март 2015 – Апрель 2017		
2,60	-27,64	15,04	71,96	-22,50	-11,50
0,11	-1,34	1,21	2,28	-1,15	-0,55
0,79	6,39	1,33	7,22	1,91	1,90

График, наглядно демонстрирующий соотношение уровня риска и доходности рассматриваемых инвестиционных инструментов, представлен на рисунке 1.

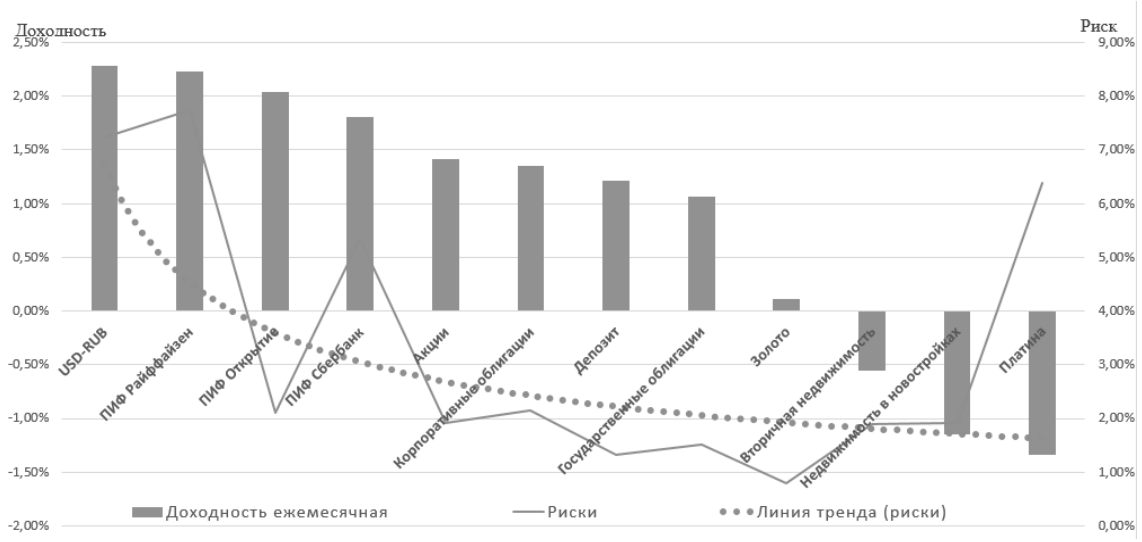


Рис. 1. Соотношение доходности и риска инвестиционных инструментов

Линия тренда, выполненная пунктиром, показывает общую тенденцию снижения рисков по мере уменьшения доходности актива. Это подтверждает один из важнейших постулатов инвестирования: чем выше доход, тем выше риск, и наоборот.

Крупные игроки финансового рынка, основываясь на собственных исследованиях и прогнозах, регулярно формируют рекомендации для частных инвесторов относительно наиболее и наименее перспективных способах вложения средств. В рамках этой работы было решено рассмотреть некоторые из рекомендаций и обобщить их.

Так, например, директор по стратегическому развитию УК «Альфа-Капитал» Вадим Логинов считает, что наиболее перспективным для новичка на финансовом рынке будет открытие индивидуального инвестиционного счёта и использование стратегии, направленной на преимущественное приобретение облигаций федерального займа. Это позволит получить налоговый вычет от государства, а также доход, превышающий ставку по депозитам на 2-4%. Схожую стратегию рекомендует аналитик «Conomy» и доверительный управляющий Александр Янсон [4].

Управляющий директор «Сбербанк Управление активами» Василий Илларионов также отмечает необходимость консультации с управляющей компанией перед совершением каких-либо самостоятельных действий на финансовом рынке. Он также настаивает на том, что инвестиции должны быть долгосрочными, а портфель – диверсифицированным.

Алексей Вязовский, ведущий аналитик ФГ «Калита-Финанс», и эксперт компании по управлению активами RIETUMU ASSET MANAGEMENT Юрий Москалюк рекомендуют инвесторам не забывать о «физическом золоте», которое является идеальным вариантом для сохранения сбережений в двух- трёхлетней перспективе. Экспертами также отмечается высокая ликвидность данного метода.

Целесообразность инвестиций в недвижимость ведущий аналитик рейтингового агентства RAEX («Эксперт РА») Алена Скурихина и ведущий юрист департамента юридического и налогового

консалтинга ГК «АКИГ» Андрей Айвазов оценивают как «крайне низкую», связывая это с текущей конъюнктурой на этом рынке.

Инвестирование в рынок акций эксперты считают доходным, но рискованным, подчеркивая необходимость тщательной оценки каждого конкретного эмитента в портфеле.

Таким образом, к выбору инвестиционного инструмента стоит относиться с большой ответственностью, оценивая совокупность показателей (табл. 2).

Таблица 2.

Обобщенная характеристика инвестиционных инструментов

Инструмент	Доходность	Риски	Ликвидность
ПИФы	Высокая	Средние	Средняя
Валюта	Высокая	Высокие	Высокая
Акции	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего
Облигации	Средняя	Ниже среднего	Выше среднего
Депозит	Ниже среднего	Низкие	Высокая
Драгоценные металлы	Низкая	Высокие	Высокая
Недвижимость	Низкая	Высокие	Низкая

Наиболее удачным будет создание диверсифицированного портфеля в рамках индивидуального инвестиционного счёта, состоящего на 60% из государственных и корпоративных облигаций (доля распределяется поровну), на 30-40% – из акций крупных компаний сырьевого сектора и инновационных предприятий (кибернетика, нанотехнологии, робототехника). Оставшуюся часть средств целесообразно использовать для приобретения металлического золота.

В рамках данного проекта был проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков девяти инвестиционных инструментов. С использованием данных фондовых бирж и других открытых источников были оценены доходность, ликвидность и уровень риска каждого из них.

На основе собранной информации были сделаны выводы о наиболее перспективных инвестиционных инструментах. Также предложена примерная структура инвестиционного портфеля, обеспечивающего невысокий риск и доходность выше среднего уровня.

В связи с возросшим интересом к финансовой грамотности среди взрослого населения города можно создать центр по обучению финансовой грамотности на базе Юргинского технологического института Томского политехнического университета (ЮТИ ТПУ). Тем более, семинар на тему «Личное финансовое планирование», проведенный 6 декабря 2017 года среди сотрудников ЮТИ ТПУ показал, что вопросы по составлению своего личного бюджета и управлению им являются самыми актуальными на сегодняшний день. Так же было выражено желание получить дополнительную информацию по другим, не менее актуальным, темам: кредитование, налоги, страхование, мошенничество на финансовых рынках, защита прав потребителей финансовых услуг и т.д. Каждая тема требует серьезной проработки и в рамках ЮТИ ТПУ имеются все необходимые возможности для проведения такого рода мероприятий.

Таким образом, это позволит существенно повысить финансовую грамотность населения города Юрги, а также уровень качества жизни его жителей.

Список литературы

1. Новая философская энциклопедия. Научно-ред. совет: В. С. Стёпин, А. А. Гусейнов, Г. Ю. Семигин, А. П. Огурцов. (2-е изд., испр. и допол.) – М.: Мысль, 2010. Т.1-4, С.2816.
2. Л. Леви, Л. Андерсон. Народонаселение, окружающая среда и качество жизни. М.: Экономика, 1979, С.144.
3. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б.. Современный экономический словарь. – 2-е изд., испр. М.: ИНФРА-М, 1999, С.479.
4. Кризисный портфель консерватора. Режим доступа: http://www.rbcplus.ru/news/5747eaf57a8aa94aafad7df8 (дата обращения: 15.12.2017).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Г.В. Редреев, к.т.н., доц., А.В. Шимохин, к.э.н., П.В. Кийко, к.п.н., доц.
Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина
644008, г. Омск, Институтская пл., 1, тел. (3812)-651172. E-mail: weerwg@mail.ru

В условиях значительной изношенности машин и оборудования производственных предприятий очень большое значение имеет организация технического сервиса. Отделы главного механика промышленных предприятий, инженерные службы сельскохозяйственных предприятий не могут обеспечить качественного выполнения всего комплекса работ по техническому сервису. В то же время на отечественном рынке услуг промышленного сервиса, который включает совокупность специализированных компаний-поставщиков услуг по ремонту промышленного оборудования, имеются необходимые ресурсы для обеспечения качественного ремонта и технического обслуживания. Технический потенциал ремонтно-технических предприятий также может быть привлечен для обеспечения работоспособности машин и оборудования. Однако при передаче некоторого объема работ на аутсорсинг необходимо определить, какие виды ремонтных и обслуживающих работ и какого вида оборудования могут быть переданы. Наилучший вариант распределения объемов работ может быть получен решением оптимизационной задачи распределения ремонтно-обслуживающих работ различной сложности между существующими уровнями технического сервиса. При этом необходимо учитывать возможные убытки предприятий от недопроизводства продукции за время технического сервиса оборудования предприятием-аутсорсером. Но иногда, при некотором соотношении затрат на технический сервис и размера предполагаемых убытков, задача не имеет единственного решения. В этом случае следует применить дополнительный критерий – оценка квалификации сервисных инженеров предприятия-аутсорсера. Квалификация может быть определена оценкой уровня компетенций сервисных инженеров по комплексному критерию, учитывающему три аспекта этих компетенций. Во-первых, степень соответствия компетенций конструкциям обслуживаемых машин и оборудования. Во-вторых, степень соответствия компетенций технологиям технического сервиса. В-третьих, степень соответствия применяемых технологий технического сервиса обслуживаемым машинам и оборудованию. Данную методику оценки компетенций сервисных инженеров могут использовать как предприятия-заказчики, так и предприятия-аутсорсеры.

In the context of significant ware of manufacturing plants machines and equipment a big role belongs to coordination of technical service. Chief mechanical departments of industrial plants, engineering services of agricultural companies are not able to provide the whole range of high quality technical service. In the same time, the domestic market of industrial services which includes of aggregate of specialized companies providing industrial equipment repair services has necessary resources for providing quality repair and maintenance. Technical capacity of repair and maintenance companies also can be involved in maintaining operability of machines and equipment. But in case of outsourcing some volume of works, it is necessary to define what type of repair and maintenance works and what type of equipment can be outsourced. Finding decision to optimization task which consists in distributing repair and maintenance works of different complexity among existing levels of technical service can help distribute the volume of works in the best way. Possible losses of companies from underproduction during the time an outsourcing company performs services need to be taken into consideration. However, sometimes at some ratio of expenses on technical services and volume of expected losses the task does not have one decision. In this case, an additional criterion should be applied which is evaluating outsourcer's service engineers qualification. The qualification can be defined by estimating the competence level according to a complex criteria which considers three aspects of this competence. Firstly, the degree of competence correspondence to the construction of machines and equipment under service. Secondly, the degree of competence correspondence to the technologies of technical service. Thirdly, the degree applied technical service techniques correspond to machines and equipment under service. This method of service engineers' competence estimation can be used both by client and outsourcer companies.

Анализ практики функционирования промышленных предприятий позволил установить высокий уровень износа промышленного оборудования, в том числе станочного парка, который в зависимости от региона составляет от 40 до 80% [1]. Это приводит к большим затратам на техническое обслуживание и ремонт. Процесс обновления оборудования, как правило, протекает медленно, что приводит к необходимости использования оборудования с большим сроком эксплуатации. Аналогичная ситуации сложилась и агропромышленном комплексе (АПК). Более 60% парка машин выработало свой амортизационный срок. Машинно-тракторный парк сельскохозяйственных предприятий, как правило, состоит из тракторов и сельскохозяйственной техники российского (советского и СНГ) производства и в небольшом количестве – тракторов и агрегатов зарубежных фирм с высокой производительностью и обещаемой высокой надеж-

ностью. Он характеризуется неразвитой инфраструктурой ремонта и ТО, с дилерскими центрами по гарантийному обслуживанию и продаже запчастей [2, 3].

По данным региональных министерств сельского хозяйства, предприятия имеют тракторы с возрастом 45 лет и комбайны с возрастом 33 года. Средний возраст тракторов составляет 17,5 лет. Средний возраст комбайнов – 10,5 лет [4, 5].

В настоящее время на отечественном рынке промышленного сервиса, который включает совокупность специализированных компаний-поставщиков услуг по ремонту промышленного оборудования, имеются необходимые ресурсы для обеспечения качественного ремонта, включая технологии, оборудование и высококвалифицированный персонал, обладающий необходимыми компетенциями и опытом работы.

Инженерной службой АПК страны за время существования Госкомсельхозтехники накоплен богатый опыт централизованного обслуживания автомобилей, тракторов «Кировец», машин для животноводства, поливной техники. Оптимальное сочетание централизации в организации работ по ТО и ремонту с рациональной концентрацией средств ТО и ремонта может обеспечить значительное повышение уровня технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. Например, по данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Омской области [4], в 2016 г. в восьми из 24 крупных дилерских центров организована работа 45 мобильных бригад по гарантийному обслуживанию сельскохозяйственной техники (таблица 1).

Кроме этого, для технического сервиса могут быть привлечены существующие ремонтно-технические предприятия различного профиля.

Таблица 1

Реализация и обслуживание основных видов сельскохозяйственной техники в Омской области в 2016 г.

№ пп	Наименование организации	Вид реализуемой техники	Количество бригад по гарантийному обслуживанию
1	ОАО «Семиреченская база снабжения»	Тракторы, зерноуборочные комбайны, косилки,	13
2	ОАО «Сибирская База»	Тракторы, зерноуборочные комбайны, косилки, прицепные жатки	5
3	ООО ПСК «ОмскДизель»	Посевные комплексы	8
4	ЗАО «БазаАгрокомплект»	Тракторы, косилки, сеялки зерновые, зерноочистительные машины	4
5	ОАО «Механический завод Калачинский»	Прицепные жатки, сеялки зерновые	1
6	ООО «АСМ»	Тракторы, косилки, посевные комплексы, , сеялки зерновые	10
7	ООО «Омскагролизинг»	Тракторы	2
8	ООО «Агроцентр Захарово»	Посевные комплексы	2

Привлечение таких предприятий позволит использовать преимущества существующих форм разделения труда [6]:

- технологического (при разделении общего технологического процесса на частные процессы);
- функционального (обособление различных видов трудовой деятельности и специализации отдельных групп работников в зависимости от выполняемых производственных функций);
- профессионального (обособление работников по профессиям и специальностям);
- квалификационного (обособление работников внутри каждой профессиональной группы в зависимости от квалификации и разрядов).

Аутсорсинг является одной из наиболее современных и успешных бизнес-моделей, позволяющих добиться реальных конкурентных преимуществ. К преимуществам аутсорсинга относят: концентрацию на профильной деятельности; использование наилучших методов и опыта; повышение конкурентоспособности; сокращение затрат, применение передовых технологий, улучшение сервиса, повышение гибкости производственного процесса и достижение эффекта синергии, стратегическими соображениями и т. д. В результате применения аутсорсинга сокращается потребность в капиталовложениях, повышается качество продукции, так как поставщиками становится специализированная

организация, происходит концентрация управленческих ресурсов за счет уменьшения количества объектов управления [7].

Однако, передача ремонтно-обслуживающих работ сторонней организации целесообразна при предоставлении гарантий качества услуг и высокой квалификации исполнителей этих работ. Кроме этого важно экономическое обоснование объемов передаваемых на аутсорсинг работ, с учетом их сложности.

Распределение работ технического сервиса

Принято в структуре технического сервиса выделять три уровня сложности ТО и ремонта машин и оборудования:

- ежедневное (ежесменное) ТО машин и оборудования производственным персоналом;
- номерные виды ТО, несложный ремонт машин и производственного оборудования, требующий привлечения служб отдела главного механика или ремонтно-технических предприятий;
- средний и капитальный ремонт, инструментальная оценка технического состояния сложных подсистем и узлов машин, требующая привлечения специалистов дилерских предприятий, специализированных ремонтных предприятий [8].

Организационно предприятия технического сервиса также распределены по трем уровням:

- уровень предприятия (уровень холдингов и объединений),
- зональный уровень (уровень холдингов и объединений, межзональный уровень),
- региональный уровень (межзональный уровень).

Таким образом, при формировании технического сервиса возникает задача целесообразного распределения работ по ТО машин и оборудования, различающихся уровнем воздействия на узлы и подсистемы, между возможными разноуровневыми субъектами технического сервиса (рисунок 1).

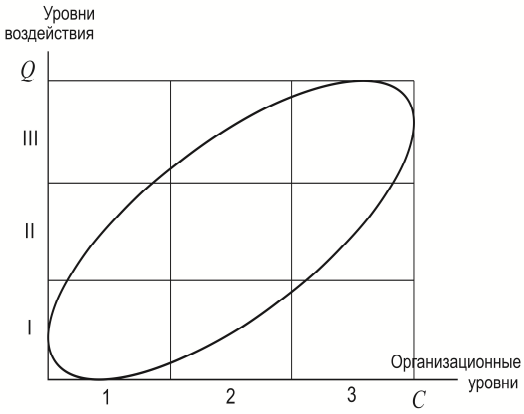


Рис. 1. Теоретическое распределение работ по уровням технического сервиса

Задача относится к разряду задач распределения ресурсов или транспортных задач. Одним из возможных эффективных методов решения задач такого рода является симплекс-метод (таблица 3) [9].

Необходимо выполнить объем необходимый работ по техническому сервису машин и оборудования, распределив его по уровням технического сервиса, так, чтобы

$$Q_{i,j} = \sum_{j=1}^{3} x_{i,j} \ , \tag{1}$$

При этом сумма затрат и убытков от потери продукции должна быть минимальна:

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} C_{ij} x_{ij} a_{ij} b_{ij} d_{ij} e_{ij} g_j \to \min \tag{2}$$

Для исследования удобно перейти к минимизации безразмерной величины, сократив предыдущую формулу на вынесенную за знак суммы стоимость услуг ТО первого уровня C_1

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} K_{ij} x_{ij} a_{ij} b_{ij} d_{ij} e_{ij} g_j \to \min \qquad (3)$$

где K_{ij} – коэффициент стоимости услуг технического сервиса.

Минимизация позволяет определить значения коэффициента стоимости услуг технического сервиса, соответствующие переходу к тому или иному уровню технического сервиса.

Однако, введя обозначение $a_{ij} b_{ij} d_{ij} e_{ij} g_j = K_n^o$ – обобщенный коэффициент затрат и потерь, можно заметить возможность его равенства для разных уровней технического сервиса при различных значениях частных коэффициентов $a_{ij} b_{ij} d_{ij} e_{ij} g_j$. В таком случае, задача может иметь бесчисленное множество решений – вариантов распределения работ между уровнями технического сервиса.

Отсутствие единственного (или предпочтительного) решения по экономическому критерию предполагает наличие других критериев, определяющих распределение объемов ТО различной сложности между уровнями технического сервиса (технико-экономических, технологических, эксплуатационных и т.д.). Одним из важнейших критериев такого рода является уровень квалификации сервисных инженеров.

Оценка квалификации сервисных инженеров

Квалификация может быть оценена по следующим показателям:

- степень соответствия компетенций конструкциям обслуживаемых машин и оборудования,
- степень соответствия компетенций технологиям технического сервиса.

В свою очередь компетенции сервисных инженеров можно представить совокупностью их знаний, умений и навыков.

После выделения в конструкции машин и оборудования некоторых общих узлов и подсистем можно предложить один из вариантов оценки квалификации по первому показателю (таблица 2).

Таблица 2

Соответствие компетенций сервисных инженеров конструкциям узлов и подсистем машин и оборудования (для группы из четырех человек)

Элементы компетенций исполнителей ТО и Р	N, чел.	Узлы и подсистемы машин и оборудования						
		двигатель	транс-миссия	ходовая система	гидро-система	электро-оборуд.	система управления	рабочие органы машин
Знания	4	4	4	4	4	4	4	4
Умения	4	3	3	3	3	3	3	3
Навыки	4	2	2	2	2	2	2	2
ВСЕГО	63	9	9	9	9	9	9	9
Возможно	84	12	12	12	12	12	12	12

Таблица составлена для группы из четырех сервисных инженеров. Максимальное количество баллов не может быть более 84. Однако мы считаем, что достаточно 63 баллов для обеспечения соответствия по рассматриваемому показателю: все исполнители знают все узлы машин; не более чем один исполнитель не умеет обслуживать какой-либо один из узлов; по крайней мере, двое исполнителей имеют навыки технического сервиса любого узла.

Для оценки квалификации по второму признаку необходимо определиться с видами и типами работ, выполняемых при техническом сервисе машин и оборудования.

Существуют несколько классификаций работ технического сервиса. По способам выполнения ремонта: сварочные работы; механическая и слесарная обработка; наплавка; гальванические операции; термообработка; восстановление под давлением; замена деталей гидросистемы; замена электрических систем. По цели работы: восстановление работоспособности; модернизация объекта; диагностирование; смазка; регулировка; осмотры. Классифицируются операции ТО и ремонта: очистительно-моечные; монтажно-демонтажные; контрольно-регулировочные; смазочные.

В соответствие со стандартом на управление надежностью принято выделять следующие виды работ технического сервиса: чистка; смазка; резулировка; калибровка; ремонт; восстановление;

замена [10]. Приняв за основу рекомендации стандарта, можно провести аналогичную оценку квалификации сервисных инженеров по второму признаку.

Кроме рассмотренных двух показателей, оценка компетенций возможна еще по одному дополнительному показателю, позволяющему оценить степень соответствия применяемых технологий технического сервиса обслуживаемым машинам и оборудованию (таблица 3).

Таблица 3

Соответствие технологий технического сервиса обслуживаемым машинам и оборудованию

Технологии технического сервиса	Узлы и подсистемы машин и оборудования						
	двигатель	трансмиссия	ходовая система	гидросистема	электрооборуд.	система управления	рабочие органы машин
чистка	2	2	2	2	2	2	2
смазка	2	2	2	2	2	2	2
регулировка	2	2	2	2	2	2	2
калибровка	2	2	2	2	2	2	2
ремонт	2	2	2	2	2	2	2
восстановление	2	2	2	2	2	2	2
замена	2	2	2	2	2	2	2
ВСЕГО 98	14	14	14	14	14	14	14

Предлагаемые оценки соответствия:

2 – полностью соответствует,

1 – частично соответствует,

0 – не соответствует.

Предварительно примем за допустимый уровень оценку не менее 80%, соответствующую 78 баллам.

Количественно оценка квалификации определится из выражения:

$$K = K_1 K_2 K_3 \tag{4}$$

где $K_1 = \frac{\sum K_{1i}}{84}$ – оценка компетенций исполнителей процессам в узлах и подсистемах машин и оборудования,

$K_2 = \frac{\sum K_{2i}}{84}$ – оценка компетенций исполнителей технологиям ТО и Р,

$K_3 = \frac{\sum K_{3i}}{98}$ – оценка соответствия применяемых технологий технического сервиса обслуживаемым машинам и оборудованию.

В соответствие со сделанными нами предположениями, допустимый уровень оценки компетенций сервисных инженеров – исполнителей ТО и ремонта – составит $K \geq \frac{63}{84} \cdot \frac{63}{84} \cdot \frac{78}{98} \approx 0,45$. При условии, что $K_1 \geq 0,75$, $K_2 \geq 0,75$, $K_3 \geq 0,80$.

Разработанная нами оценка компетенций сервисных инженеров необходима при выборе аутсорсера, когда экономическая критерий отбора не приводит к однозначному решению. На практике не всегда имеется возможность использования экспертной оценки сервисных инженеров, в этом случае можно применить предлагаемую нами методику. Для этого необходимо разработать опросные листы и тестовые задания, соответственно имеющимся на предприятии парку машин и оборудования. Эту методику могут использовать и ремонтно-обслуживающие и сервисные предприятия для аттестации своих работников или при сертификации, а также оценке компетенций после повышения квалификации и переподготовке. Приведенные для примера таблицы могут быть упрощены или усложнены в соответствие с потребностями как аутсорсера, так и производственного предприятия. От-

дельного внимания может заслуживать вопрос перехода, в дальнейшем, от детерминированных оценок к вероятностным.

Список литературы

5. Хаирова, С.М. Совершенствование организации услуг по ремонту оборудования / С.М. Хаирова, А.В. Шимохин // Вестник СибАДИ. Омск: СибАДИ.–2015.–Вып.–5(45).–№5– С.194–196.
6. Казаков, К.В. Зарубежная сельскохозяйственная техника: монография / К.В. Казаков и др. – М., Белгород, ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБИКОМ», 2016. – 200 с.
7. Пронин, В.М, Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники: науч. издание. Под ред. В.М,Пронина. – М., ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 416 с.
8. http://msh.omskportal.ru/
9. http://www.chelagro.ru/
10. Адамчук, В.В. (ред.). Организация и нормирование труда: Учеб. пособие для вузов. / В.В. Адамчук – М.: Финстатинформ, 1999. – 301 с.
11. Хаирова, С.М. Логистический сервис в глобальной экономике – М.: Издательский дом «МЕЛАП», 2004. – 200 с.
12. Редреев, Г.В. Технический сервис машинно-тракторных агрегатов (на примере Омской и Челябинской областей): Руководство по организации./ Г.В. Редреев, Г.А. Окунев – Омск, ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2018. – 41 с.
13. Redreev, GV Machine-Tractor Aggregates Operation Assurance by Mobile Maintenance Teams. /GV Redreev, OV Myalo, SP Prokopov, AP Solomkin, GA Okunev/ IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 221, conference 1 http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/221/1/012016
14. ГОСТ Р 27.601–2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение. – М., Стандартинформ, 2013. – 36 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОНЛАЙН МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Е.В. Телипенко, к.т.н., доцент, А.Н. Важдаев, ст. преподаватель,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451) 777-64
E-mail: KochetkovaEV@mail.ru

Учитывая сложившиеся обстоятельства: нестабильность мировой экономики, политические разногласия,. приоритетной задачей в сложившейся ситуации становится обеспечение стабильного функционирования предприятий нашей страны. В таких условиях особенно актуальной становится разработка систем, способных повысить уровень экономической безопасности предприятий за счет применения новых методов и технологий.

Регулярное применение подобной системы для мониторинга и оценки финансово-хозяйственной деятельности позволит снизить влияние сформировавшихся негативных тенденций на результаты деятельности предприятия и избежать наступления кризисных явлений, способных привести его к банкротству.

Таким образом, необходима разработка системы для онлайн мониторинга финансово-хозяйственной деятельности предприятия на основе применения методов искусственного интеллекта, охватывающей все основные этапы: оценку состояния предприятия; анализ и прогнозирование развития ситуации; выработку рекомендаций по корректировке отдельных направлений деятельности с целью снижения сформировавшихся негативных тенденций или их избежания.

Постановка задачи

Математической базой системы станут экономико-математические модели, построенные с применением методов искусственного интеллекта, на основе использования актуальных данных о результатах финансово-хозяйственной деятельности российских предприятий с учетом, как их отраслевой направленности, так и размеров.

Планируется реализация предлагаемой системы в виде программы для ЭВМ с разработкой мобильной версии для обеспечения возможности онлайн мониторинга состояния предприятия.

Создаваемая информационная система будет работать на основе данных бухгалтерских и управленческих программ организаций. Она будет функционировать в качестве надстройки к наиболее популярным решениям 1С в качестве интернет-сервиса. Система по запросу пользователя будет собирать все необходимые данные, отправлять их на сервер. На сервере данные будут обрабатываться в соответствии с разработанной авторами методикой и пользователю будут передаваться готовые результаты с оценкой текущего состояния интересующего его предприятия и рекомендациями по исправлению ситуации в случае необходимости.

Разработка экономико-математических моделей, которые станут математической базой системы, будет осуществляться на основе методов искусственного интеллекта, а именно синтеза аппарата теории нечеткой логики и нейросетевых технологий. Использование этих методов позволит работать как с качественными, так и с количественными данными, а также позволит решить проблему классификации разнородных качественных и количественных показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятия и получить наиболее точную заблаговременную оценку риска банкротства предприятия. Помимо этого появится возможность проводить анализ накопленных данных и делать прогноз о развитии ситуации в будущем.

Обеспечение наличия в системе механизмов для генерирования и выбора методов по коррекции отдельных направлений деятельности, с целью снижения влияния сформировавшихся негативных тенденций, планируется также организовать с помощью применения нейронных сетей. Решение тех или иных финансово-хозяйственных проблем часто носит типовой характер, поэтому эти результаты могут быть аккумулированы на сервере и использованы в качестве обучающей базы.

Обучение нейронной сети будет происходить на основе данных, собранных на сервере. При этом система автоматически будет определять тип предприятия (малое, средне, крупное), его отраслевую принадлежность и форму собственности, а далее весь анализ будет проводиться с учетом этих особенностей. Т.е. все значения финансовых и хозяйственных показателей деятельности предприятия будут сопоставляться со значениями аналогичных предприятий, что позволит получить более объективную оценку текущего состояния предприятия.

Сервер для обработки информации обладает современным инструментом прикладного программирования «API». Обращение к серверу осуществляется по протоколу HTTPS, ответ сервера может возвращаться в одном из двух форматов: JSON или XML, которые пользовательская информационная система может загрузить и обработать. Web-сервисы - это один из механизмов платформы «1С: Предприятие 8», используемых для интеграции с другими информационными системами. Он является средством поддержки SOA (Service-Oriented Architecture) - сервис-ориентированной архитектуры, которая является современным стандартом интеграции приложений и информационных систем.

Значительным преимуществом сервис - ориентированной архитектуры является то, что она позволяет развивать и дополнять инфраструктуру предприятия однородным образом, без разрушения уже существующих решений. Ее использование позволяет минимизировать издержки за счет интеграции собственных информационных учетных систем предприятия с системой поддержки принятия решений (СППР). Проектируемый веб-сервис работы СППР независим от платформы 1С на предприятии и автономен от информационной системы предприятия. Пользовательские конфигурации 1С:Предприятия 8 будут являться потребителем веб-сервиса.

Интегрировать СППР с пользовательскими информационными базами планируется «бесшовно» с помощью механизма расширений или внешних обработок.

Расширения конфигурации позволяют значительно упростить адаптацию типового прикладного решения к потребностям конкретного внедрения. Стратегия, предлагаемая расширениями, заключается в том, что изменять типовую конфигурацию не нужно. Все изменения выполняются в расширении, которое, по сути, тоже является конфигурацией. После этого, в режиме 1С:Предприятие, расширение подключается к типовой конфигурации. Платформа автоматически, в режиме 1С:Предприятие, объединяет расширение с типовой конфигурацией. Когда поставщик выпускает новую версию типовой конфигурации, выполняется её автоматическое обновление, поскольку режим поддержки типовой конфигурации не менялся. Она осталась на полной поддержке поставщика. А при запуске обновлённого прикладного решения платформа снова автоматически объединит изменённую типовую конфигурацию с расширением.

Внешние обработки представляют собой обработки, которые не входят в состав прикладного решения и хранятся в отдельных файлах с расширением *.epf. Основное их преимущество заключается в том, что такие обработки можно использовать в различных прикладных решениях без изменения структуры самих решений. Кроме того, важным преимуществом внешних обработок является возможность проектировать и отлаживать их в процессе работы прикладного решения, без необходимости сохранения каждый раз конфигурации прикладного решения.

В результате проведения научно-практического исследования планируется получение следующих результатов:

1. Информационная система для онлайн мониторинга финансово-хозяйственной деятельности предприятия на основе применения методов искусственного интеллекта, охватывающая все основные этапы: оценку состояния предприятия; анализ и прогнозирование развития ситуации; выработку рекомендаций по корректировке отдельных направлений деятельности с целью снижения сформировавшихся негативных тенденций или их избежания. Если сравнить информационные системы, в качестве математической базы которых используются статистические модели, и системы с моделями, основанными на искусственном интеллекте, то можно отметить что вторые эффективно работают с нечетко определенными, неполными и неточными данными, что весьма характерно для экономических условий нашей страны. При этом нужно отметить большую трудоемкость разработки интеллектуальных моделей для оценки риска банкротства. Помимо этого разработка таких моделей осложняется необходимостью анализа большой выборки данных о предприятиях. Все это приводит к тому, что разработка математических моделей для мониторинга и оценки риска банкротства на основе искусственного интеллекта в условиях российской экономики довольно сложно реализуема и по сути не имеет большого количества аналогов. На западе более активно используются системы на основе искусственного интеллекта, однако они не применимы для российской действительности в виду различий как систем бухгалтерского учета, так и налоговой системы, что безусловно находит отражение в моделях и ограничивает круг их применимости.
2. Мобильная версия информационной системы для обеспечения онлайн мониторинга за состоянием предприятия. На сегодняшний день разработано и используется большое количество мобильных приложений для мониторинга состояния личных финансов граждан, в то время как подобные приложения для предприятий и организаций практически отсутствуют на рынке. Это делает предлагаемую разработку уникальной.
3. Экономико-математические модели для мониторинга и оценки финансово-хозяйственного состояния предприятия на основе искусственного интеллекта. Предлагаемые модели, в отличие от аналогов, решат ряд проблем: классификация разнородных качественных и количественных показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятия; учет отраслевых особенностей, формы собственности и размеров предприятия, что позволит получить наиболее точную оценку состояния предприятия.

Список литературы:

1. Важдаев А.Н., Мицель А.А. Статистический анализ макроэкономических показателей РФ и новых видов экономической деятельности малых предприятий моногорода Юрга // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Юргинский технологический институт. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. − 332 с. – С. 17-19.
2. Телипенко Е.В. К вопросу оценки риска банкротства предприятия с помощью интеллектуальной информационной системы на основе нейронной сети // Экономика и предпринимательство: научный журнал. — 2016. — № 3-1 (68-1).

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМ БИЗНЕСОМ МОНОГОРОДА НА ОСНОВЕ МЕЗОФАКТОРОВ

А.Н. Важдаев, старший преподаватель кафедры ИС,
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.(38451) 77764
e-mail: wazdaev@ngs.ru

Работа посвящена информационной системе управления малым бизнесом моногорода путём воздействия на его социально-экономические показатели через городские мероприятия. Описываются функциональные возможности и порядок работы с программой.

The work is devoted to the information system for small business management of a monotown by influencing its socio-economic indicators through city events. Describes the functionality and procedures for working with the software.

В своих ранних исследованиях [1, 2] автор совместно со своими коллегами описал проблемы в моногородах, провёл исследования взаимосвязи экономических показателей моногорода и малого предпринимательства, а также построил однофакторную и многофакторную модели управления микропоказателями малого бизнеса путем воздействия на городские мезофакторы. На основе данной модели автор разработал подсистему по управлению городским малым бизнесом. Подсистема расширила функционал ранее созданной Информационной системы для исследования малых предприятий (ИСИМП) [3].

Городские мезофакторы и микропоказатели малого бизнеса

В ходе ранее осуществленных исследований были определены основные мезофакторы (социально-экономические показатели) моногорода и агрегированные микропоказатели малого бизнеса (взятые из годовой регламентированной отчётности – бухгалтерского баланса [1, 4]), между которыми существует значимая корреляционная связь [5]. В таблице 1 приведены мезофакторы города, в таблице 2 – микропоказатели малого предпринимательства.

Таблица 1.

Городские мезофакторы

№ п/п	Описание мезофактора	Обозначение мезофактора
1	Единый налог на вмененный доход (ЕНВД) для отдельных видов деятельности, тыс. руб.	UTII
2	Количество индивидуальных предпринимателей (ИП), шт.	NIE
3	Количество малых предприятий (МП), шт.	NSE
4	Налог на доходы физических лиц (НДФЛ), тыс. руб.	PIT
5	Налоги на совокупный доход, тыс. руб.	TTI
6	Среднемесячный номинальный доход на душу населения, руб.	AMNI
7	Численность населения, чел.	Pl
8	Количество крупных и средних предприятий (КСП), шт.	NLME

Таблица 2.

Микропоказатели малого бизнеса

№ п/п	Описание микропоказателя	Обозначение микропоказателя
1	Отношение показателя «Итого по разделу I (Внеоборотные активы)» к показателю «Баланс»	FAB
2	Отношение показателя «Итого по разделу II (Оборотные активы)» к показателю «Баланс»	CAB
3	Отношение показателя «Итого по разделу III (Капитал и резервы)» к показателю «Баланс»	CRB
4	Отношение показателя «Итого по разделу IV (Долгосрочные обязательства)» к показателю «Баланс»	LLB
5	Отношение показателя «Итого по разделу V (Краткосрочные обязательства)» к показателю «Баланс»	SLB

В отношении каждого из мезофакторов может применяться три основных стратегии: стратегия снижения значения мезофактора относительно начала периода управления, стратегия балансирования (фиксация значения мезофактора на постоянном уровне) и стратегия роста мезофактора (увеличения значения мезофактора по сравнению с начальным значением). Такие изменения будем называть мезостратегиями.

Что касается микропоказателей, то исходя из их балансовой основы, получается три группы стратегий управления:

Активная – изменение структуры показателей актива при неизменном значении показателей пассива. Управление заключается во влиянии на перераспределение средств между внеоборотными (FAB) и оборотными (CAB) статьями актива.

Пассивная – изменение структуры показателей пассива при неизменном значении показателей актива. Управление для данной группы стратегий заключается в перераспределении средств между капиталом и резервами (CRB), долгосрочными (LLB) и краткосрочными обязательствами (SLB).

Активно-пассивная – изменения происходят одновременно и в активах и пассивах. При этом со стороны каждого из разделов баланса должен присутствовать минимум один микропоказатель, в то время как с другой стороны максимально могут участвовать два (в случае актива) или три (для пассива) показателя малого бизнеса. Управление для этой группы стратегий заключается во влиянии на перераспределении средств между статьями актива и пассива.

На основании мезостратегий и стратегий управления микропоказателями муниципальные власти формируют программу городских мероприятий. Цель такой программы – оказание управляемого воздействия в соответствии с целями и задачами городской экономики.

Информационная система для исследования малых предприятий

Ранее автором была разработана и зарегистрирована в Роспатенте «Информационная система оценки и анализа инвестиционной привлекательности предприятий, эффективности бизнеса и инвестиционных проектов». По мере доработки и перехода на новые версии платформы «1С:Предприятие 8» система была преобразована в ИСИМП [3]. В настоящей работе описывается новый функционал ИСИМП, который появился в результате добавления в него подсистемы по управлению городским малым бизнесом. В основу новой подсистемы легли исследования, посвященные одно- и многофакторным моделям [1, 2]. Ниже приводится основной порядок работы с новой подсистемой.

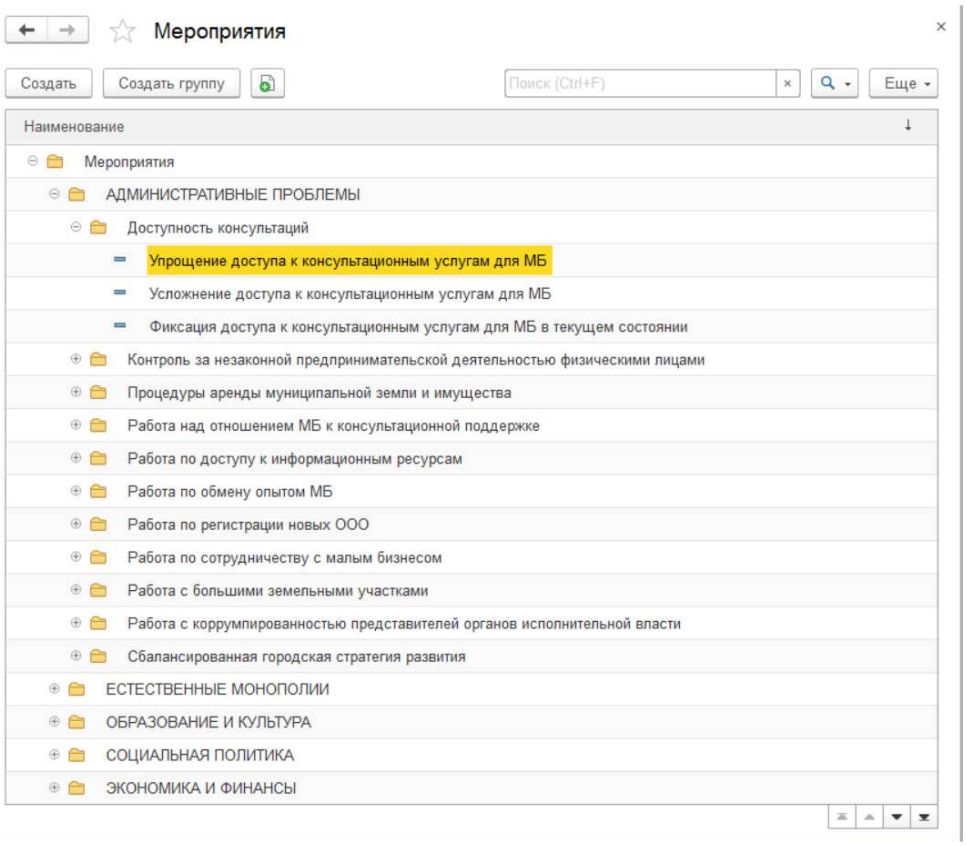


Рис. 1. Сгруппированный список возможных городских мероприятий

Первым этапом является формирование общего списка городских мероприятий. Здесь специалистами в области муниципального управления формируется общий список возможных мероприятий, которые городские власти могут осуществлять. Для отражения влияния каждой из мезостратегий в рамках одного и того же мероприятия необходимо создать общую группу для конкретного ме-

роприятия. Затем в созданной группе создаются мероприятия для каждой из трёх возможных мезостратегий (рис.1.). Для каждого из мероприятий можно указать годовой бюджет для выбранного муниципального образования. При этом можно учесть непостоянность значения финансирования, указав год начала действия нового значения (рис.2).

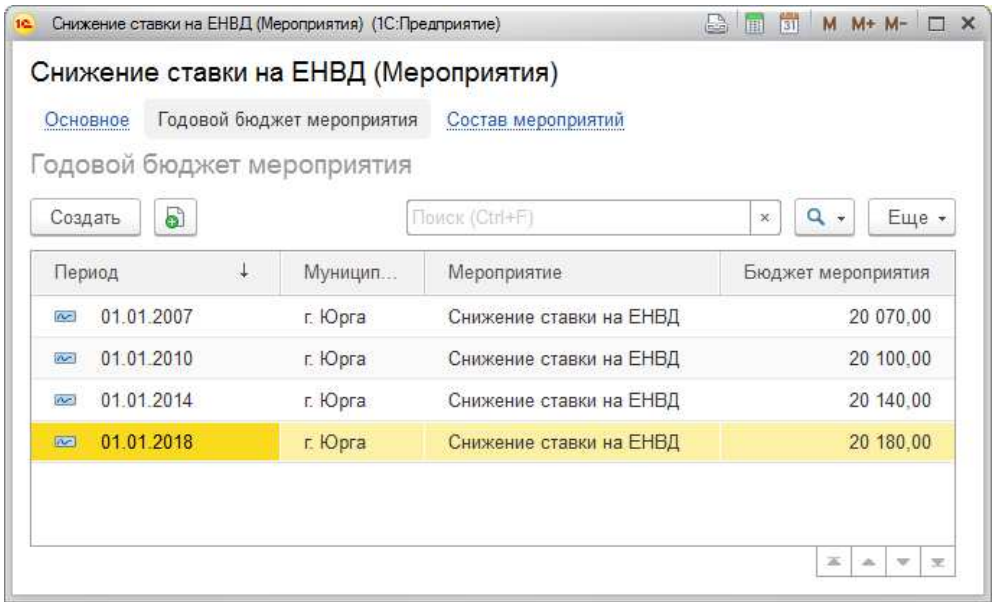


Рис. 2. Заполнение годового бюджета мероприятия

Вторым шагом является настройка для каждого мезофактора городских мероприятий по отношению к каждой из трёх возможных мезостратегий. На рис.3 представлен пример заполнения возможными мероприятиями для одного из мезофакторов.

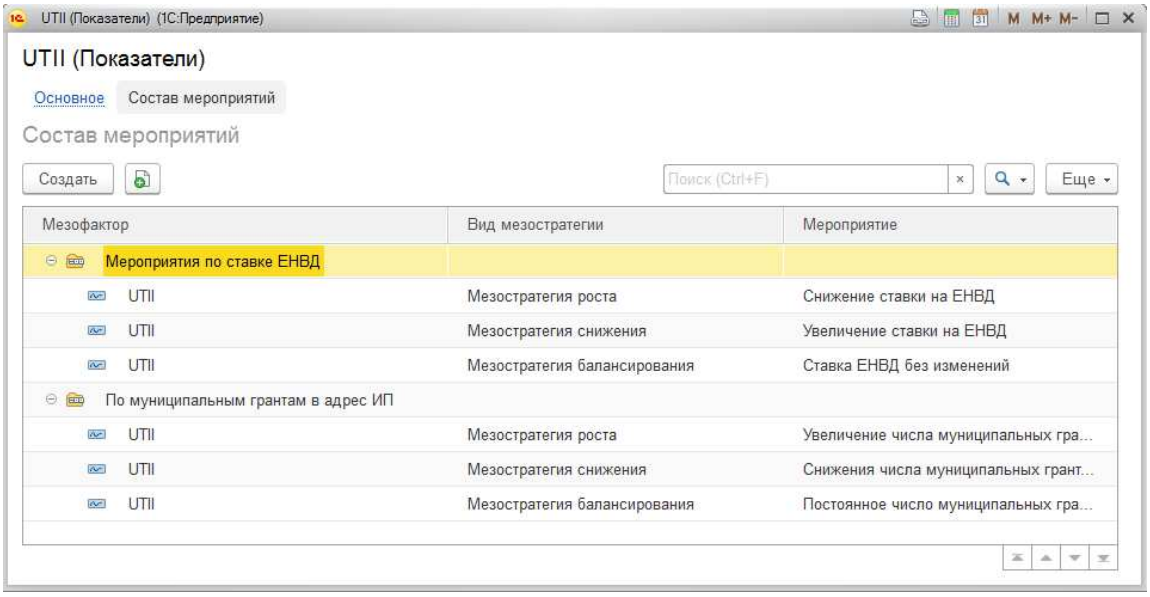


Рис. 3. Заполнение мероприятиями мезофактора по возможным стратегиям

На рис.4 приведена форма элемента настройки мероприятия для выбранного мезофактора для одной из трёх мезостратегий.

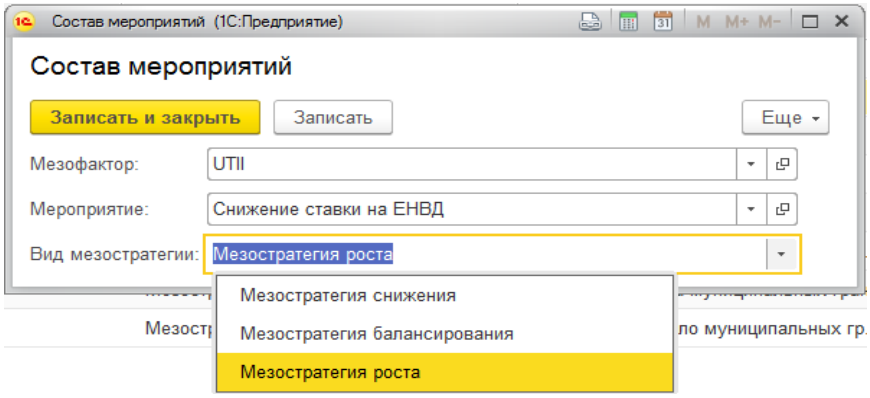


Рис. 4. Работа с мероприятиями для мезофактора по возможным мезостратегиям

Затем необходимо создать документ «Управление микропоказателями малого бизнеса» и указать все необходимые параметры [6]:

1. Муниципальное образование, для которого формируется программа мероприятий.
2. Вид модели – однофакторная модель (управление только одним из микропоказателей) или многофакторная модель (управление всеми микропоказателями).
3. Группа стратегий управления микропоказателями – активная, пассивная или активно-пассивная.
4. Горизонт планирования – список лет для прогнозирования.

На закладке «Микропоказатели» (рис.5) заполняется список микропоказателей, указывается исходное и желаемое значение каждого из микропоказателей (система автоматически распознает это как микростратегию увеличения, снижения или удержания постоянного значения микропоказателя), а также параметры темпов изменения, ограничений и т.п. согласно [1, 2].

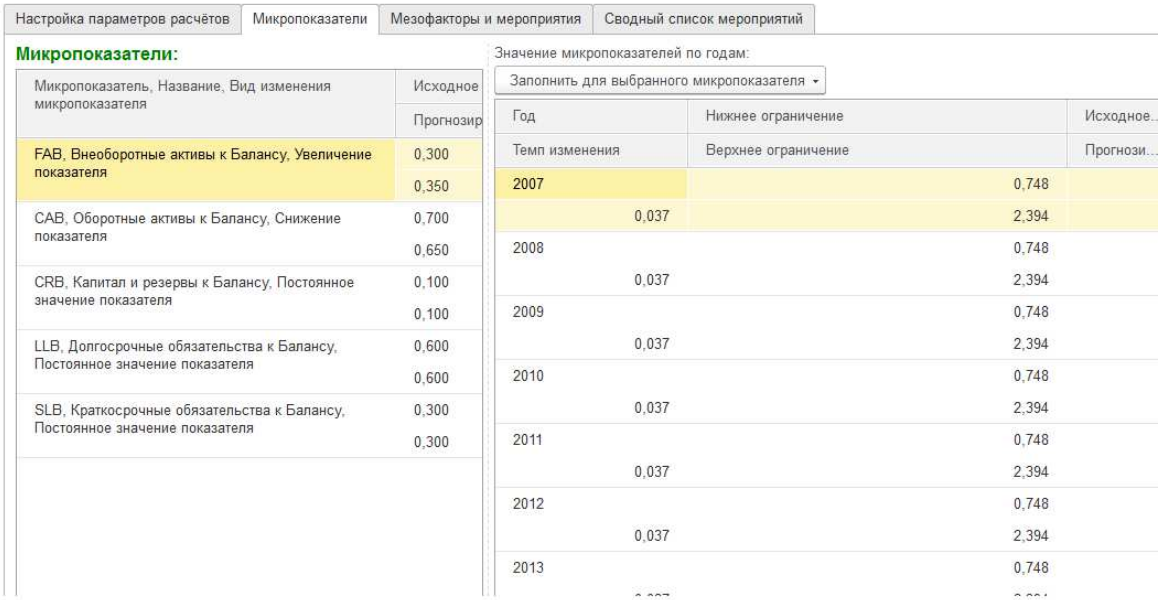


Рис. 5. Работа с микропоказателями малых предприятий

После этого на закладке «Мезофакторы и мероприятия» (рис.6) пользователь заполняет табличную часть с мезофакторами: сам мезофактор, его приоритет (устанавливается пользователем исходя из его важности для муниципалитета – от самого важного с весом 1 до самого неважного с весом 8), весовой коэффициент мезофактора и вид мезостратегии. Одновременно с этим в связанной табличной части «Мероприятия по выбранному мезофактору» будут автоматически заполняться связанные с этим мезофактором и видом стратегии мероприятия.

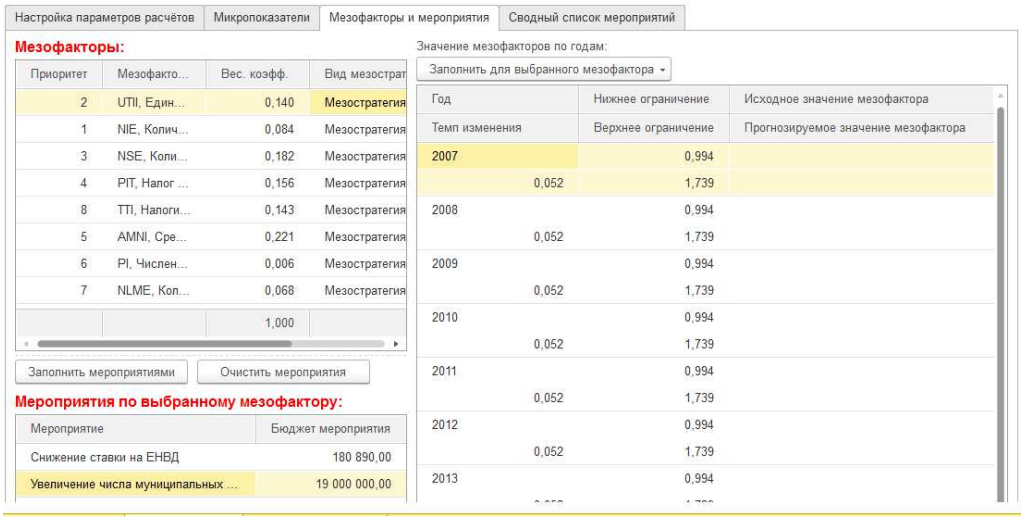


Рис. 7. Работа с мезофакторами и мероприятиями

В завершении на закладке «Сводный список мероприятий» необходимо заполнить итоговый список городских мероприятий, направленных на управление показателями малого бизнеса (рис.7). Сформировать итоговый список мероприятий возможно автоматически по двум сценариям:

1. Непересекающимися мероприятиями – в итоговый список попадут только те мероприятия, которые не противоречат друг другу, т.е. не являются разными мероприятия одной группы (в соответствии с рис.1).
2. По приоритетам мезофакторов – в первую очередь в список попадут мероприятия мезофакторов с большим приоритетом. В случае противоречия мероприятий из одной группы в итоговый список попадут мероприятия мезофактора с более высоким приоритетом.

Одновременно с этим система рассчитает бюджет на каждый год для мероприятий из итогового списка и общий бюджет программы. Это будет выполнено согласно указанного горизонта планирования и внесённого на этапе заполнения списка возможных мероприятий годового бюджета каждого мероприятия.

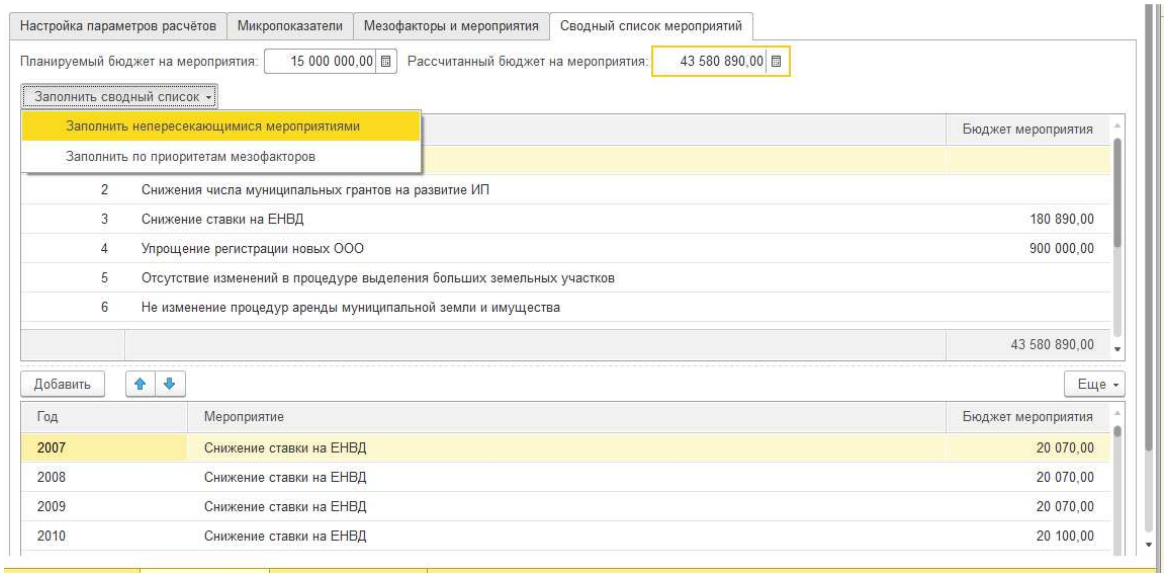


Рис. 8. Сводный список мероприятий и их бюджет

Разработанная подсистема управления показателями малого бизнеса в рамках программного комплекса ИСИМП позволяет администрации муниципального образования разработать наиболее оптимальный состав городских мероприятий, призванный помочь в достижении запланированных

показателей развития малого предпринимательства. Сформированная городская программа будет содержать бюджет каждого мероприятия за весь горизонт планирования.

Список литературы

1. Важдаев, А.Н., Мицель, А.А. Исследование взаимосвязи между экономическими макропоказателями моногорода и агрегированными показателями малого бизнеса // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов IV Международной научной конференции. В 2 частях. Часть 1 / под ред. О.Г. Берестневой и др. Томск: Изд-во ТПУ. 2017. С. 198-202.
2. Vazhdaev A., Mitsel A., Grigoryeva M. The relationship of city and small business economic parameters // Proceedings of the IV International research conference Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine. 2017. vol. 72. pp. 1–4. doi: 10.2991/itsmssm-17.2017.1.
3. Важдаев А.Н. Применение принципа открытого управления в малых предприятиях с несколькими видами деятельности // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5. – С.225-230.
4. Важдаев А. Н. Технология загрузки данных бухгалтерской отчетности предприятий малого бизнеса из сервиса проверки контрагентов (на примере моногорода Юрга) // Фундаментальные исследования. 2017. № 5. С. 31–35.
5. Важдаев А. Н., Мицель А. А. Статистический анализ макроэкономических показателей РФ и новых видов экономической деятельности малых предприятий моногорода Юрга // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. С. 17–19.
6. Важдаев, А.Н., Мицель, А.А. Стратегия управляемого воздействия на развитие экономики моногорода // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 1 (7). С. 67-73.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ В УЧРЕЖДЕНИЯХ СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ

Е.В. Петров, к.т.н., доц., Качаева С.Г., ст. лаборант
Томский государственный архитектурно-строительный университет
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (3822) 65-51-02
E-mail: petrov1818@rambler.ru

В статье рассмотрены особенности работы сотрудников в учреждениях социальной защиты населения, представлены особенности управления в учреждениях социальной сферы. В результате проведенного исследования деятельности Центра был выявлен ряд проблем в работе учреждения социальной защиты населения и представлены основные направления по повышению мотивации в профессиональной деятельности сотрудников Центра.

The article describes the features of work of the employees in the institutions of social protection of the population, represented management features in social institutions. As a result of the conducted research of the Center's activities, a number of problems in the work of the institution of social protection of the population were revealed and the main directions for increasing motivation in the professional activities of the Center's employees are presented.

В современных условиях при реализации социальной политики в нашей стране особое значение приобретают вопросы практического применения современных форм управления персоналом, позволяющих повысить эффективность работы учреждений социальной защиты населения [1]. Сложившаяся на данный момент система социальной защиты населения формировалась годами, с учетом потребностей граждан в социальных услугах и социальной поддержке, специфики социальной политики территории, а также географических, национальных и культурных особенностей [2, 3]. Однако в условиях постоянной динамичности эта система постоянно расширяется, преобразовывается и требует новых подходов к реализации ее управления [5].

Управление в учреждениях социальной защиты населения выступает в единстве организованной системы и совокупности процессов, главная целевая направленность которых заключается в превращении целей и задач в необходимые результаты. Поэтому, в зависимости от уровня профессионализма руководителей и специалистов этой сферы, оно является средством результативной или, на-

оборот, мало результативной работы [4]. Следует иметь в виду, что мастерству управления невозможно научиться только путем изучения теоретических материалов. Для достижения высокопрофессионального уровня управления нужно постоянно заниматься практической деятельностью, применяя полученные знания и умения. Вместе с тем, руководители и специалисты социальной сферы обновляют и пополняют свои знания, участвуя в различных образовательных программах. Главная ценность каждого работника заключается в том, что он практически знает и умеет на данный период времени [6, 7]. В период реформ и перемен, не только настоящее, но и будущее организации во многом зависимо от качеств, знаний и способностей руководителя, его умений, способности организовывать продуктивную работу отдельных сотрудников и всей организации в целом [8].

Так, управление организацией в сфере социальной защиты населения на данный момент представляет собой сложную функцию, которую нельзя осуществить успешно, используя простые формулы. Руководитель организации социальной защиты населения должен совмещать понимание общих истин и значимости бесчисленного множества вариантов, благодаря которым ситуации отличаются одна от другой. Руководитель обязан осознавать и рассматривать критические факторы или составляющие организации, а также силы, воздействующие на организацию из внешней среды [10].

В последнее время все больше внимания уделяется вопросам определения совокупности знаний, способностей, личных и деловых качеств, которые должны иметь современные руководители. Чем больше отдел или организация, которую возглавляет руководитель, тем большим объемом знаний он должен обладать. Безусловно, эти знания должны быть не только теоретическими, но и практическими, полученными в процессе работы. При этом высококвалифицированный руководитель должен понимать сущность протекающих процессов и преобразования в сфере экономики, менеджмента, учитывать ситуацию на рынке труда, то есть внимательно следить за состоянием дел внутри организации, и вне организации [9, 11]. Способность к руководящей деятельности подразумевает соответствующие управленческие навыки и умения, которые характерны для грамотных руководителей. К числу таких навыков относится умение регулировать специфические управленческие проблемы, не имеющие готовых решений, которые иногда связанны с конфликтными ситуациями [13].

Чтобы стать руководителем высокого класса нужно, как правило, пройти все ступени карьерной лестницы. Сильный руководитель основательно подходит к распоряжениям вышестоящего начальства, но если он не согласен с ними, то четко и понятно аргументирует причину. Руководителю предоставляется право в подборе и расстановки кадров в своем подразделении. Эффективность этих решений находится в прямой зависимости от управленческих способностей руководителя. Сильный руководитель подбирает сильных подчиненных, слабый руководитель – слабых [14]. Каждого руководителя может оценить по его деловым и профессиональным качествам только руководитель или специалист более высокой квалификации. Высококвалифицированный руководитель умеет четко и быстро оценить эффективность деятельности подчиненных. Исходя из сделанных выводов эффективности деятельности подчиненных, высококвалифицированный руководитель должен помочь разобраться в различных ситуациях слабым подчиненным и поощрить деятельность сильных работников [10].

Далее рассмотрим специфику и основные проблемы в работе руководителя учреждения социальной защиты населения на примере Областного государственного казенного учреждения «Центр социальной поддержки населения Томского района» (далее – Центр). Основной целью Центра является эффективное обеспечение граждан реализацией их прав и свобод на получение мер социальной поддержки, социальной помощи и социального обслуживания на дому, которые установлены нормативно-правовыми актами, действующими на территории Российской Федерации и Томской области.

На территории Томского района работают 47 социальных работников, на обслуживании находится 387 человек. Центром ставится задача повышения качества предоставляемых социальных услуг, обеспечение их доступности и адресности. Одновременно не прекращается поиск новых подходов к обеспечению высокого качества социального обслуживания, новых форм предоставления услуг. Потребность в социальном обслуживании на дому с каждым годом растет, это обуславливается невысокими ценами на социальные услуги, адресностью социальной помощи на дому, индивидуальным подходом к каждому пожилому человеку, возможностью выбрать из перечня услуг те или иные социальные услуги, в которых непосредственно человек нуждается. Кроме того, малоимущим гражданам услуги социального работника предоставляются бесплатно.

За последние годы Центром расширен перечень дополнительных платных услуг для граждан. Социальное обслуживание на дому осуществляется силами выездной мобильной бригады, которое пользу-

ется большим спросом у граждан. За 2015–2017 годы значительно расширилась география обслуживаемой территории мобильной бригады, почти вдвое увеличилось количество обслуживаемых граждан.

На территории Томского района работают пять социальных комнат, в которых социальные работники применяют новые технологии и инновационные проекты по социально-психологической реабилитации, улучшению жизнеобеспеченности граждан старшего поколения с учетом возраста, состояния здоровья, способности к самообслуживанию. Успешно реализуется проект «Школа здоровья для пожилых людей». Специалисты социально-медицинских служб используют инновационные технологии семейного ухода за пожилыми людьми с целью продления их пребывания в домашних условиях, в том числе информационно-методическое сопровождение семей, обеспечивающих помощь и уход за пожилыми, немощными родственниками (лекции и практические занятия для членов семей по уходу за пожилыми людьми).

В социальных комнатах работает более 25 клубов по интересам, регулярно проводится более 50 различных мероприятий, в том числе и выездных. С 2016 года в социальных комнатах была апробирована новая инновационная технология «Социальный туризм». Разработана программа «Старость меня дома не застанет», которая охватывает не только граждан пожилого возраста, посещающих социальные комнаты, но и маломобильные группы населения. Очевидно, что слаженная работа специалистов в каждом отделе, эффективный менеджмент в учреждении будет способствовать повышению качества предоставляемых услуг населению.

С целью выявления специфики и проблемных зон в работе руководителя Центра в 2017 году совместно с Департаментом социальной защиты населения Томской области была проведен опрос (анкетирование) сотрудников Центра социальной поддержки населения (115 человек).

Таблица 1

Численность сотрудников Центра (2015–2017 годы)

Сотрудники	2015	2016	2017
Руководители:	4	4	5
Мужчины	–	–	1
Женщины	4	4	4
Сотрудники:	103	98	115
Мужчины	9	6	8
Женщины	94	92	107

Стаж работы у большинства сотрудников (67%) составил от одного года до трех лет, менее одного года проработали 26 человек (23%), и только 11 человек (10%) работают в Центре более трех лет. Очевидно, в организации наблюдается высокая текучесть кадров. 87% сотрудников – специалисты с высшим профессиональным образованием, 13% респондентов имеют среднее профессиональное образование.

Выяснилось, что большинство сотрудников не имели возможность пройти курсы повышения квалификации (88%), только 13 человек повысили свой профессиональный уровень.

По результатам опроса удовлетворены технической оснащенностью своего рабочего места всего 7% опрошенных сотрудников, 81% – частично; 12% – полностью не удовлетворены. Полученные данные свидетельствуют о необходимости в дополнительном оснащении рабочих мест оргтехникой. По мнению большинства респондентов, 96%, в деятельности Центра недостаточно используются инновационные технологии.

В коллективе учреждения сформирована комфортная психологическая атмосфера. Только 6 человек полностью не удовлетворены взаимоотношениями с коллегами, 17 сотрудников удовлетворены в общем и 78 человек полностью удовлетворены социально-психологическим климатом в коллективе. Большинство опрошенных (93%) удовлетворены взаимоотношениями с руководителями структурных подразделений Центра.

В силу уже сложившейся традиции преобладания «женских коллективов» в социальной сфере в стиле взаимоотношений сотрудников и руководства наблюдаются эмоциональные особенности женского коммуникативного поведения.

Поскольку сотрудники взаимодействуют с людьми, попавшими в трудную жизненную ситуацию, и общение зачастую требует большого затрата энергии, умения разрешать конфликтные ситуации – повышаются риски эмоционального выгорания. Как правило, в организациях социальной сферы прибегают

к профилактике таких профессиональных деформаций, используя для этого различные тренинги, психологические консультации, комнаты разгрузок и другие. К сожалению, в Центре не практикуются методы психологической защиты сотрудников, нет специализированных комнат, психологических служб.

Одной их острейших проблем остается низкая заработная плата социальных работников. Все сотрудники Центра, в той или иной степени, не удовлетворены зарплатой. В таких условиях руководитель использует нематериальные мотиваторы, влияющие на производительность труда: предоставление отгула (6%), похвала на общих собраниях (84%), грамоты и дипломы за проделанную работу (10%).

В ходе опроса выяснилось, что большинство сотрудников Центра совершенно не удовлетворены качеством своей работы (75%). Были выявлены основные причины такой оценки работы: нехватка времени (32%), слишком большой объем (35%), непонимание смысла выполняемой работы (6%), отсутствие мотивации (22%) и 5 % сотрудников указали на другие причины – нежелание качественно выполнять работу, отсутствие опыта качественного выполнения функциональных обязанностей.

В ходе интервью с заместителем директора Центра были выявлены основные проблемные зоны в деятельности руководителя государственного учреждения социальной защиты:

- большой объем выполняемой работы специалистами учреждения и постоянный рост круга обязанностей, в то время как уровень оплаты труда остается на прежнем уровне, так как индексация должностных окладов сотрудников производилась достаточно давно;
- слабое техническое оснащение учреждения (дефицит бюджетных денежных средств на приобретение дополнительного оборудования);
- низкий уровень информационной образованности среди населения Томского района, что увеличивает потребность населения в консультациях у специалистов Центра, также увеличивает количество жалоб на несправедливость решений, принимающихся на государственном уровне. В результате, у специалистов накапливается уровень негативной информации, получаемой от населения, что ведет к быстрому профессиональному выгоранию.

Таким образом, в результате проведенного исследования деятельности Центра был выявлен ряд проблем в работе учреждения социальной защиты населения: слабое техническое оснащение учреждения; недостаточное использование инновационных технологий; отсутствие системы повышения квалификации; преобладание эмоциональной составляющей в деловых коммуникациях сотрудников; отсутствие системы психологической защиты специалистов; низкий уровень материальной оплаты труда сотрудников; слабый уровень развития мотивации среди сотрудников.

В целях повышения мотивации профессиональной деятельности сотрудников Центра, необходимо внедрить в учреждении эффективную систему менеджмента, включающую совершенствование организационной культуры учреждения, в том числе, расширение спектра поощрений сотрудников, развитие системы повышения квалификации сотрудников, совершенствование системы деловых коммуникаций, обеспечение обратной связи; совершенствование технической оснащенности рабочих мест; внедрение современных информационных технологий; создание условий для снятия эмоциональной нагрузки и профилактики профессионального выгорания.

Список литературы

1. Холостова Е.И. Технологии социальной работы. М.: ИНФРА-М, 2007. 400 с.
2. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М.: Дело, 2009. 704 с.
3. Печенкина Т.И., Колосова М.В., Морозов А.И., Петров Е.В. Особенности подготовки социальных работников в системе высшего профессионального образования Сибирского региона // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2014. Т. 2. № 4 (127). С. 61–69.
4. Петров Е.В., Морозов А.И., Колосова М.В., Печенкина Т.И. Современные социальные технологии в управлении занятостью населения (на примере Томской области) // Социальная политика и социология. 2015. Т. 14. № 1 (107). С. 41–53.
5. Шипунов В.Г., Кишкель Е.Н. Основы управленческой деятельности. М.: Высшая школа, 2013. 304 с.
6. Травин В. В., Дятлов В. А. Основы кадрового менеджмента. М.: Дело, 2007. 336 с.
7. Ветлужских Е. Мотивация и оплата труда: Инструменты. Методики. Практика. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 148 с.
8. Никитин В.А. Социальная работа: проблемы теории и подготовки специалистов. Учебное пособие. М., 2012. 56 с.

9. Петров Е.В., Морозов А.И., Колосова М.В., Печенкина Т.И. Регулирование занятости населения на современном этапе: региональный аспект // Социально-экономические и правовые основы развития экономики: коллективная монография [под ред. И.В. Тропченко]. Уфа: Аэтерна, 2015. С. 89–103.
10. Печенкина Т.И., Колосова М.В., Морозов А.И., Петров Е.В. Проблемы подготовки социальных работников в системе высшего профессионального образования (на примере Томской области) // Ученые записки Российского государственного социального университета. 2015. Т. 14. № 3 (130). С. 136–145.
11. Белбин Р.М. Команды менеджеров: Как объяснить их успех или неудачу. М.: Кивитс, 2009. 238 с.
12. Колосова М.В., Петров Е.В., Печенкина Т.И. Основные направления развития системы государственной поддержки малого и среднего предпринимательства в России // Социально-экономические и правовые основы развития экономики: коллективная монография [под ред. И.В. Тропченко]. Уфа: Аэтерна, 2016. С. 46–100.
13. Карташова А.В. Управление человеческими ресурсами. М.: ИНФРА–М, 2005. 212 с.
14. Соломанидина Т.О., Соломанидин В.Г. Мотивация трудовой деятельности персонала. Учебное пособие для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 312 с.

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ИННОВАЦИОННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Н.М. Борисова, преподаватель, Е.В. Полицинская, к.пед.н., доцент, Л.В. Тимофеева, студентка
Юргинский техникум агротехнологий и сервиса
652050, г. Юрга, ул.Шоссейная 100, тел. (838451) 6-75-33
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета
652050,г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (838451) 7-77-62
Email: Katy031983@mail.ru

Одной задач российской экономики на сегодняшний день является развитие промышленного наукоемкого производства. В связи с активным развитием рынка научно-технической продукции в настоящее время актуальной проблемой становится поиск путей коммерциализации этой продукции. В статье рассматриваются пять стратегических направлений, представляющих важность для эффективной коммерциализации научно-технических разработок инновационными предприятиями.

Опыт развития предпринимательства в странах СНГ и в странах ЕС и США показали необходимость выработки стратегий экономического управления предприятием при коммерциализации научно-технических разработок (НТР) [1]. В работе выделены пять стратегических направлений, представляющих важность для эффективной коммерциализации НТР инновационными предприятиями.

1. Рынки и развитие ключевой компетенции. Трансформация результатов НТР в продукт с реальной рыночной стоимостью.
2. Технологическое сотрудничество и организация развитых сетей с реальными контактами.
3. Ресурсы и финансирование. Стратегические альянсы с международными корпорациями для обеспечения ресурсной и финансовой базы.
4. Менеджмент. Найм опытных экономистов-директоров, субконтрактирование экономических операций, альянсы с крупными предприятиями.
5. Управление интеллектуальной собственностью. Определение стоимости интеллектуального капитала своей фирмы, стратегическое управление патентами и лицензиями.

Существует необходимость определения стоимости интеллектуального капитала реальной научно-производственной фирмы для стратегического управления ее патентами и лицензиями.

Мы предлагаем [2] определить этапы коммерциализации наукоемкой продукции научно-технической и промышленной сфер в связи с развивающимся в России рынком новшеств. Основные направления следующие.

1. Коммерциализация объектов промышленной собственности (ОПС) на рынке новшеств.
2. Коммерциализация комплекта документов на промышленную продукцию на рынке новшеств.
3. Коммерциализация промышленной продукции на товарном рынке.

Теоретической основой рассмотрения процесса коммерциализации наукоемкой продукции и разработки его экономического механизма, возьмем методологию, объединяющую две теории - теорию конкурентоспособности и теорию экономического равновесия, которая впервые описана работе [3].

Установим функциональные взаимосвязи модели «цена-качество» *P-Q* потребительского поведения и рыночной стратегии производителя с экономическим механизмом коммерциализации науко-

емкой продукции через определение затрат на производство и установление оптимального соотношения цена / качество продукции [2, 3].

Модель «цена - качество» P-Q является основной в комплексной эконометрической модели оценки и управления конкурентоспособностью продукции (рис.1).

Уровень дохода потребителя и уровень производственно-технологических возможностей производителя ограничивают кривые потребительского поведения d" и рыночной стратегии производителя *s"*. Они показывают возрастающий нелинейный характер соотношения цены и качества продукции, который желаем для потребителя. Бюджетные ограничения выступают в качестве асимптоты для кривой потребительского поведения, так как предел платежеспособного спроса на продукцию определяет денежный доход потребителя.

Положительный наклон свойственен кривая рыночной стратегии *s"*. В случае приближения значения кривой *s"* к уровню предельных производственно-технологических возможностей в области обеспечения качества продукции $Q^{в}_{s}$темпы изменения цены единицы продукции превосходят темпы изменения ее качества.

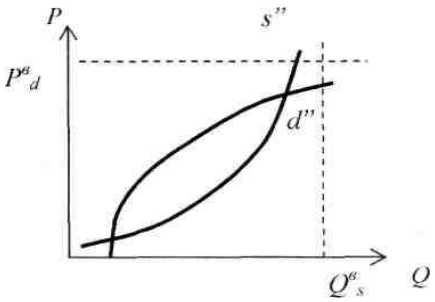


Рис. 1. Кривые потребительского поведения d" и рыночной стратегии производителя s " в модели «цена - качество» P-Q

В итоге уровень технологических, научно-технических, маркетинговых возможностей и профессионально-квалификационных навыков персонала производителя служит пределом роста качества производимой им продукции.

Исследования в работе [4] показали, что модель «цена - качество», обладает некоторой универсальностью. Этапы коммерциализации продукции практически являются следствием достигнутых характеристик качества продукции. Коммерциализация ОПС продукции на рынке новшеств подтверждает определенный технический уровень, коммерциализация комплекта документации на промышленную продукцию на рынке новшеств - это более высокий технический уровень, чем в первом случае из-за детальной проработки существа изобретения, а коммерциализация промышленной продукции на товарном рынке - это самый высший уровень достигаемых технико-эксплуатационных характеристик.

Поэтому по оси абсцисс графической интерпретации модели «цена - качество» *P-Q*, можно учитывать этапы коммерциализации продукции, определяющие фактическое качество продукции:

1. продажа ОПС продукции на рынке новшеств посредством лицензионного соглашения;
2. продажа комплекта документации на промышленную продукцию на рынке новшеств посредством лицензионного соглашения или хозяйственного договора;
3. продажа промышленной продукции на товарном рынке.

Экономический механизм коммерциализации наукоемкой продукции можно представить в виде модели «цена-этапы коммерциализации» *P-B*, предполагающей различные варианты продаж, где *B* - этапы коммерциализации (или характеристики продукции на данный момент) (рис.2).

Сегментация потребителей по этапам коммерциализации и уровню их бюджетных ограничений позволяет наиболее точно определить ту часть рынка (новшеств и/или товаров), на которую необходимо ориентироваться при сбыте определенных видов продукции. Выделенные представители рыночных сегментов характеризуются определенным разбросом потребительских предпочтений в плоскости «цена-этапы коммерциализации» *P-B*.

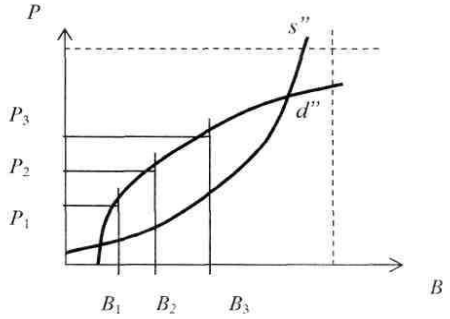


Рис. 2. Кривые потребительского поведения d'' и рыночной стратегии производителя s'' в модели «цена - этапы коммерциализации» P-B

Прибыль от видов коммерциализации определим по методу средневзвешенного

$$P^{cp}_j = \sum N_{ji}P_{ji}/\sum B_{ji} \text{ при } k_j \in [Q_d^{н}; Q_s^{в}] \quad (1)$$

где P_{ji} - цена продукции j-го уровня качества k_j, устанавливаемая i-м потребителем; B_{ji}- этапы коммерциализации j-го уровня качества $к_j$ необходимое i-му потребителю.

Таким образом, в обществе возрастает потребность в расширении возможностей коммерциализации результатов научно-технических разработок. Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что для эффективной коммерциализации научно-технических разработок следует уделять большое выбору способа коммерциализации, так как от него зависит размер эффекта, который получит разработчик в перспективе.

Список литературы

1. Поболь А.И. Стратегии коммерциализации результатов исследований и разработок научными предприятиями. / Тез. докл.6-ой Междунар. НТК «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии», 1-2 нояб. 2005 г., г. Гродно.-Гродно: ГрГУ, 2005. - 200 с. - С.46-47.
2. Борисова Н.М., Осипов О.Ю. Этапы коммерциализации новшеств научно-технической и промышленной сфер. / Повышение качества высшего профессионального образования: матер. Всероссийской науч.-метод.конф.: в 2 ч./ Ч.2/науч. ред. В.И. Колмаков; отв. за вып. С.А. Подлесный. - Красноярск: СФУ. 2008.- 355 с. -С.150-151.
3. Лобанов М.М., Осипов Ю.М. Основные принципы оценки конкурентоспособности продукции // Маркетинг в России и за рубежом. - М. - 2001. - № 6 (26). С.22
4. Осипов Ю.М. Конкурентоспособность наукоемкой машиностроительной продукции: экономика и менеджмент. -Томск: Томск, гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2002. - 247 с.

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

С.Э. Прилепский, кандидат педагогических наук
ГПОУ Юргинский техникум машиностроения и информационных технологий, Юрга
Ленинградская 10, т. 8 384 51 61865, prilse-yrga@yandex.ru

При изучении студентами различных электротехнических дисциплин - электротехники, электроники, электропривода и т.д. требуется не только «рисовалка» схем, но и программы, демонстрирующие весь процесс работы схемы в реальном времени. Для наглядности важно наличие анимации при работе электросхемы, а также анимационная работа автоматов, пускателей, реле, кнопок, тепловых реле, электродвигателей и т.д. Для студентов необходимо освоить процесс чтения электросхем, важно сформировать способность к анализу и пониманию работы схем, его возможного ремонта и обслуживания.

Существует множество полезных программ для студентов, обучающихся на специальностях электротехнического профиля. Например, система автоматизированного проектирования AutoCAD Electrical, «Компас-Электрик». Но в данных программных продуктах не получаются «живые схемы», позволяющие отследить процесс работы реального оборудования. Достаточно много SOFTа посвя-

щено программному обеспечению и САПР в силовой электронике: программы и системы Matlab, OrCAD, PSpice, Simulink. Для начинающих техников - электриков EWB и MULTISIM.

Есть версия TINA-TI 9 – это мощный и доступный программный пакет для студентов технических специальностей, чтобы моделировать и анализировать электрические схемы. TINA-TI работает с линейными и нелинейными аналоговыми схемами, но имеет маленькую библиотеку компонентов и устройств и не позволяет создать работоспособную схему. Отдельно можно представить **Proteus Design Suite** — пакет программ для автоматизированного проектирования. Этот пакет представляет собой уникальную систему схемотехнического моделирования, имеет хорошую библиотеку виртуальных моделей и электронных компонентов.

При изучении студентами различных электротехнических дисциплин - электротехники, электроники, электропривода и т.д. требуется не только «рисовалка» схем, а программа, демонстрирующая весь процесс работы схемы в реальном времени. Для наглядности важно наличие анимации при работе электросхемы, а также анимационная работа автоматов, пускателей, реле, кнопок, тепловых реле, асинхронных электродвигателей, двигателей постоянного тока, шаговых двигателей и сервоприводов и т.д. Важно видеть, как меняются обороты асинхронного двигателя с изменением частоты. Иметь возможность управлять с помощью микроконтроллерной системы различными станками, приводами и прочими устройствами, например, входящими в АСУ ТП.

Для студентов необходимо освоить процесс чтения электросхем, важно сформировать способность к анализу и пониманию работы схем, его возможного ремонта и обслуживания.

Например, вот небольшая часть из Госстандарта СПО специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования.

Требования к специалисту: выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования. При изучении ОП Электротехника и электроника, МДК.01.03. Электрическое и электромеханическое оборудование требуется читать принципиальные электрические и монтажные схемы, собирать электрические схемы.

Образцы студенческих работ представлены на рисунках 1,2,3.

Ссылки на видео представлены https://cloud.mail.ru/public/CbSU/TvaY2k6Zy

В Облаке выложено шесть коротких фильмов и несколько схем студенческих работ.

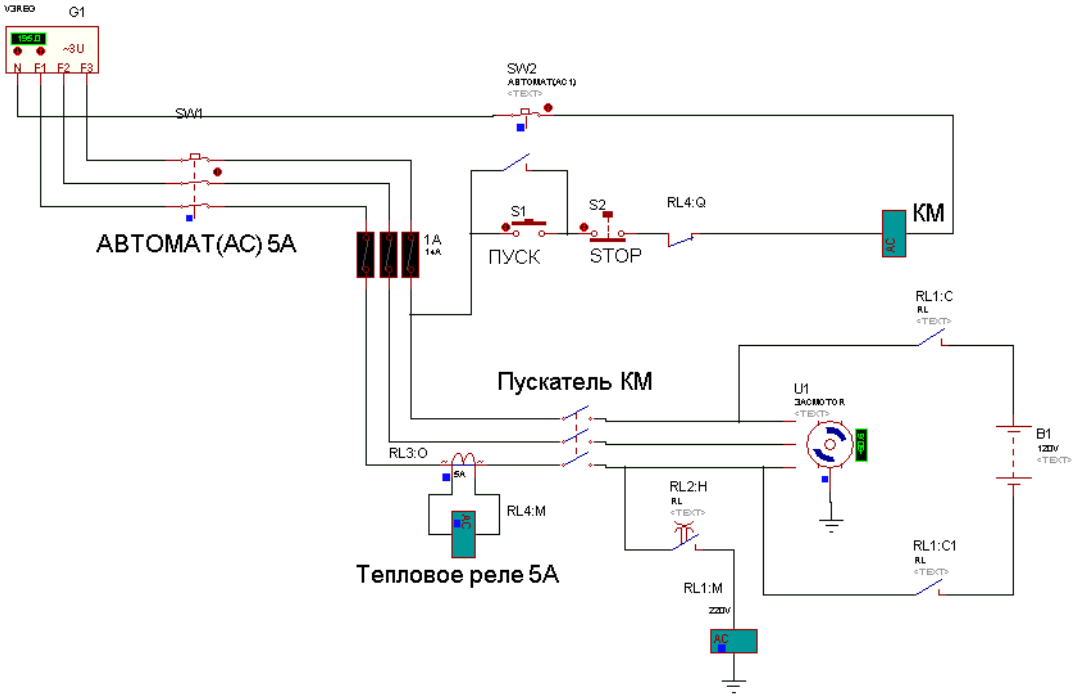


Рис. 1. Схема торможения станка

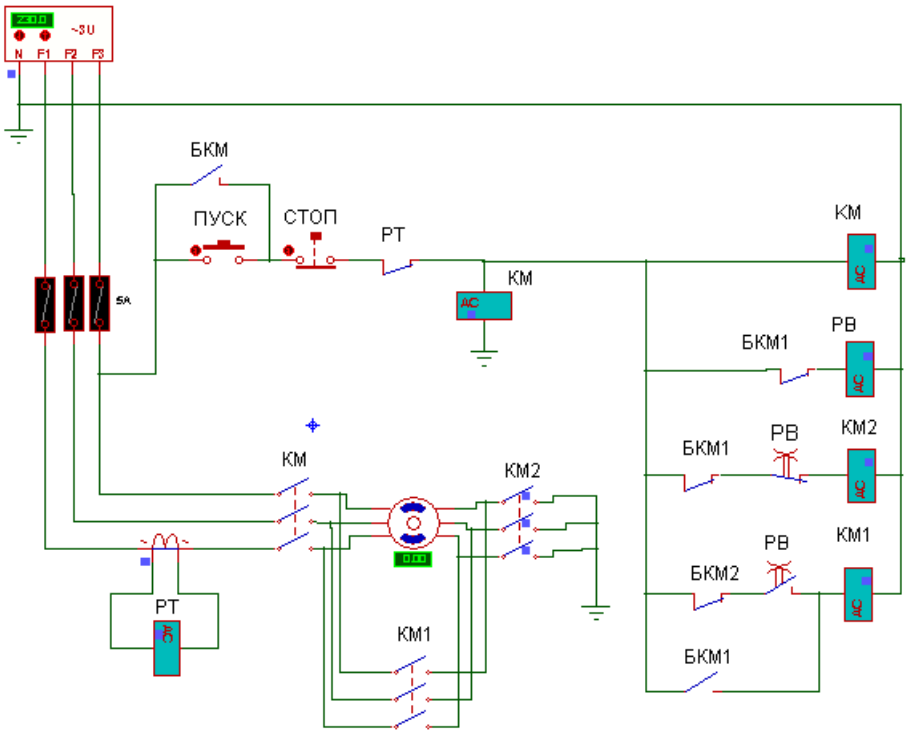


Рис. 2. Фрагмент схемы переключение «звезда - треугольник» пресса

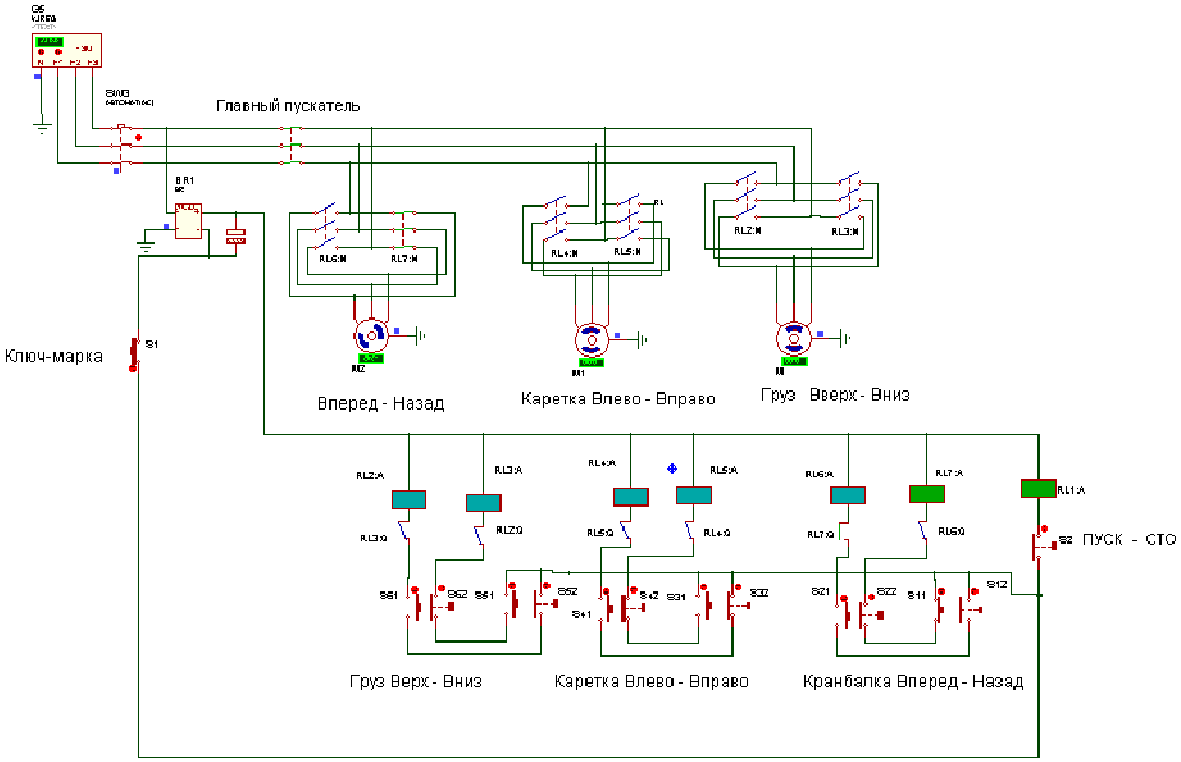


Рис. 3. Схема кран-балки

Сформированная база компонентов в Proteus VSM позволила реализовывать огромное количество схемных решения для силовой электроники, радиоэлектроники, электропривода. Теперь мы

имеем возможность научить студента читать схемы, получили возможность разрабатывать схемы, проектировать и моделировать процессы работы электрооборудования, устройств, станков и осуществлять поиск неисправностей в схемах.

Список литературы

1. Встовский А. Л. Встовский, А. Л. Электрические машины [Электронный ресурс] : учеб. пособие - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 464 с. - ISBN 978-5-7638-2518-3.
2. Комиссаров Ю. А. Общая электротехника и электроника : учебник / Ю.А. Комиссаров, Г.И. Бабокин ; под ред. П.Д. Саркисова. — 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 479 с. — (Бакалавриат).
3. Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник / В.В. Москаленко. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 208 с.: 60x90 1/16. - (Среднее профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-16-005116-1
4. Онищенко Г. Б. Силовая электроника: Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: Уч.пос. / Онищенко Г.Б., Соснин О.М. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 122 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (о) ISBN 978-5-16-011120-9
5. Электрические машины, элетропривод и системы интеллектуального управления элетротех. комплексами/А.Е.Поляков, А.В.Чесноков, Е.М.Филимонова - М.: Форум,ИНФРА-М, 2015. - 224 с.: 60x90 1/16. - (ВО: Бакалавриат) (о) ISBN 978-5-00091-071-9, 300 экз.
6. Титов В. С. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учебное пособие / В.С. Титов, В.И. Иванов, М.В. Бобырь. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 143 с.: 60x88 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (обложка) ISBN 978-5-16-009101-3, 500 экз.
7. Электронные приборы и устройства: Учебник / Ткаченко Ф.А. - М.:ИНФРА-М Издательский Дом, Нов. знание, 2011. - 682 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование) ISBN 978-5-16-004658-7
8. Симаков Г. М. Автоматизированный электропривод в современных технологиях/СимаковГ.М. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 103 с.: ISBN 978-5-7782-2400-1
9. Федоров О. В. Оценки эффективности частотно-регулируемых электроприводов: Монография / О.В. Федоров. - М.: НИЦ Инфра-М, 2011. - 144 с.: 60x90 1/16. (e-book) ISBN 978-5-16-012051-5, 200 экз.
10. Шеховцов В. П. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование).
11. Юзова В. А.. Основы проектирования электронных средств. Конструирование электронных модулей первого структурного уровня [Электронный ресурс] : Лаб. практикум / В. А. Юзова. - Красноярск : Сиб. федер. ун -т, 2012. - 208 с. - ISBN 978–5 7638–2421–6.
12. https://ru.scribd.com/document/21341049/Manual-de-Proteus-Ares

СПЕЦИФИКА ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

М.А. Суздалова к.т.н, доц., Боярова Ю.С., студентка группы 17Б60

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 89516066296

E-mail: boyarova.jarova@yandex.ru

В данной статье были рассмотрены проблемы организации транспортной службы предприятия. Актуальность темы исследования обусловлена, тем, что любую готовую продукцию необходимо транспортировать, в связи с этим были рассмотрены общие характеристики транспортной службы предприятия, сделаны выводы, позволяющие повысить эффективность работы транспортного цеха предприятия за счет повышения качества надежности внешних и внутрипроизводственных перевозок, что обеспечит повышение конкурентоспособности предприятия в целом.

Данная тема является актуальной, так как предприятию, производящему продукцию в будущем, необходимо куда-либо ее транспортировать. Это возможно только на основе правильной организации транспортного хозяйства предприятия и эффективного планирования грузоперевозок.

В процессе производства продукции предприятие занимается транспортировкой огромного количества различных грузов: сырья, материалов, полуфабрикатов, топлива, готовой продукции, отходов.

В процессе производства продукция подвергается многократном перемещениям и погрузочно-разгрузочным операциям, способствующих большему увеличению объема транспортных работ. Каждая технологическая операция подразделяется на несколько транспортных операций, поэтому это

связано с большими затратами на транспортные работы, которые составляют 10-30% косвенных расходов в себестоимости продукции, а численность работников, занятых в транспортном хозяйстве, составляет около 12% общего числа рабочих.

Целью транспортной службы предприятия является обеспечение производства всеми видами транспортных средств и услуг. Однако для достижения этой цели необходимо снизить до минимума части транспортных затрат в себестоимости готового продукта.

В свою очередь эффективная организация транспортного хозяйства является залогом снижения себестоимости продукции, при этом оно должно обладать определенными задачами и функциями.

Транспортное хозяйство обладает следующими задачами:

1. осуществление бесперебойной транспортировки всех грузов в соответствии с производственным процессом;
2. содержание транспортных средств в исправном и работоспособном состоянии;
3. внедрение новой техники;
4. снижение издержек на транспортные и погрузо-разгрузочные работы.

Для эффективного функционирования транспортная служба должна выполнять следующие функции:

1. разработка нормативов;
2. планирование потребностей всех видов транспорта на основе расчетов грузопотоков и грузооборота;
3. планирование потребности приобретения запчастей;
4. оперативное планирование и диспетчерское сопровождение доставки, погрузки/отгрузки товаров;
5. планирование ППР транспортных средств;
6. обеспечение производственных процессов транспортными средствами;
7. организация безопасности движения;
8. организация осмотров, технического обслуживания и ремонта транспортных средств;
9. организация обслуживания транспортных средств (заправка ГСМ, мойка и т.д.);
10. организация приобретения новых транспортных средств, их регистрации в государственных органах, получения лицензий на перевозку грузов и людей, списания и утилизации транспортных средств.

Существует 2 основных вида транспорта предприятия:

1. Внешний транспорт – транспорт, предназначенный для осуществления доставки на другие предприятия различной продукции, а также для вывоза с территории предприятий готовой продукции в пункты передачи её на магистральный транспорт или непосредственно потребителю.
2. Внутренний транспорт – транспорт, обеспечивающий перемещение грузов между цехами, участками и рабочими местами. Для выполнения этих функций предназначен внутренний транспорт, который включает: внутрицеховой и межцеховой.
3. Внутрицеховой производственный транспорт – составная часть технологического процесса производства выполняя в пределах цехов перемещения заготовок и узлов между рабочими местами участками и отделениями.
4. Межцеховым производственным транспортом – транспорт, осуществляющий перемещения материалов полуфабрикатов и готовых изделий между цехами и складами расположенными на территории предприятия или в одном с ним промышленном узле.

Структура транспортного хозяйства зависит от многих факторов, основными из которых являются следующие: объем внутризаводских и внешних перевозок, тип производства, масса и габариты изготавливаемой продукции, уровень кооперированных связей. Эти факторы влияют на состав подразделений службы транспортного хозяйства предприятия.

Другими словами транспортный процесс состоит из отдельных последовательно выполняемых элементов. Если, например, в ходе производства возникает необходимость частого использования в качестве вне- производственного транспорта железнодорожных или автомобильных средств, то следует отдельно сформировать соответствующие цехи, кроме того, целесообразно создать цехи или участки безрельсового транспорта и электротранспорта с соответствующей ремонтной базой, техническим обслуживанием и заправкой.

Примерная структура транспортной службы транспортного цеха Юргинского ЛПУМГ приведена на рис.1.

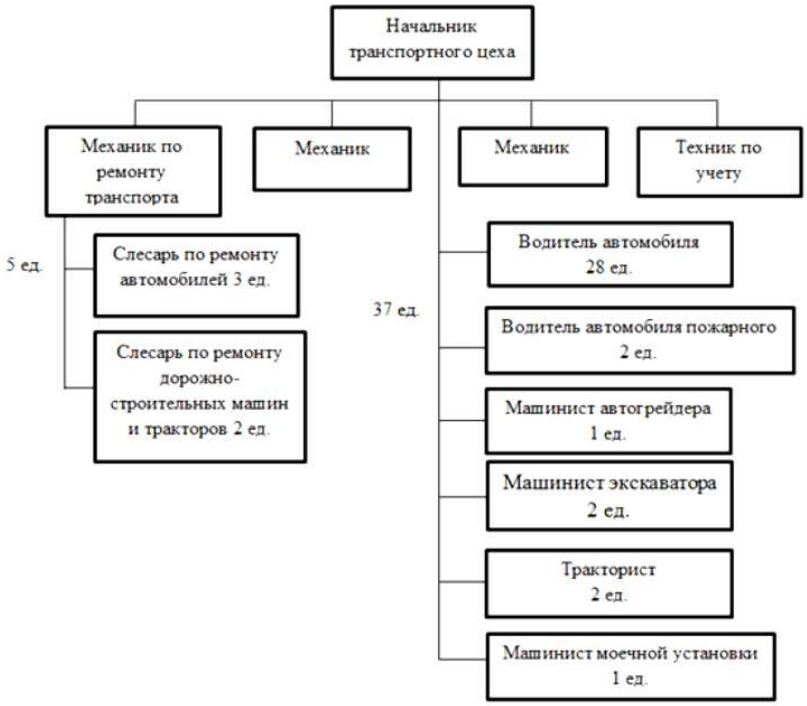


Рис.1. Структура транспортного цеха Юргинского ЛПУМГ

Данная структура является оптимальной, т.к. она соответствует основным задачам и функциям, стоящим перед транспортной службой предприятия. Это связано с тем, что деятельность транспортной службы направлена на эффективное использование транспорт6ных средств для рентабельной работы предприятия в целом.

Для характеристики использования транспорта применяются следующие наиболее важные технико-экономические показатели:[3]

1. Коэффициент использования автомобилей в работе (Кр) равен числу автомобиле-дней в работе (Тр), деленных на число автомобилей – дней пребывания в хозяйстве (Тх):

$$Кр = \frac{\text{Тр}}{Тх}$$

2. Коэффициент использования грузоподъемности (Кгр) равен фактически выполненному объему работ (Оф, т/км), деленному на технически возможный объем (Отв, т/км):

$$Кгр = \frac{Оф}{Отв}, \text{Отв} = \text{СргрДгр}$$

где Ср гр – средняя грузоподъемность автомобиля, тонн; Дгр – пробег с грузом, т.км.

1. Коэффициент полезного использования пробега равен пробегу с грузом (Дгр/в т/км), деленному на общий пробег (Добщ. в т/км) (Кпр)

$$Кпр = \frac{\text{Дгр}}{Добщ}$$

2. Годовой пробег на автомобиль ($Д_{год}$) равен общему пробегу ($Д_{общ}$), деленному на число автомобилей (П)

$$Дгод = \frac{Добщ}{П}$$

При отлаженной работе транспортных подразделений предприятия, их сотрудникам необходимо постоянно искать новые пути совершенствования своей работы. Основными направлениями совершенствования транспортного хозяйства на предприятии представлены на рис. 2.

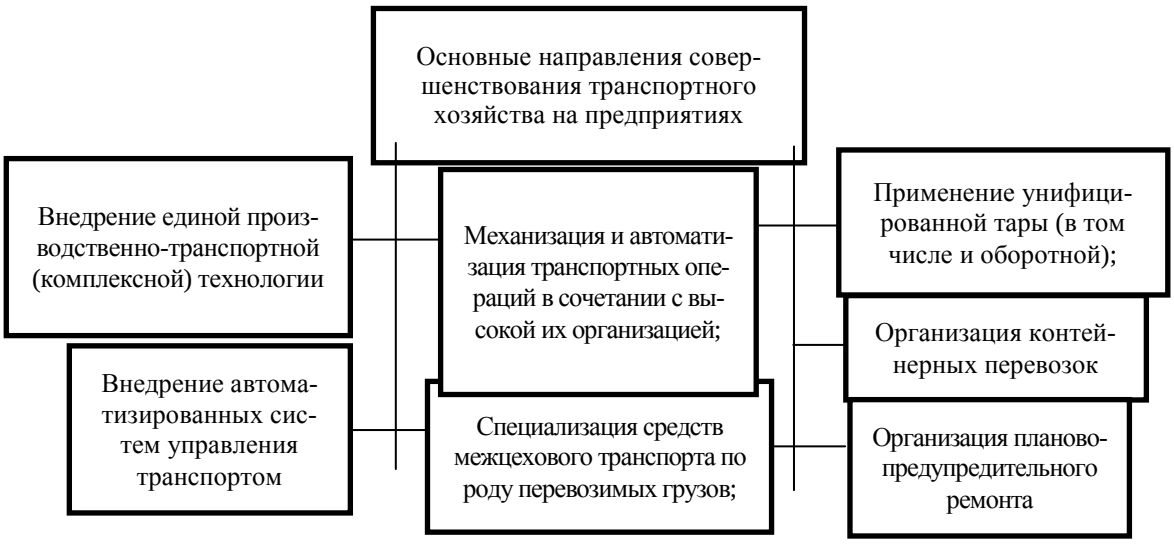


Рис.2 – Основными направлениями совершенствования транспортного хозяйства на предприятии

Приоритетными направлениями развития и совершенствования транспортного хозяйства на современном этапе являются специализация, комплексная механизация погрузочно-разгрузочных работ, организация контейнерных перевозок, использование универсальной тары, внедрение новых форм внутрипроизводственного хозрасчета во все звенья этого хозяйства. Основными же направлениями развития транспортного хозяйства на энергетических предприятиях являются специализация, механизация работ. Все это поможет снизить расходы на содержание транспортного хозяйства и повысить производительность труда, а, соответственно, и прибыль предприятия.[5]

Таким образом, мы рассматривали транспортную службу предприятия как систему, которая осуществляет транспортировку различных грузов на предприятии согласно производственного процесса. Учитывая особенности технологического процесса и соответственно тип производства применяются разнообразные транспортные средства. Роль производственного транспорта состоит не только в перемещении грузов внутри предприятия и за его пределами, но и зависит от заданного ритма и графика.

Внутризаводское транспортное хозяйство - это важная структура для предприятий всех отраслей. Без транспортного хозяйства невозможно перемещать материалы и продукцию по территории предприятия, доставлять готовую продукцию потребителю. Поэтому рациональная организация работы транспорта необходима для рентабельной работы предприятия. На крупных предприятиях до сих пор функционирует устаревший парк транспортных средств, которые были приобретены в советское время, хотя имеются возможности для приобретения новых.

На мелких предприятиях существует возможность аренды транспорта или объединяться нескольким предприятиям для его покупки. В настоящее время расходы на топливо и обслуживание транспорта постоянно увеличиваются, что естественно, отражается на себестоимости и цене продукции. Поэтому необходимо изыскивать резервы для снижения доли этих расходов.

Список литературы

1. Транспортное хозяйство// http://www.grandars.ru/college/biznes/transportnoe-hozyaystvo.html
2. Д.В. Бычков// Системный подход к организации транспортного обслуживания промышленного предприятия
3. Баскакова, О.В. Экономика предприятия (организации): Учебник / О.В. Баскакова, Л.Ф. Сейко. - М.: Дашков и К, 2015. - 372 с.
4. Романова, А.Т. Экономика предприятия: Учебное пособие / А.Т. Романова. - М.: Проспект, 2016. - 176 с.
5. Бухалков М.И. Совершенствование организации и нормирования труда в современном производстве: Учебное пособие. - Самара: СамГТУ, 2014. - 96 с.

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РЕЗА НА ОСЕВУЮ ПРОЕКЦИЮ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В.В. Аксенов[1,3], д.т.н., В.Ю. Садовец[2,3], к.т.н., доцент, Д.А. Пашков[1], аспирант
[1]Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН
650610, Россия, г. Кемерово, Ленинградский, 10.
[2]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.
[3]Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский по-литехнический университет»
652052, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.
e-mail: vsadovec@yandex.ru

В статье обосновывается влияние ширины реза на проекцию составляющей силы резания на ось вращения геохода. Рассмотрена актуальность исследования. Для постановки цели и задач исследования определена проекция составляющей силы резания на ось вращения геохода. На основании проведенного исследования построена зависимость осевой проекции силы резанию ножевого исполнительного органа геохода ($P_{0.СВ}$) от расстояния x на которое отдалена точка от оси вращения.

В настоящее время стремительно развиваются новые технологии в области роботизации. Однако менее освоенной является область создания устройств, которые могут образовывать полости в подземном пространстве [1-5].

В связи с этим встают задачи разработки новых подходов, технологий, и машин, которые позволяют роботизировано выполнять все процессы для образования полости в подземном пространстве [6-9].

Одним из направлений, позволяющим подземному роботу образовывать полости под землей является применение геовинчестерной технологии, базовым элементом которой является – геоход [10-13].

На существующем этапе разработки элементов геовинчестерной технологии остро стоит необходимость разработки конструктивных и технических решений исполнительных органов способных проводить образование полости в подземном пространстве по породам крепостью до 1 по шкале М.М. Протодьяконова [14-18].

Из ранее проведенных исследований одной из характерных точек изгиба ножевого исполнительного органа геохода является точка при которой проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на ось вращения геохода ($P_{0.СВ}$) в пределах от 0 до x, будет равна проекции составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода ($R_{ИО.СВ}$) в пределах от x до $R_г$, т.е.

$$\int_0^x P_{с.св} dx = \int_x^{R_г} R_{ио.св} dx \; ; \tag{1}$$

Проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на ось вращения геохода ($P_{0.СВ}$) в пределах от 0 до x будет равна [19-21]

$$P_{о.св} = \frac{\varphi m_{св} h_в^2 + h_в n P_{изн}}{2\pi n \cos\gamma} \cdot \left(\ln \frac{1}{tg\left|\frac{\beta_x}{2}\right|} \right) - \\ - \frac{h_в}{2\pi} \left(\varphi m_{св} \frac{h_в}{n} \frac{ctg(\delta + \varphi_{ТР})}{\cos\gamma} - \frac{ctg(\delta_1 + \varphi_{ТР})}{\cos\gamma} P_{изн} \right) \frac{1 - \sin\beta_x}{\sin\beta_x} \tag{2}$$

Для того чтобы проследить влияние увеличения ширины реза в пределах от 0 до x на осевую проекцию силы резания, использовано выражения (2).

На основе горнотехнических условий проведения выработок геоходом с ножевым ИО представленным в таблице, по выражению (2) была посчитана осевая проекция силы резания ($P_{0.СВ}$) в пределах от 0 до x, где переменная x изменяется от 0 до $R_г$ с шагом 0,01 м.

На основании расчетов, был построен график (рисунок 1) изменения осевой проекции силы резания ($P_{0.СВ}$) в пределах от 0 до x при отдалении от оси вращения точки на расстояние x.

По оси ординат, представленной зависимости, отложено значение осевой проекции силы резания ножевого исполнительного органа геохода (Н), а по оси абсцисс расстояние *x* на которое отдалена точка от оси вращения.

Таблица

Горнотехнические условия проведения выработки геоходом с ножевым ИО.

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Радиус геохода	$r_г$	м	0,9
Шаг винтовой лопасти	h_B	м	0,5
Коэффициент, учитывающий влияние угла резания [22]	φ		0,74
Удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания 45^0 [22]	$m_{св}$	Н/м^2	300000
Угол наклона радиального ножа к плоскости, перпендикулярной оси вращения геохода	γ	град	0
Параметры, характеризующие сопротивление материала упругопластическому сжатию [22]	P_O $P_{усл}$ $h_{усл}$	Н/м Н/м м	11300 61900 0,639
Угол резания	δ	град	35
Угол трения [23]	$\varphi_{тр}$	град	31,4

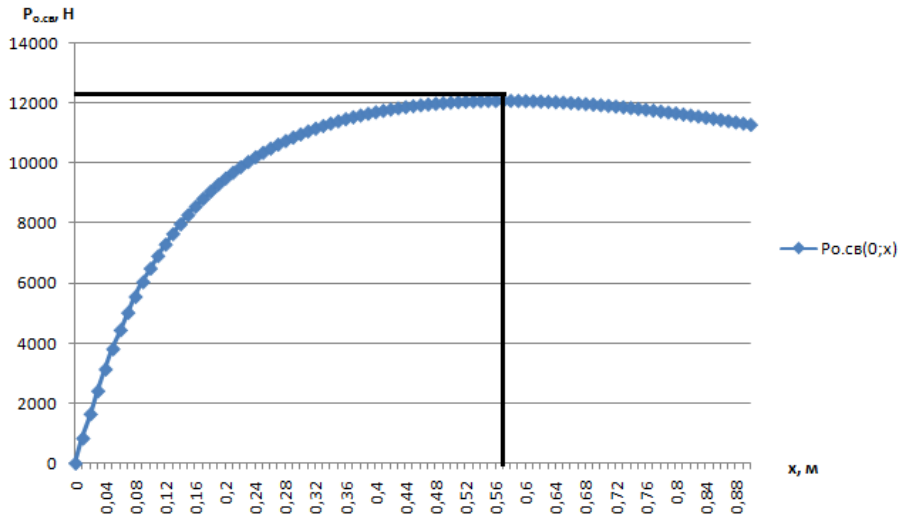


Рис. 1. Зависимость осевой проекции силы резанию ножевого исполнительного органа геохода ($P_{0.CB}$) от расстояния x на которое отдалена точка от оси вращения

Из графика изображенного на рисунке 1, видно что:

– значение проекции силы резания на ось вращения геохода резко возрастает при увеличении ширины реза от оси геохода до *x*=0,25 м;

– ширина резания от оси вращения геохода *x* ограничена радиусом геохода;

– максимальное значение проекции силы резания на ось вращения геохода будет в точке максимума при значении *x*=0,57 м;

– при увеличении ширины резания более 0,57 м от центра вращения, значение проекции силы резания на ось вращения геохода начинает уменьшаться. Это связано с изменением угла между вектором силы резания и направлением оси проецирования. Поэтому, можно говорить о том, что при достижении определенного значения ширины резания от оси вращения геохода *x*, исполнительный орган геохода будет самозарубаться.

Список литературы

1. Sadovets V. Y., Beglyakov V. Y., Aksenov V. V. Development of math model of geokhod bladed working body interaction with geo-environment//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 91. С. 012085.
2. Садовец В.Ю., Пашков Д.М. Оценка необходимости создания крепевозводящего модуля геохода//В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция. Редакционная коллегия: Пудов Е.Ю. (ответственный редактор), Клаус О.А. (ответственный редактор), Бершполец С.И., Конопля А.А. 2014. С. 346-349.
3. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Последовательность операций возведения крепи в условиях геовичестерной технологии//В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014 Материалы XV международной научно-практической конференции. В.П. Тациенко (отв. редактор), В.А. Колмаков (зам. отв. редактора). 2014. С. 63.
4. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Буялич Г. Д., Бегляков В. Ю. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2011. -Отд. вып. 2: Горное машиностроение. -С. 55-67.
5. Горбунов В.Ф., Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Структурная матрица горнопроходческих систем//«Служение делу»: -Кемерово, -2006. -С. 77-84.
6. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов, формирующихся в рабочих режимах, на силовые параметры ножевого исполнительного органа//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 91-106.
7. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. Т. 15. С. 03015.
8. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. The influence of parameters on the generatrix of the helicoid form guide of geokhod bar working body// E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. 2017.
9. Садовец В.Ю. Разработка модели кинематических особенностей геохода. Иновационные технологии экономика в машиностроении /В.Ю. Садовец, В.Ю. Бегляков, А.Б. Ефременков.//Сборник трудов V Международная научно-практическая конференция: в 2-х т. -Юргинский технологический институт. -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. -Т.2. -С. 292-298.
10. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов//автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. -Кемерово, 2007. с. 17.
11. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение функции линии контакта ножа исполнительного органа геохода с поверхностью забоя // Технологии и материалы. - 2016. - №4. - С. 9-14.
12. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости // Вестник КузГТУ. - 2016. - №6. - С. 8-14.
13. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Обоснование необходимости создания барового исполнительного органа геохода для разрушения пород крепостью до 1 по шкале профессора Протодьяконова // В сборнике: Международной научно-практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». КузГТУ. 2017. С. 381-385.
14. Пашков Д.А. Анализ существующих баровых исполнительных органов//В сборнике: IX Всероссийской, 62 научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». С.Г. Костюк (отв. редактор). 2017. С. 35011.
15. Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю., Пашков Д.А. Физико-механические свойства горных пород малой крепости//В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России/Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А. -2016. -С. 142-147.
16. Садовец В.Ю., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю. Разработка модели взаимодействия ножевого исполнительного органа геохода с геосредой // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 36-41
17. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Моделирование особенностей движения геохода // Вестник КузГТУ. - 2007. - №1. - С. 20-122.
18. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Синтез технических решений нового класса горнопроходческой техники // Известия вузов. Горный журнал / Екатеринбург, 2009-№ 8. С. 56-63.

19. Садовец В.Ю., Аксенов В.В. Ножевые исполнительные органы геоходов: монография / В.Ю. Садовец, В.В. Аксенов // Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. 2011. -141 с.
20. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов геохода // Механики XXI веку. 2015. № 14. С. 89-92.
21. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение силовых параметров ножевого исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости // Вестник КузГТУ. - 2017. - №3. - С. 116-126.
22. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. – Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.
23. Винтоповоротные проходческие агрегаты. А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992 г.– 192 с.
24. Горбунов В.Ф., Аксёнов В.В., Садовец В.Ю. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горнопроходческой техники на методику расчета его параметров//Вестник Кузбасского государственного технического университета. -2004. -№ 6.1. -С. 43-45.
25. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений ножевого исполнительного модуля геохода//Вестник Кузбасского государственного технического университета/Кемерово, 2006-№ 6. С. 33-37.
26. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Структурная матрица геоходов//Служение делу. Кемерово, 2006. С. 90-99.
27. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснования формы забоя выработки геохода//Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 20-21 мая, 2010 г./ЮТИ. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. -С.492-496.
28. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснования формы забоя выработки геохода//Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 20-21 мая, 2010 г./ЮТИ. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. -С.492-496.
29. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Создание инновационного инструментария для формирования подземного пространства//Вестник КузГТУ/Кемерово, 2010-№ 1. С. 42-46.
30. Бегляков В.Ю., Аксенов В.В. Поверхность забоя при проходке горной выработки геоходом. - Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. -139 с.

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ РЕЗА НА РАДИАЛЬНУЮ ПРОЕКЦИЮ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

В.В. Аксенов[1,3], д.т.н., В.Ю. Садовец[2,3], к.т.н., доцент, Д.А. Пашков[1], аспирант
[1]Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН
650610, Россия, г. Кемерово, Ленинградский, 10.
[2]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.
[3]Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
652052, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, д. 26.
e-mail: vsadovec@yandex.ru

В статье обосновывается влияние ширины реза на проекцию составляющей силы резания на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода. Рассмотрена актуальность исследования. Для постановки цели и задач исследования определена проекция составляющей силы резания на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода. На основании проведенного исследования построена зависимость радиальной проекции силы резанию ножевого исполнительного органа геохода (RИО.СВ) от от x до Rг.

Одним из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ является необходимость эффективного использования пространства, в том числе подземного. Однако проведение подземных выработок представляет собой трудоемкий и дорогостоящий процесс. Где наиболее остро стоят задачи повышения скорости проходки, производительности труда и безопасности, снижения стоимости работ [1-12].

Перспективным направлением, решающим данные вопросы является применение геовинчестеной технологии для образования полости в подземном пространстве, где базовым элементом является геоход [13-19].

На существующем этапе разработки элементов геовинчестерной технологии остро стоит необходимость разработки конструктивных и технических решений исполнительных органов способных проводить образование полости в подземном пространстве по породам крепостью до 1 по шкале М.М. Протодьяконова [20-25].

Под радиальной проекцией силы резания понимается проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода ($R_{ИО.СВ}$).

Из ранее проведенных исследований одной из характерных точек изгиба ножевого исполнительного органа геохода является точка при которой проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на ось вращения геохода ($P_{0.СВ}$) в пределах от 0 до x, будет равна проекции составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода ($R_{ИО.СВ}$) в пределах от x до $R_г$, т.е.

$$\int_0^x P_{с.св} dx = \int_x^{R_г} R_{ио.св} dx \; ; \qquad (1)$$

Проекция составляющей силы сопротивления грунта резанию, зависящей от ширины среза, на плоскость, перпендикулярную оси вращения геохода (RИО.СВ) в пределах от x до Rг будет равна [26-30]

$$R_{и.о.св} = \frac{\phi m_{св} h_в^2 + h_в n P_{изн}}{2\pi n \cos\gamma} \cdot \frac{\sin\beta_x - \sin\beta_1}{\sin\beta_1 \sin\beta_x} +$$

$$+ \frac{h_в}{2\pi}\left(\phi m_{св} \frac{h_в}{n} \frac{ctg\left(\delta + \phi_{TP}\right)}{\cos\gamma} - \frac{ctg\left(\delta_1 + \phi_{TP}\right)}{\cos\gamma} P_{изн}\right) \cdot \left(\ln \frac{tg\left|\frac{\beta_x}{2}\right|}{tg\left|\frac{\beta_1}{2}\right|}\right) \qquad (2)$$

Для того чтобы проследить влияние увеличения ширины реза в пределах от x до $R_г$ на радиальную проекцию силы резания, использовано выражения (2).

На основе горнотехнических условий проведения выработок геоходом с ножевым ИО представленным в таблице, по выражению (2) была посчитана радиальная проекция силы резания ($R_{ИО.СВ}$) в пределах от x до $R_г$, где переменная x изменяется от 0 до $R_г$ с шагом 0,01 м.

На основании расчетов, был построен график (рисунок 1) изменения радиальной проекции силы резания ($R_{ИО.СВ}$) в пределах от x до $R_г$ при отдаление от оси вращения точки на расстояние x.

По оси ординат, представленной зависимости, отложено значение радиальной проекции силы резания ножевого исполнительного органа геохода (Н), а по оси абсцисс расстояние x на которое отдалена точка от оси вращения.

Таблица

Горнотехнические условия проведения выработки геоходом с ножевым ИО.

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
Радиус геохода	$R_г$	м	0,9
Шаг винтовой лопасти	h_B	м	0,5
Коэффициент, учитывающий влияние угла резания [22]	φ		0,74
Удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания 45^0 [22]	$m_{св}$	Н/м^2	300000
Угол наклона радиального ножа к плоскости, перпендикулярной оси вращения геохода	γ	град	0
Параметры, характеризующие сопротивление материала упругопластическому сжатию [22]	P_O $P_{усл}$ $h_{усл}$	Н/м Н/м м	11300 61900 0,639
Угол резания	δ	град	35
Угол трения [23]	$\varphi_{тр}$	град	31,4
Количество ножей	n		2

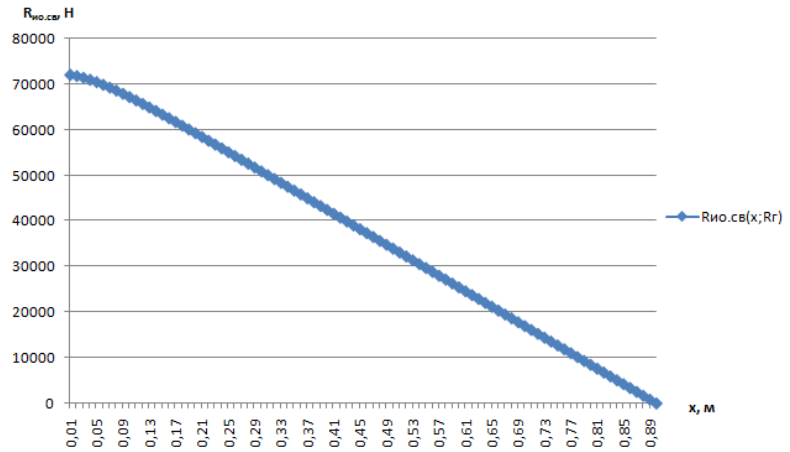


Рис. 1. Зависимость радиальной проекции силы резанию ножевого исполнительного органа геохода ($R_{ИО.СВ}$) от расстояния x на которое отдалена точка от оси вращения

Из графика изображенного на рисунке 1, видно что:

– значение радиальной проекции силы резания уменьшается нелинейно от полной длины ножа (от 0 до $R_г$) до значения x=0,1 м (от 0,1 до $R_г$);

– при значении x>0,1 м, значение радиальной проекции силы резания уменьшается пропорционально x;

–при значении x=0,9 м, т.е. равное радиусу геохода, значение радиальной проекции силы резания равняется 0, т.к. в данном случае, ширина реза равна 0.

Список литературы

1. Sadovets V.Yu., Beglyakov V.Yu. and Efremenkov A.B. 2015 Simulation of geokhod movement with blade actuator Applied Mechanics and Materials 770 384-390.
2. Садовец В.Ю., Пашков Д.М. Оценка необходимости создания крепевозводящего модуля геохода//В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция. Редакционная коллегия: Пудов Е.Ю. (ответственный редактор), Клаус О.А. (ответственный редактор), Бершполец С.И., Конопля А.А. 2014. С. 346-349.
3. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Последовательность операций возведения крепи в условиях геовичестерной технологии//В сборнике: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014 Материалы XV международной научно-практической конференции. В.П. Тациенко (отв. редактор), В.А. Колмаков (зам. отв. редактора). 2014. С. 63.
4. Аксенов В. В., Садовец В. Ю., Буялич Г. Д., Бегляков В. Ю. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2011. -Отд. вып. 2: Горное машиностроение. -С. 55-67.
5. Садовец, В.Ю. Структурная матрица горнопроходческих систем/Горбунов В.Ф., Аксенов В.В., Садовец В.Ю/«Служение делу»: -Кемерово, -2006. -С. 77-84.
6. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние динамических процессов, формирующихся в рабочих режимах, на силовые параметры ножевого исполнительного органа//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. Т. 10. № 12. С. 91-106.
7. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3S Web of Conferences. 2017. Т. 15. С. 03015.
8. Aksenov V., Sadovets V., Pashkov D. The influence of parameters on the generatrix of the helicoid form guide of geokhod bar working body// E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium. 2017.
9. Садовец В.Ю. Разработка модели кинематических особенностей геохода. Иновационные технологии экономика в машиностроении /В.Ю. Садовец, В.Ю. Бегляков, А.Б. Ефременков.//Сборник трудов V Международная научно-практическая конференция: в 2-х т. -Юргинский технологический институт. -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. -Т.2. -С. 292-298.

10. Садовец В.Ю. Обоснование конструктивных и силовых параметров ножевых исполнительных органов геоходов//автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. -Кемерово, 2007. с. 17.
11. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение функции линии контакта ножа исполнительного органа геохода с поверхностью забоя // Технологии и материалы. - 2016. - №4. - С. 9-14.
12. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Обоснование необходимости создания исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости // Вестник КузГТУ. - 2016. - №6. - С. 8-14.
13. Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Обоснование необходимости создания барового исполнительного органа геохода для разрушения пород крепостью до 1 по шкале профессора Протодьяконова // В сборнике: Международной научно-практической конференции «Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте». КузГТУ. 2017. С. 381-385.
14. Пашков Д.А. Анализ существующих баровых исполнительных органов // В сборнике: IX Всероссийской, 62 научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». С.Г. Костюк (отв. редактор). 2017. С. 35011.
15. Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю., Пашков Д.А. Физико-механические свойства горных пород малой крепости/ //В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России/Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А. -2016. -С. 142-147.
16. Садовец В.Ю., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю. Разработка модели взаимодействия ножевого исполнительного органа геохода с геосредой // Технологии и материалы. 2015. № 1. С. 36-41
17. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Моделирование особенностей движения геохода // Вестник КузГТУ. - 2007. - №1. - С. 20-122.
18. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Синтез технических решений нового класса горнопроходческой техники // Известия вузов. Горный журнал / Екатеринбург, 2009-№ 8. С. 56-63.
19. Садовец В.Ю., Аксенов В.В. Ножевые исполнительные органы геоходов: монография / В.Ю. Садовец, В.В. Аксенов // Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany. 2011. -141 с.
20. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов геохода // Механики XXI веку. 2015. № 14. С. 89-92.
21. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Пашков Д.А. Определение силовых параметров ножевого исполнительного органа геохода для разрушения пород малой крепости // Вестник КузГТУ. - 2017. - №3. - С. 116-126.
22. Ветров Ю.А. Расчет сил резания и копания грунтов. – Киев: Изд-во Киев. Ун-та, 1985. 251 с.
23. Винтоповоротные проходческие агрегаты. А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992 г.– 192 с.
24. Горбунов В.Ф., Аксёнов В.В., Садовец В.Ю. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горнопроходческой техники на методику расчета его параметров//Вестник Кузбасского государственного технического университета. -2004. -№ 6.1. -С. 43-45.
25. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Синтез технических решений ножевого исполнительного модуля геохода//Вестник Кузбасского государственного технического университета/Кемерово, 2006-№ 6. С. 33-37.
26. Аксенов В.В., Садовец В.Ю. Структурная матрица геоходов//Служение делу. Кемерово, 2006. С. 90-99.
27. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснования формы забоя выработки геохода//Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 20-21 мая, 2010 г./ЮТИ. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. -С.492-496.
28. Аксенов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Обоснования формы забоя выработки геохода//Сборник трудов Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых «Инновационные технологии и экономика в машиностроении». 20-21 мая, 2010 г./ЮТИ. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. -С.492-496.
29. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Садовец В.Ю., Резанова Е.В. Создание инновационного инструментария для формирования подземного пространства//Вестник КузГТУ/Кемерово, 2010-№ 1. С. 42-46.
30. Бегляков В.Ю., Аксенов В.В. Поверхность забоя при проходке горной выработки геоходом. - Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. -139 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА

Г.В. Редреев, к.т.н., доц., А.А. Лучинович, аспирант, Е.И. Устьянцев, аспирант
Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина
644008, г. Омск, Институтская пл., 1,
тел. (3812)-651172. E-mail: weerwg@mail.ru

Предоставление услуг технического сервиса требует предоставления гарантий качества этих услуг. Результаты исследований ведущих специалистов в этой области не всегда доступны инженерам сельскохозяйственных предприятий, поэтому существует необходимость в разработке методик оценки качества клиентом или подтверждения обеспечения качества поставщиком услуг технического сервиса. Проект системы технического сервиса машинотракторного парка, включающей в себя совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных ее элементов – процессов, происходящих в машинах; технологий технического сервиса; исполнителей технического сервиса – определяемую и направляемую целью технического сервиса – поддержание работоспособности сельскохозяйственной техники, позволяет сформировать методику оценки качества. Показатель качества представляет собой произведение частных коэффициентов, учитывающих степень соответствия выполненных объемов работ требуемым объемам; степень соответствия периодичности ТО требуемым значениям; степень соответствия технологий ТО и ремонта процессам в подсистемах; достаточность компетенций исполнителей для реализации технологий ТО и ремонта; достаточность перечня работ, потенциально выполняемых исполнителями технического сервиса, для обслуживания определенного вида машинотракторных агрегатов. Степень соответствия периодичности может обеспечиваться соблюдением требований нормативно-технической документации. Объемы работ технического сервиса могут быть обеспечены работой группы исполнителей технического сервиса. Предлагается вариант методики оценки компетенций исполнителей технического сервиса. Вместе с тем разработанная информационная система технического сервиса позволяет выявить взаимосвязи, определяющие качество технического сервиса.

Providing technical services also requires providing quality assurance of these services. Results of leading experts' research in this field is not always available for engineers of agricultural companies, that is why there is need for development of a customer quality assessment method or a method of quality assurance by technical services suppliers. Project of machines and tractor fleet technical service system which included an assembly of interrelated and interdependent elements – processes running in machines, technologies of technical service, performers of technical service – is defined and directed by the aim of technical service which consists in maintaining operability of agricultural equipment, allows to create a method of quality assessment. The quality index represents multiplication of partial factors which take into consideration degree of correspondence of performed volume of works to the required volume, degree of correspondence of maintenance intervals to the required intervals, degree of conformity of repair and maintenance technologies to processes in subsystems; sufficiency of performers competence for implementation of repair and maintenance; sufficiency of range of works potentially carried out by technical service performers for maintenance of a certain types of machine- and tractor aggregates. The degree of correspondence of intervals can be ensured by meeting the requirements of standards and technical documentation. The volume of technical services works can be provided by involving a group of technical service performers. A variant of technical service performers' competence assessment method is suggested. Along with that an information system of technical service is developed which allows to state interdependencies determining quality of technical service.

Проблема качества предоставляемых услуг выступает на первое место после своевременности их предоставления. Особенно остро эта проблема стоит при техническом обслуживании (ТО) техники, в том числе и сельскохозяйственной. Машинотракторный парк предприятий в настоящее время весьма разнороден по составу, техническому состоянию и возрасту. Предприятия технического сервиса, как правило, узко специализированы, и ожидать высокого качества обслуживания даже однотипных узлов на однофункциональных машинах разных фирм производителей не приходится. Тем не менее, сельскохозяйственные производители, не имея средств технического обслуживания, в условиях острого дефицита инженерных кадров, обращаются за услугами по техническому сервису к сторонним организациям. Вот здесь вопрос оценки качества клиентом или подтверждения обеспечения качества поставщиком становится острым, требующим разрешения.

Качество технического обслуживания становилось предметом исследований многих ученых [1]. Наиболее исчерпывающе этот вопрос проработан Соломкиным А.П. [2]. Он предложил качество

технического обслуживания оценивать по совокупности трех показателей: тщательности, полноте и своевременности.

Показатель своевременности относится к соблюдению нормативных значений периодичности обслуживания тех или иных узлов и подсистем машин [3]. Показатель полноты относится к уровню выполнения всего перечня операций ТО, прописанного в нормативно-технической документации [4]. Обеспечение полноты ТО также решается применением метода централизованного обслуживания группой специалистов, с распределением операций ТО между несколькими исполнителями, с тем, чтобы за небольшой промежуток времени остановки агрегата во время полевых работ выполнить весь перечень операций ТО [5].

Показатель тщательности наиболее сложен, он не может быть оценентолько определением доступности и удобства выполнения той или иной операции ТО. Конструкция сельскохозяйственной машины несомненно влияет на тщательность ТО, но без учета исполнителей ТО и применяемых ими технологий ТО оценка тщательности будет неполной [6].

Концептуальный проект системы технического сервиса

Известный концептуальный проект системы технического сервиса машинно-тракторного парка (МТП), включает в себя совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных ее элементов – процессов, происходящих в сельскохозяйственных машинах; технологий технического сервиса; исполнителей технического сервиса – определяемую и направляемую целью технического сервиса – поддержание работоспособности сельскохозяйственной техники [7].

Цель технического сервиса сводится к поддержанию такого значения коэффициента технического использования, при котором обеспечивается необходимая производительность МТП:

$$W_a = W_{час} K_{ти} \tag{1}$$

где $W_{час}$ – часовая производительность МТА, га/час;

$K_{ти}$ – коэффициент технического использования.

$$K_{ти} \geq K_{ти}^{треб} = K_{ти}^{б} K_{\mu} \tag{2}$$

здесь $K_{ти}^{б}$ = 0,75 - базовое значение коэффициента технического использования,

K_{μ} - коэффициент качества технического сервиса, определяемый по зависимости.

$$K_{\mu} = \prod_{1}^{n} \mu_i \,, \tag{3}$$

при i=1–5.

Здесь:

μ_1 – степень соответствия выполненных объемов работ требуемым объемам;

μ_2 – степень соответствия периодичности ТО требуемым значениям;

μ_3 – соответствие технологий ТО и Р процессам в подсистемах;

μ_4 – достаточность компетенций исполнителей для реализации технологий ТО и ремонта;

μ_5 – достаточность перечня работ, потенциально выполняемых исполнителями технического сервиса, для обслуживания определенного вида МТА.

Применяемые технологии ТО и Р должны соответствовать процессам в подсистемах (узлах, сборочных единицах) машин агрегатов:

$$\mu_3\{\sum_{j=1}^{M} TX_j\} \equiv b\{\sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l\} \tag{4}$$

где b – коэффициент пропорциональности, учитывающий степень сходства технологий ТО и Р различных машин агрегата,

TX_j – j-я технология из общего перечня технологий ТО и ремонта, $j = 1…M$.

Перечень работ, выполняемый группой исполнителей ТО и ремонта при техническом сервисе, определится:

$$V_{T.C.} = \sum_{i=1}^{N} N_i K_i \tag{5}$$

N_i – i-й исполнитель ТО и ремонта,

K_i – компетентность i-го исполнителя.

При этом компетенции исполнителей должны быть достаточны для реализации технологий ТО и ремонта:

$$\mu_4 \{ \sum_{i=1}^{N} N_i K_i \} \approx \{ \sum_{j=1}^{M} TX_j \} \tag{6}$$

Перечень работ, потенциально выполняемых исполнителями технического сервиса, должен быть достаточен для обслуживания определенного вида МТА:

$$\mu_5 \sum_{i=1}^{N} N_i K_i > \sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l \tag{7}$$

Как видно из приведенных нами рассуждений, тщательность ТО определяется произведением коэффициентов μ_3, μ_4, μ_5.

Рассмотренный проект системы технического сервиса является достаточным методологическим основанием для выработки показателя качества технического обслуживания и разработки системы мер по обеспечению этого качества [8-10]. Однако, оценка компетенций исполнителей технического сервиса может быть неполной из-за игнорирования возможностей доступных в настоящее информационных технологий.

Информационная система технического сервиса

С учетом рекомендаций [11], концептуальный проект технического сервиса может быть представлен в модифицированной форме, как функционирующая информационная система технического сервиса (рисунок 1).

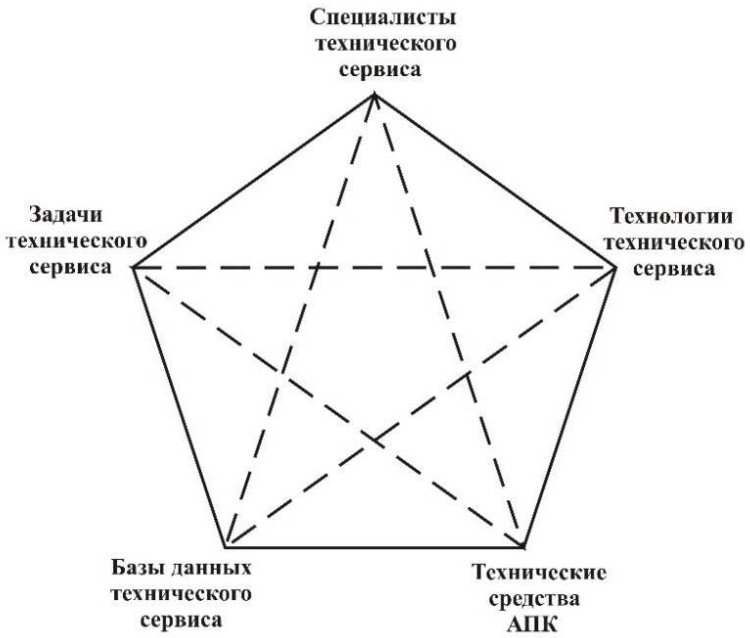


Рис. 1. Информационная система технического сервиса

Объем информации, содержащейся в базах данных технического сервиса, определится из следующего выражения:

$$\sum I = \sum_{q=1}^{Q} БД_q \tag{8}$$

$БД_q$ – q-я база данных из перечня имеющихся баз данных:

$БД_1$ – каталоги запасных частей; $БД_2$ – технологические карты на ТО и ремонт машин; $БД_3$ – нормы времени на ТО и ремонт; $БД_4$ – планы-графики ТО и ремонта; $БД_5$ – перечни обслуживаемой техники; $БД_6$ – готовые экспертные системы заводов-изготовителей по диагностированию и поиску неисправностей машин; $БД_7$ – открытые пользовательские экспертные системы; $БД_8$ – системы дистанционного контроля технического состояния машин; $БД_9$ – каталоги и перечни оборудования для диагностирования, ТО и ремонта; $БД_{10}$ – перечень фактически выполненных работ по ТО и устранению последствий отказов.

Перечень является открытым и по мере развития информационных технологий может пополняться и расширяться.

Главным элементом информационной системы технического сервиса являются специалисты технического сервиса. Элементы информационной системы технического сервиса находятся в определенной зависимости между собой.

Компетенции исполнителей определяют выбор реализуемых технологий ТО и ремонта:

$$\sum_{j=1}^{M} TX_j = f_1\{\sum_{i=1}^{N} N_i K_i\} \tag{9}$$

Реализуемые технологии ТО и Р определяют выбор обслуживаемых машин агрегатов:

$$\sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l = f_2\{\sum_{j=1}^{M} TX_j\} \tag{10}$$

Обслуживаемые машины агрегатов влияют на наполнение баз данных технического сервиса:

$$\sum_{q=1}^{Q} БД_q = f_3\{\sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l\} \tag{11}$$

Наполнение баз данных технического сервиса определяет потенциальный перечень задач технического сервиса:

$$\sum_{p=1}^{P} ЗТС_p = f_4\{\sum_{q=1}^{Q} БД_q\} \tag{12}$$

где $ЗТС_P$ – задачи технического сервиса, могут быть выраженными через перечень работ, необходимых для поддержания и восстановления работоспособности машин агрегатов.

Перечень задач технического сервиса оказывает влияние на формирование компетенций специалистов технического сервиса:

$$\sum_{i=1}^{N} N_i K_i = f_5\{\sum_{p=1}^{P} ЗТС_p\} \tag{13}$$

В свою очередь компетенции исполнителей оказывают влияние на выбор обслуживаемых машин агрегатов:

$$\sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l = \varphi_1\{\sum_{i=1}^{N} N_i K_i\} \tag{14}$$

Состав машинно-тракторного парка оказывает существенное влияние на перечень задач, решаемых техническим сервисом:

$$\sum_{p=1}^{P} ЗТС_p = \varphi_2\{\sum_{k,l=1}^{K,L} A_k MA_k S_l\} \quad (15)$$

Необходимые для решения задачи технического сервиса определяют выбор технологий ТО и ремонта:

$$\sum_{j=1}^{M} ТХ_j = \varphi_3\{\sum_{p=1}^{P} ЗТС_p\} \quad (16)$$

При реализации технологий ТО и ремонта образуется новая информация для наполнения баз данных технического сервиса:

$$\sum_{q=1}^{Q} БД_q = \varphi_4\{\sum_{j=1}^{M} ТХ_j\} \quad (17)$$

Базы данных технического сервиса повышают уровень компетенций специалистов технического сервиса:

$$\sum_{i=1}^{N} N_i K_i = \varphi_5\{\sum_{q=1}^{Q} БД_q\} \quad (18)$$

Таким образом, функционирование информационной системы технического сервиса может быть описано системой из уравнений (9–18).

Предлагаемое аналитическое описание информационной системы технического сервиса позволяет оценить весь спектр проблем обеспечения качества технического сервиса. Компетенции специалистов технического сервиса, являющихся главным звеном этой системы, формируются в соответствие с задачами технического сервиса, но они существенно дополняются и развиваются по мере наполнения баз технического сервиса. Наполнение, в свою очередь, осуществляется при функционировании самой системы технического сервиса. Чем интенсивнее функционирование, тем интенсивнее наполнение баз данных.

Список литературы

1. Трофимец, Н.Л. Совершенствование организации работ и услуг технического сервиса (На примере МТС «Хлебороб» Красноармейского района и хозяйств Красноармейского и Воскресенского районов Саратовской области): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Трофимец Наталья Львовна. – Саратов, 2006. – 20 с.
2. Соломкин, А.П. Формирование и обеспечение готовности тракторов (на примере тракторов «Кировец»): дисс. д-ра техн. наук: 05.20.03 / Соломкин Александр Прокопьевич. – Алексеевка, 1984. – 460 с.
3. Пасин, А.В. Обоснование и разработка методов эффективного использования резервных технологических комплексов в растениеводстве: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / Пасин Александр Валентинович. – Саранск, 2009. – 32 с.
4. Kobbacy, K.A.H. Complex System Maintenance Handbook / Khairy A.H. Kobbacy, D.N. Prabhakar Murthy / Springer Series in Reliability Engineering: London, Springer–Verlag Limited, 2008. – 657 s.
5. Редреев, Г.В. Обоснование процесса технического обслуживания тракторов группой исполнителей во время полевых работ: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Редреев Григорий Васильевич. – Челябинск, 1996. – 16 с.
6. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления совершенствования эксплуатации и ремонта машин и оборудования сельскохозяйственного производства: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01 / Лебедев Анатолий Тимофеевич. – Зерноград, 2012. – 32 с.
7. Редреев, Г.В. Обоснование концепции обеспечения работоспособности машинно-тракторных агрегатов. / Г.В.Редреев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: www.science–education.ru/122–22971 (дата обращения: 18.01.2018).

8. Моделирование нелинейной динамики глобальных процессов /Под. ред. И. В. Ильина, Д. И. Трубецкова. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 412 с.
9. Мухаметшин, А.А. Повышение эффективности использования тракторов путем оптимизации сроков и объемов ремонтно-обслуживающих воздействий (на примере хозяйств Республики Татарстан): автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Мухаметшин Альберт Ахатович. – Уфа, 2013. – 16 с.
10. ГОСТР 27.601–2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение. – М., Стандартинформ, 2013. – 36 с.
11. Разумов, В.И. Категориально- системная методология подготовки ученых: Учебное пособие / Вст. ст. А.Г. Теслинова / В.И.Разумов. – Омск, Омск гос. ун-т, 2004. – 277 с.

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСМИССИИ ГЕОХОДА ЭКСЦЕНТРИКОВО-ЦИКЛОИДАЛЬНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Д.С. Трухманов[1,2], ст. преп., инженер-констр. I кат., В.В. Аксенов[3], д.т.н., проф., Г.М. Дубов[1], к.т.н., доц.
[1]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя 28, тел. (3842) 68-23-14
[2]ООО «Центр транспортных систем», 650000, г. Кемерово, ул. Шахтерская 2, тел. (3842) 49-65-47
[3] Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» 652055, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451) 7-77-67
E-mail: trizart@mail.ru

Рассматривается состояние вопроса по темпам формирования подземного пространства в России. Проводится анализ недостатков имеющегося проходческого оборудования (щиты, комбайны). Отмечается, что перспективным способом проведения горных выработок является геовинчестерная технология, базовым функциональным элементом которой является геоход. Утверждается, что одной из ключевых систем геохода, определяющей его работоспособность, является трансмиссия. Отмечается, что реализованная в настоящее время в опытном образце геохода трансмиссия с гидроцилиндрами, имеет, как свои достоинства, так и недостатки. Это не позволяет считать трансмиссию с гидроцилиндрами оптимальным решением для её использования, при разработке геоходов нового поколения. Проводится обзор различных видов зубчатых зацеплений и делаются выводы о перспективности их применения в трансмиссии геохода.

Потребность в твердых полезных ископаемых в мире ежегодно возрастает на 0,6 -1,5% [1]. В программе развития угольной промышленности России планируется увеличение добычи угля до 500 млн. т. в год к 2030 г. [2]. Достижения указанных объемов возможно только при освоения новых месторождений Сибири и Дальнего Востока [2]. Это приведет к формированию значительной потребности в мобильной и высокопроизводительной горнопроходческой технике, поскольку строительство подземных выработок является одним из самых трудо- и капиталоемких процессов в производственной цепи в горнодобывающей промышленности.

Стоит также отметить, что работы, связанные с формированием подземного пространства, не ограничиваются добывающей промышленностью. Более подробные данные по объектам и объему рынка строительства подземных сооружений в России приведены в таблице 1. Темпы роста рынка строительства подземных выработок в России в натуральном выражении составляют от 9 до 27% [3], в то время, как доля подземного строительства в общем объёме строительных работ находится на уровне 20-25% [3].

Таблица 1

Объем рынка строительства подземных сооружений в России, 2012 – 2015 гг., км [3]

Объекты подземного строительства	Средние диаметры, м	2012 г., км	2013 г., км	2014 г. *, км	2015 г. *, км
Тоннели метрополитена	от 5,5	30,0	48,0	52,0	98,0
Автодорожные тоннели	от 7 до 12	16,5	12,0	14,0	11,1
Ж/д тоннели	от 5	4,0	4,2	6,4	6,8
Технические тоннели (трубно-кабельные коллекторы, трубопроводы)	от 2 до 6,5 (чаще до 4)	428,8	566,9	621,4	685,7
Угольные шахты	от 4	39,1	40,3	42,3	43,5
Рудники твердых пород (включая калийные соли)	от 6,5	55,9	57,6	60,4	62,1
Туннели ГЭС (гидротехнические)	от 2 до 6	-	-	-	-
Прочие объекты	до 4	57,4	72,9	79,7	90,7
Всего		574,3	729,0	796,5	907,2

*Данные за 2014 и 2015 гг. в [1] приведены в качестве прогнозных, т.к. исследование проводилось в конце 2014 г.

Проведение вышеуказанного объема выработок проводилось и планируется проводиться проходческими щитами и комбайнами. Однако, ввиду ряда конструктивных особенностей, в указанных проходческих агрегатах, напорные и тяговые усилия развиваются в основном за счет массы, а в их основе лежат схемные и конструктивные решения, разработанные еще в середине прошлого века. Поэтому, повышение производительности достигается преимущественно за счет увеличения мощности и металлоемкости (например, масса проходческого комбайна JOY 12HM36 составляет 120 тонн). Это приводит к снижению маневренности и скоростей проходки, сложности обеспечения безопасности в призабойной зоне, ограничивает применимость данного вида оборудования по углам наклона проводимой выработки. Появление указанных недостатков делает применение традиционного проходческого оборудования нерациональным для достижения объемов выработки, продиктованных текущими потребностями промышленности.

Альтернативным способом проведения горизонтальных и наклонных горных выработок является геовинчестерная технология (ГВТ) – процесс механизированного строительства подземных выработок с вовлечением приконтурного массива горных пород (геосреды), за счет формирования системы законтурных каналов [4-6]. Помимо обозначенных выше задач, связанных со строительством подземных выработок, еще одним назначением ГВТ может служить проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий техногенных катастроф и в чрезвычайных ситуациях на горнодобывающих предприятиях [6]. Проходческим агрегатом, реализующим ГВТ является геоход [3-8]. В настоящее время ведутся работы по созданию нового поколения геоходов и его систем [9-14].

Для движения геохода, как и любого движущегося агрегата, необходима трансмиссия – механизм, осуществляющий преобразование энергии от силовой установки и передающий требуемое усилие на внешний движитель. Именно трансмиссией геохода определяются предельные значения развиваемого вращающего момента и скорость движения в геосреде.

Ранее, в опытном образце геохода была реализована трансмиссия с гидроцилиндрами, расположенными по хордам и работающими в противофазе [15]. Для достижения равномерности движения, гидроцилиндры работают попеременно - когда штоки гидроцилиндров одной группы выдвигаются, штоки другой группы совершают обратный ход [15]. Одна из компоновочных схем, реализующая описанный принцип работы, представлена на рис. 1. Аналогичная схема была реализована в опытном образце геохода, но с группировкой гидроцилиндров в двух плоскостях.

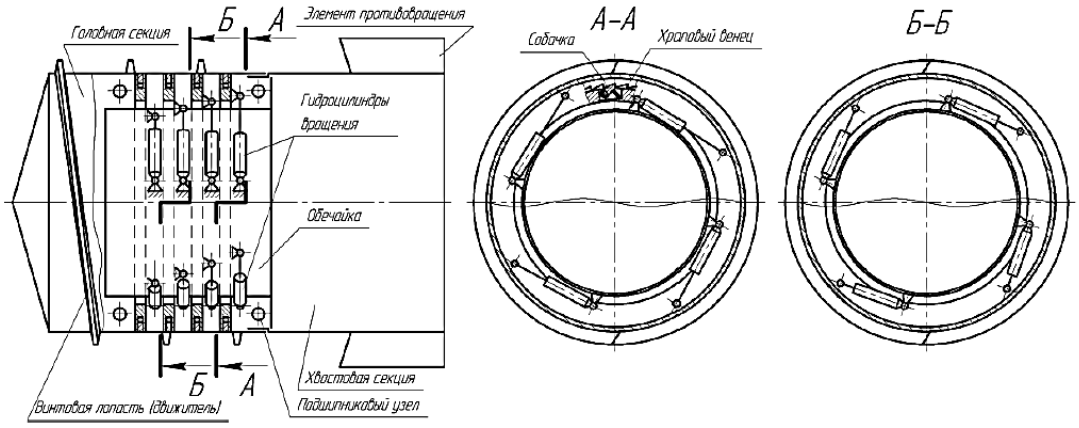


Рис. 1. Компоновочная схема с разными фазами выдвижения гидроцилиндров, сгруппированных в четырех плоскостях [15]

Очевидные достоинства данного решения [7, 15]:

- возможность развивать высокие вращающие моменты;
- возможность непрерывного движения геохода;
- обеспечения необходимого свободного пространства внутри геохода;
- снижение массогабаритных характеристик;
- удобство управления.

Однако, несмотря на перечисленные достоинства трансмиссии геохода с гидроцилиндрами, в ней также имеется ряд существенных недостатков, главные из которых [7, 15]:

- высокие требования к точности изготовления и сложность монтажа и ремонта в стесненных условиях призабойной зоны при строительстве подземных выработок;
- сложность достижения непрерывного движения геохода;
- сложность синхронизации гидроцилиндров из-за особенностей гидравлических систем;
- при непрерывном вращении в формировании крутящего момента участвует только часть гидроцилиндров;
- сложность организации реверсивного движения геохода;
- закрутка рукавов высокого давления (РВД) в процессе вращения головной секции.

Наличие данных недостатков не позволяет считать трансмиссию с гидроцилиндрами наиболее подходящим решением для применения в качестве трансмиссии геоходов нового поколения и создает предпосылки к проведению дальнейших исследований в данной области и рассмотрению другого типа трансмиссии.

Одним из способов решения обозначенных проблем может стать создание трансмиссии геохода на зубчатой передаче. В частности, при применении зубчатой передачи упрощается монтаж и ремонт, отсутствуют проблемы, связанные со сложностью реализации непрерывности движения геохода и его реверса, а также специфические проблемы, характерные для гидравлического оборудования. Однако, далеко не все виды зубчатых передач могут быть использованы в качестве высоконагруженных передач, к тому же, в агрессивной среде работы, которая, безусловно, возникает при строительстве подземных выработок.

Самой распространенной является зубчатая передача с эвольвентным зацеплением. Однако, несмотря на все достоинства, данный вид зацепления имеет и недостатки, связанные, в первую очередь, с относительно невысокой несущей способностью, определяемой размерами зубьев, а также ограничением по величине передаточного отношения в одной ступени - на практике оно редко бывает больше 7.

Наиболее известные среди видов зубчатых зацеплений, обладающих рядом преимуществ перед эвольвентным, являются циклоидально-цевочное зацепление [16] и зацепление Новикова – Вильбхабера [16]. Однако, эти зацепления не нашли широкого применения, т.к. имея более высокую нагрузочную способность и повышенный КПД, они уступают эвольвентному, в частности, по технологичности. Поскольку, они гораздо более чувствительны к изменению межосевого расстояния, и для них требуется более высокая точность изготовления.

В последнее время получают распространение механизмы с новой зубчатой передачей – эксцентриково-циклоидальным (ЭЦ) зацеплением. В частности, на базе данного зацепления были произведены и введены в эксплуатацию [17]: осевой тяговый редуктор железнодорожного локомотива МПТ6, главная передача БелАЗ-7555, тяговый редуктор подземного электровоза К-25, а также открытые редукторы градирен, дожимной компрессор на нефтепромыслах, шестеренчатый мультифазный насос, погружной насос для нефтедобычи, насос подачи бурового раствора, редуктор ветро-энерго установки, паровые турбины, ЭЦ-ДВС, рулевая колонка ДРК-8500Л, усилитель крутящего момента УКМ1700, вертолетный редуктор, редукторы карьерных экскаваторов, редуктор вращения антенны и др.

Торцевое сечении рабочей части зуба ведущего колеса ЭЦ-зацепления представляет собой окружность, эксцентрично смещенную относительно оси вращения колеса, а зубы ведомого колеса имеют профиль в виде циклоидальной кривой (см. рис. 2-3) [18-20]. Благодаря такой конструкции, зубья в ЭЦ-зацеплении работают на смятие [16-18, 21], а не на изгиб, как в эвольвентном, что позволяет обеспечить широкий диапазон передаточных отношений, при минимальной массе редуктора на единицу передаваемого момента. Увеличенное за счет округлой формы зуба пятно контакта - позволяет уменьшит удельное давление и увеличить тем самым несущую способность зубьев [16-17]. А постоянный контакт колес в зацеплении – позволяет избавиться от шума и вибрации [16-17].

Рис. 2. Редуктор с ЭЦ-шестернями [17]

Согласно результатам компьютерного моделирования, проведенного в работе [21] - ЭЦ-зацепление допускает значительно большие отклонения от расчетного межосевого расстояния, нежели эвольвентное, а расположение пятна контакта на поверхности зубьев позволяет выполнять вершины и впадины зубьев произвольной формы. Все это позволяет значительно снизить площадь поверхностей, требующих точной обработки.

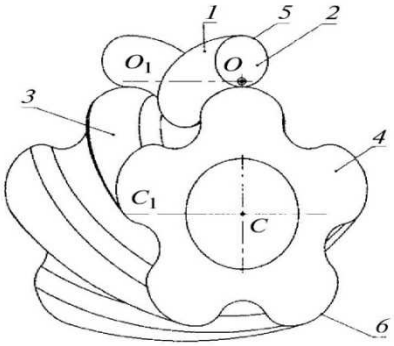


Рис. 3. Поверхности зубьев колеса идеального зацепления [20]
1 – винтовая поверхность колеса; 2, 3 – винтовая поверхность зубьев колеса; 4, 5 – эксцентрично смещенная окружность; 6 – циклоидальная кривая в торцевом сечении колеса 4.

В рамках аванпроекта Фонда Перспективных Исследований в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (г. Санкт-Петербург) были проведены сравнительные испытания с тестовым редуктором 5Ц2-125-12,5 с эвольвентным зацеплением производства АО «ЗАРЕМ» [28]. В ходе испытаний было выявлено, что КПД в ЭЦ-редукторе на 2% выше, а предельный момент на слом больше на 25% [17].

Также, авторами [22] отмечается, что несмотря на отсутствие фактических доказательств по некоторым из заявленных характеристик ЭЦ-зацепления, его производство является более технологичным, нежели других видов зацепления, и способно осуществляться на менее дорогостоящем оборудовании.

Отсутствие технически и научно обоснованных решений трансмиссии геохода с зубчатой передачей и методик определения ее параметров сдерживает работы по созданию геоходов нового поколения, ведущиеся в настоящее время. Проведенный анализ зубчатых зацеплений, позволяет сделать предварительный вывод о том, что ЭЦ-зацепление является одним из самых перспективных для применения его в трансмиссии геоходов. Поэтому исследования, направленные на возможность использования в трансмиссии геохода эксцентриково-циклоидального зацепления, являются актуальными.

Список литературы

1. Опарин, В.Н. Состояние и проблемы минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых России [Текст] / В.Н. Опарин, А.М. Фрейдин, А.П. Тапсиев, П.А. Филиппов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых / Новосибирск: ФГУП, 2013. - №4. – С. 173-181.
2. Дубов, Г.М. Сравнительный анализ оснащенности угольных предприятий горношахтным оборудованием отечественного и импортного производства [Текст] / Г.М. Дубов // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении (ТЭК-2017): сборник трудов международной науч.-практ. конф. 18-21 апреля 2017 года / под ред. А.Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – С. 45 - 50.
3. Маркетинговое исследование рынка проходческих щитов и оценка объемов работ по строительству подземных выработок (сооружений) в России, 2012 – 2015 гг. / Megaresearch. – Москва, 2014.
4. Аксенов, В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2004, 264 с., с ил.
5. Аксенов, В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. док. техн. наук. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2005. - 307 с.
6. Аксенов, В.В. К вопросу о создании новой технологии аварийно-спасательных выработок при ликвидации техногенных катастроф / В.В. Аксенов, В.Ю. Тимофеев, А.В. Сапожкова, В.Ф. Горбунов // Горный информационный аналитический бюллетень. Промышленная безопасность и охрана труда на предприятиях топливно-энергетического комплекса / Москва: МГГУ, 2011 – ОВ №9. – С. 60-68.
7. Ефременков, А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. док. техн. наук. – Кемерово: КузГТУ, 2016. - 314 с.
8. Аксенов, В.В. Геовинчестерная технология и геоходы - инновационный подход к освоению подземного пространства / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал / Екатеринбург: УГГУ, 2008. – С. 19-28.
9. Аксенов, В.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы / В.В. Аксенов, В.Ю. Бегляков, М.Ю. Блащук, А.Б. Ефременков, А.А. Казанцев, А.А. Хорешок, А.В. Вальтер // Горное оборудование и электромеханика / Москва: Изд-во «Новые технологии», 2016. - №8(126). – С. 3-8.
10. Аксенов, В.В. Геоходы - основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники [Текст] / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Б. Еферменков, А.А. Казанцев, В.Ю. Бегляков, А.В. Вальтер // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. трудов V Международной науч.-практ. конф. / Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А., Прокопьевск, 2016. – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевск, 2016. – С. 277-288.
11. Бегляков В.Ю. Определение сил взаимодействия основных систем геохода с геосредой и между собой / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов, И.К. Костинец, А.А. Хорешок // Горные науки и технологии / Москва: НИТУ «МИСиС», 2017. - №4. – С 23-28.
12. Аксенов, В.В. Общая структура и требования к системе управления геоходом / В.В. Аксенов, И.В. Чичерин // Вестник КузГТУ. – 2017. - №6 (124). - С. 41-47.
13. Бегляков, В.Ю. Разработка законтурной опорно-движительной системы геоходов / В.Ю. Бегляков, В.В. Аксенов, А.А. Казанцев, И.А. Костинец // Вестник КузГТУ. – 2017. - №6 (124). - С. 175-181.
14. Коперчук, А.В. Варианты стартовых систем геохода / А.В. Коперчук, В.В. Ворошилов / Перспективы инновационного развития угольных регионов России: сб. трудов V Международной науч.-практ. конф. / ответственные редакторы Пудов Е.Ю., Клаус О.А., Прокопьевск, 2016. – Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске. - С. 130-132.

15. Блащук, М.Ю. Гидравлические трансмиссии геоходов: монография / М.Ю. Блащук, В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 123 с.
16. Становской, В.В. Двухступенчатый редуктор на основе эксцентриково-циклоидального зацепления (зацепление excygear) [Текст] / В.В. Становской, С.М. Казакявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов, А.М. Бубенчиков, Н.Р. Щербаков, Й. Шмидт // Вестник машиностроения. – 2011. - № 12. – С. 41-44.
17. Технология Маркет [Электронный ресурс] / ЗАО «Технология маркет». – Сайт компании. - Томск, 2018. – Режим доступа: http://www.ec-gearing.ru/index.php
18. Становской, В.В. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых колес и механизмы на его основе / В.В. Становской, С.М. Казакявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов // Теория и практика зубчатых передач и редуктростроения: сб. докл. научно-тех. конф. / ИжГТУ. – Ижевск, 2008. – С. 148–152.
19. Пат. 2439401. Российская Федерация. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты) / Становской В.В., Казакявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М., Становской А.В.; заявитель и правообладатель Становской В.В. - № 2010103071/11; заявл. 29.01.2010; бюл. № 22, 2012.
20. Пат. 2416748. Российская Федерация. Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты) / Становской В.В., Казакявичюс С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М., Становской А.В.; заявитель и правообладатель Становской В.В. - № 2010103286/11; заявл. 01.02.2010; бюл. № 11, 2011.
21. Казакявичюс С.М. Работоспособность эксцентриково-циклоидального зацепления при изменении межосевого расстояния колес. Модификация вершин и впадин зубьев / С.М. Казакявичюс, В.В. Становской, Т.А. Ремнева // Вестник машиностроения. – 2011. - №3, стр. 7-9.
22. Леонтьев, М.Ю. Обзор достоинств и недостатков эксцентриково-циклоидального зацепления [Текст] / М.Ю. Леонтьев, В.А. Раевский, А.Е. Смоловик // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 7-5. С. 54 – 57.

ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ В АПК С УЧЕТОМ ИННОВАЦИЙ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ

В.Н. Есаулов, к.э.н., доцент, Семеренко И.А., студент, гр.17Б41.
Юргинский технологический институт (филиал)Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32,
E-mail: elaresy@mail.ru

В статье подняты актуальные вопросы продовольственной безопасности страны при существующих санкциях. Трудности импортозамещения рассмотрены в рамках российского агропромышленного комплекса (АПК). Обозначены существующие проблемы в сельскохозяйственном секторе экономике и предложены пути их преодоления. Исследованы направления инноваций в сельском хозяйстве, эффективные технологии в АПК, а также факторы, сдерживающие их внедрение в производство. Даны рекомендации доведения инноваций до производства.

The article raised topical issues of food security of the country under existing sanctions. Difficulties of import substitution were considered within the framework of the Russian agroindustrial complex (AIC). The article identified the existing problems in the agricultural sector of the economy and proposed ways to overcome them. The directions of innovations in agriculture, effective technologies in the agroindustrial complex, as well as the factors that inhibit their introduction into production are studied. There are given recommendations for bringing innovations to production.

Продовольственная безопасность – это продовольственная независимость России при стабильном отечественном производстве пищевой продукции в необходимых объемах для внутреннего потребления [1]. Продовольственная безопасность основывается на ускоренном развитии и модернизации агропромышленного комплекса, «государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей», «предотвращения истощения и сокращения площадей сельскохозяйственных земель и пахотных угодий» [2], это одно из основных составляющих безопасности нашей страны. Земля, при рачительном использовании, становится неиссякаемым источником благополучия каждого государства.

В условиях санкций особенно важно суметь использовать создавшиеся проблемы в свои преимущества. Для этого необходимо энергично встать на путь импортозамещения, активно занимать освободившиеся места на рынке продовольствия [3]. При этом развивается отечественное производство, сокращается безработица, создаются новые рабочие места. До сих пор актуально и современно высказывание французского философа Жан-Жака Руссо: «Единственное средство удержать госу-

дарство в состоянии независимости от кого-либо – это сельское хозяйство. Обладай вы хоть всеми богатствами мира, если вам нечем питаться – вы зависите от других. Торговля создает богатство, но сельское хозяйство обеспечивает свободу» [4].

Эффективность функционирования агропромышленного комплекса оценивается величиной сельскохозяйственного продовольствия дошедшего до покупателя и чем меньше разница между произведенным продуктом и продуктом полученным потребителем, тем эффективнее деятельность АПК. Заключительные технологические операции в сельском хозяйстве: уборка урожая, его сохранение, при ненадлежащем исполнении приводит к необратимым потерям или ухудшению качества продукции.

Импортозамещение предполагает создание новых и модернизацию старых сельскохозяйственных структур. В национальном докладе отмечено, что главной причиной неиспользования бюджетных средств стала несвоевременность представления необходимых документов для получения субсидий [5].

На неблагополучные инвестиционные условия в АПК влияет невысокая рентабельность сельских хозяйств, что не дает им возможности пользоваться льготным кредитованием и наращивать свое производство. В развитых странах для осуществления крупных программ инновационной деятельности применяют проектное финансирование, которое предполагает большое количество инвесторов. При этом каждый участник инвестирования заинтересован в коммерциализации инноваций и получение в дальнейшем прибыли. Госпрограмма развития сельского хозяйства своей целью определяет обеспечение продовольственной независимости России [6]. Постановлением от 13 декабря 2017 года № 1544 эта Госпрограмма переводится с 2018 года на проектное управление. Метод проектного финансирования у нас в стране недостаточно развит, но зарубежный опыт в этом направлении довольно успешен.

Тракторы являются основным средством в сельском хозяйстве, создающим возможность передвижения сельскохозяйственной техники, механизации производства. Требуемая обеспеченность сельхозпроизводителей тракторами зависит продовольственная безопасность страны. К сожалению, полной оснащенности тракторами и другой сельскохозяйственной техникой АПК пока нет.

Сравнение результатов Всероссийской сельскохозяйственной переписи, проведенной в 2016 году, с такой же переписью в 2006 года показало, что количество техники уменьшилось, количество обрабатываемой земли сократилось, нет притока молодежи в сельское хозяйство, сокращение работающих с 2,4 млн человек до 1,3 млн. человек. Это может объясняться низкой зарплатой, трудностью социально-бытовых условий, непрестижностью сельского труда, дефицитом образовательных, медицинских учреждений, обслуживающей и досуговой инфраструктуры, в соответствии с требованиями современного человека. Сельское хозяйство – приоритетная отрасль экономики страны, поэтому государство должно принять участие в становлении отечественного АПК путем льготного кредитования, инвестиций; ограничить импорт продовольственной продукции, особенно опасных для здоровья.

Продовольственная безопасность любой страны состоит в защите отечественного товаропроизводителя, обеспечения качественных и доступных продуктов питания, независимость от импорта, гарантированное сохранение стратегических запасов продовольствия.

Производство зерна в стране является индикатором, характеризующим состояние земледелия в целом.

В 2017 году получен рекордный урожай зерновых - 130 млн тонн (2016 год - 116 млн тонн, 2015 год – 104,8 млн тонн). По мнению министра сельского хозяйства РФ Ткачева А.Н. урожай зерновых в 2017 году не предел, Россия должна производить зерна до 150 млн тонн, поскольку зерновой баланс в развитых странах считается оптимальным из расчета 1 тн на человека [7].

Таблица 1

Продукция сельского хозяйства Российской Федерации
(в хозяйствах всех категорий; в фактических ценах; млн. рублей)

Годы	Сельское хозяйство	в том числе		Отчетный год в % к предыдущему году		
		растение-водство	животно-водство	сельское хозяйство	растение-водство	животно-водство
2010	2587751	5653953	1396276	100,0	100,0	100,0
2011	3261695	1703455	1558240	126,0	143,0	111,6
2012	3339159	1636381	1702778	102,4	96,1	109,3
2-13	3687075	1918774	1768301	110,4	117,3	103,8
2014	4319050	2222464	2096586	117,1	115,8	118,6
2015	5164877	2791370	2373507	119,6	125,6	113,2
2016	5505755	3035819	2469936	106,6	108,8	104,1
2017	5653953	3033160	2620793	102,7	99,9	106,1

Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии)

Таблица 2

Посевные площади в хозяйствах всех категорий Российской Федерации

	Площади, тыс. гектаров						
	2010 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Вся посевная площадь	75188	76325	78057	78525	79319	79993	80617
Посевная площадь в % к предыдущему году		101,5	102,3	100,6	101,0	100,8	100,8
Посевная площадь в % к 2010 году		101,5	103,8	104,4	105,5	106,4	107,2

Из таблицы 1 можно сделать вывод: рекордный урожай зерновых в 2017 году спровоцировал понижение цен – продукция растениеводства в фактических ценах 2017 года к продукции растениеводства в фактических ценах 2016 года составила 99,9%. Таким образом, видим, что цены на оптовую муку падают, а цена на хлебобулочные изделия и розничные цены на муку растут. Из-за отсутствия возможности сохранить качественное зерно крестьяне вынуждены продавать его посредникам дешево, при этом небольшие хозяйства несут существенные потери.

При рассмотрении таблиц 1 и 2 можно сделать вывод, что рост продукции растениеводства РФ выше, чем рост посевных площадей, т.е. в настоящее время сельское хозяйство страны идет по пути интенсивного производства: использование современных инноваций, выполнение всех агротехнологий, увеличения производительности, повышения эффективности и рентабельности.

Рекордный урожай зерновых прошлого года выявил и существующие проблемы. Во-первых, недостаточное количество современных элеваторов, обеспечивающих длительное и хорошее хранение, абсолютную сохранность, при этом улучшается качество зерна, проходящего сушку. Срок хранения зерна в элеваторах 3 года. Изношенность элеваторов в стране достигает 70%, а убытки при хранении зерна в амбарах доходят до 40% [8]. Строительство элеваторов хороший бизнес, но он доступен только крупным инвесторам. Здесь необходима поддержка государства.

В сельском хозяйстве наблюдается уменьшение техники. Несмотря на оснащение отрасли современными техническими средствами, передовыми технологиями их количество недостаточно, что приводит к потерям урожая, снижению его качества.

При интенсивном ведении сельского хозяйства в России и определенных достижений, есть еще много неиспользованных резервов. В Кузбассе уже десятки лет используют посевной комплекс «Конкорд», который за один проход производит «обработку и подготовку почвы, посев, боронование и прикатывание почвы» [9]. Ширина посева 15 см, это обеспечивает более дружные всходы. «Конкорд» после первого же испытания показал замечательные результаты – урожайность была на 4-5 центнеров выше с одного гектара, при посевной один комплекс сэкономил 50 тн семян, горючее, на обслуживании техники [10]. Аналогом «Конкорда» является посевной комплекс «Кузбасс», в основном все комплектующие изделия и детали этого агрегата производятся в России, поэтому его стоимости ниже в несколько раз, чем зарубежные аналоги. Достоинства «Кузбасса»: расход горючего снижается в 2 раза, потребность в обслуживающем персонале – в 5 раз, производительность увеличивается в 3 раза. Эта передовая технология активно внедрена в Кузбассе – 70% посевных площадей обрабатываются по этому методу. В соседних областях этой инновацией охвачено 15% пашни.

Сравним энергообеспеченность и урожайность зерновых в РФ и других странах в среднем за последние пять лет [11]:

Таблица 3

Показатели	Страны ЕС	США	Германия	Беларусь	Россия
Энергообеспеченность, л.с./га	5,0	8,5	4,5	5,0	1,5
Урожайность, ц/га	69,2	68,6	51	31,9	21,1

Оснащение основными видами техники в ряде стран мира (тракторами на 1000 га пашни, комбайнов на 1000 га посевов) [11]:

Таблица 4

Показатели	Страны ЕС	США	Канада	Беларусь	Казахстан	Россия
Тракторы	85,0	25,9	16,0	9,3	6,4	3,6
Зерноуборочные комбайны	11,5	17,9	7,0	5,0	2,8	2,5

Парк сельскохозяйственной техники в России с более, чем десятилетним сроком эксплуатации доходит до 60%, доля импортной тракторов в среднем превышает 60%, а по виноградничеству и садоводству почти 100% импорт. Свеклоуборочные комбайны также в основном импортного производства. По прогнозам Министерства сельского хозяйства по приобретению новой техники в 2018-2020 годах дефицит основных сельскохозяйственных машин может быть закрыт на 40% [11].

Для поддержки сельскохозяйственных структур необходимо своевременное введение льгот по налогообложению. По программе финансового оздоровления [12] помощь с 2003 по 2015 год получили свыше 13 тысяч сельских товаропроизводителей.

Необходимо срочно обновлять технологическое оборудование в перерабатывающей промышленности, где физический и моральный износ достиг 50%. Здесь также нужна помощь государства, поскольку переработанное зерно в белковую муку, крахмал, биодобавки и другое более прибыльно продавать, чем само зерно за границу.

В настоящее время недостаток сельскохозяйственной техники в России превышает 20% [11]. При существующих санкциях эту ситуацию нужно срочно исправлять и создавать свою сельскохозяйственную технику на уровне лучших зарубежных аналогов, для этого в России все есть: талантливые ученые, квалифицированные специалисты, опытные рабочие кадры, инновационные технологии. Сельскохозяйственные вузы страны выпускают достаточное количество специалистов для сельского хозяйства, но не все они работают по специальности. АПК нуждается в опытных топ-менеджерах, заинтересованных в эффективной работе сельхозпроизводителей.

Сейчас все более актуальными становится исследование, разработка и производство агротехнологических роботизированных комплексов (GreeBot) с использованием навигационных технологий, в том числе с использованием системы ГЛОНАСС. Этот робот сможет провести анализ почвы, рыхление, лазерную прополку, полив, уборку урожая. Зарубежного аналога этой техники нет [13].

Есть перспективные исследования повышения урожайности различных культур путем электромагнитного воздействия при предпосевной обработке семян. При этом повышается всхожесть, уровень полезных веществ, уменьшается уровень нитратов, увеличивается урожайность у зерновых культур на 9-15%, овощных – на 10-24%. Однако отсутствие средств для выпуска даже опытных партий этих электротехнических установок тормозит внедрение этого новшества в сельском хозяйстве [14].

Ученые-аграрии имеют много открытий, предложений по эффективности сельского хозяйства. Однако не каждый создатель инноваций имеет возможность довести самостоятельно свои научные разработки до потребителя. Поэтому эти инновации подчас остаются невостребованными, поскольку неудовлетворительно работает механизм, который довел бы новации до конечного пользователя, до технологического процесса в сельской отрасли. Этот вопрос на мировых площадках решается путем трансфера, т.е. передачи инновационных знаний в соответственный центр, который доводит новации до производства [15].

Еще раз следует подчеркнуть, что низкое внедрение инноваций в АПК сдерживается невысокой прибыльностью малого и среднего бизнеса сельскохозяйственной отрасли экономики.

Список литературы

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 30.01.2010 № 120.
2. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 года № 683.
3. Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. Под редакцией Кривова В.Д. Аналитический вестник № 34 (633). Москва, 2016. – 91 с.
4. РуссоЖ.Ж. Великие мысли великих людей. - М.: 2008. – 650 с.
5. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2016 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы».

6. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья, продовольствия на 2013-2020 годы, утверждена постановлением Правительства от 14 июля 2012 года № 717.
7. Ткачев А.Н. Урожай-2016 в цифрах и фактах. Информационное агентство ТАСС [Электронный ресурс]. URL: http://www.tass.ru/ekonomika/3781343 (дата обращения 21.03.2018)
8. Способы хранения зерна. [Электронный ресурс]. URL: http://www.biohim.com.ru/articles/sposoby-khranjenija-zjerna/ (дата обращения 21.03.2018).
9. Землянка К. Посевной комплекс конкорд. [Электронный ресурс]. URL: http://miragro.com/posevnoi-kompleks-konkord.html (дата обращения 22.03.2018).
10. Алехин И. Кузбасская агрореволюция. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kuzbass85.ru/2012/05/23/k uzbasskaya-agrorevolyutsiya/ (дата обращения 24.03.2018)
11. Об обеспечении сельскохозяйственных товаропроизводителей техникой. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Департамент растениеводства, механизации, химизации и защиты растенний [Электронный ресурс]. URL: http://www.media.rspp.ru/document/1/ f/2/f28b3 bc257cafeb9ca24aa47624b2916.pptx (дата обращения 22.03.2018).
12. Федеральный закон от 9 июля 2002 г. № 83-ФЗ «О финансовом оздоровлении сельскохозяйственных товаропроизводителей».
13. Балабанов В.И., Димитров Д.М.,Сабиров И.Х. Разработка агротехнологического роботизированного комплекса //Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1. С. - 107-110.
14. Иноземцев Г.Б. Проблемы и перспективы практического применения электромагнитной энергии в процессах ускорения развития растительных объектов //Инновации в сельском хозяйстве. 2016. - № 3 (18). – С. 13-17.
15. Горпинченко К.Н. Коммерциализация и трансфер инноваций в зерновом производстве //Научный журнал КубГАУ. 2014. - № 101 (07). – С. 1598-1611.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗМА

О.И. Богданов, аспирант, Е.Н. Пашков, к.т.н., зав. кафедры ТПМ
Томский политехнический университет
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56
E-mail: ru.oleg.tom@gmail.com

Представлена модель гидроимульсного механизма бурильных машин с двумя колебательными контурами. Описана реальная установка, собираемая на кафедре ТПМ с компонентами, используемыми при сборке. Представлена математическая модель гидроимпульсного механизма с его оптимальными параметрами. Определены проблемы возникшие в процессе проектирования и сборки модели, а также пути их решения.

A model of the hydraulic mechanism of drilling machines with two oscillatory circuits is presented. A real installation, assembled at the TPM department with components used in the assembly, is described. A mathematical model of the hydroimpulse mechanism with its optimal parameters is presented. The problems encountered in the design and assembly of the model, as well as the ways to solve them, are identified.

В настоящее время при разработке месторождений полезных ископаемых, в строительстве, для бурения шпуров и скважин в горных породах, для разрушения каменных и бетонных блоков, твердых покрытий, забивки свай и труб широкое применение находят буровые машины ударно-вращательного действия. Перспективным направлением развития таких машин является их создание на основе безбойкового гидроимпульсного механизма.

В Томском Политехническом Университете в 1976 году под руководством О.Д. Алимова и В.Ф. Горбунова, Л.А. Саруевым, П.Я. Крауиньшом и другими был создан опытный образец безбойкового гидроимпульсного механизма для разрушения массива горных пород. Но по ряду причин, во многом организационных и не связанных с его технической сущностью, он не был доведен до конца. Однако идеи, заложенные в его конструкцию, не потеряли своей актуальности, и могут являться основой для дальнейшего развития этого перспективного направления. Так на сегодняшний день с целью проведений ряда научных экспериментов появилась необходимость создать максимально приближенную к реальному (промышленному) опытную модель гидроимпульсного механизма. Конструированием и сборкой занимаются студенты, аспиранты и научно-преподавательский коллектив

кафедры теоретической и прикладной механики ТПУ. Зиякаевм Г. Р., Пашковм Е. Н. и Новосельцевой М. В. в трудах [1,2,3] была рассчитана математическая модель гидроимпульсного механизма, использованы метод моделирования динамических процессов, метод планирования экспериментов и обработки результатов, а также использованы классические положения теоретической механики и гидромеханики. Рассчитано что эффективная работа гидроимпульсного механизма в качестве буровой головки достигается при граничных значениях параметров в следующих пределах: сила поджатия от 10 до 17 кН; жесткость пружины поджатия от 40 до 60 кН/м; инерционная масса от 20 до 50 кг [3]. После создания реальной модели планируется испытать его используя эти данные и сравнить результат с математическим. В системе будут доступны к изменениям следующие параметры гидроимпульсного механизма: жесткость пружины, сила поджатия, активная масса. Благодаря этим переменным будет возможно подобрать иные значения параметров для получения идеальных импульсов и конечного усилия на породоразрушающий инструмент. За основу будущего чертежа была взята схема с использованием металлической пружины как наиболее доступная.

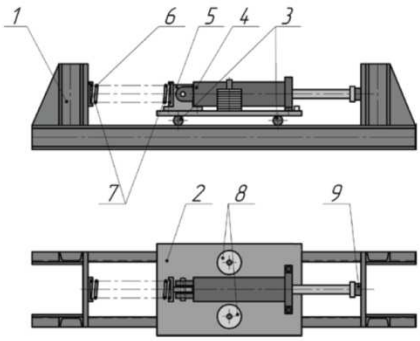


Рис. 1. Схема механической части экспериментального стенда: 1 – рама; 2 – подвижное основание; 3 – ролики; 4 – гидроцилиндр; 5 – стойка; 6 – пружина; 4 – стаканы; 8 – грузы; 9 – измеритель силы.

Основными составляющими компонентами для сборки модели являются жесткая рама, гидроцилиндр, рукав высокого давления, гидропульсатор, пружины, датчики, фитинговые соединения, винтовая пара. Материальная база, а также ресурсы кафедры ТПМ позволили обойтись минимальными затратами на недостающие компоненты. Были использованы имеющиеся на кафедре трехплунжерный буровой насос в качестве гидропульсатора вынужденных колебаний, металлический шкаф путем доработки использовался в качестве рамы, винтовая пара была взята с разобранной машины по испытанию на растяжение-сжатие. Прочие металлические конструкции уголки, швеллера, пластины были использованы для укрепления, фиксации и создания направляющих. Саруевым Л.А. на экспериментальной модели 1976 года было определено образовывающееся давление в гидроцилиндре равное около 200 атм. Исходя из этого положения было принято решение приобрести гидроцилиндр МС100/50х250-3.72 с максимально отвечающими необходимым параметрами.

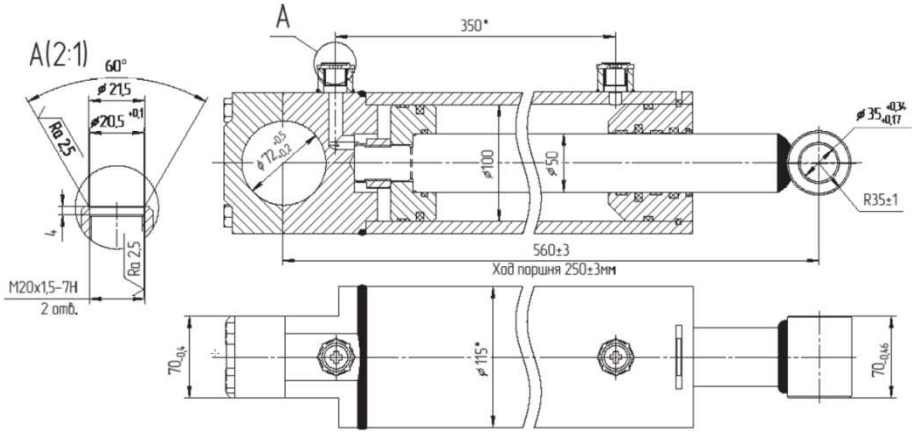


Рис. 2. Гидроцилиндр МС100/50х250-3.72 производства «Гидросила». Диаметр поршня: 100 мм, максимальное давление: 20 Мпа.

Также были закуплены или изготовлены необходимые фитинговые соединения и рукав высокого давления l=1.5 м, P_{max}=200 атм. Кроме того, для фиксации импульса жидкости в системе и силы действующей на породу стали необходимы к приобретению соответствующие датчики.

В процессе сборки модели выявлены две основные проблемы: герметичность жидкостного контура и жесткость системы в целом. В качестве рабочей жидкости в гидросистеме используется специальное масло. Так как импульс величина очень маленьких и коротких перемещений поршня, то для его создания необходима система, исключающая потери на различные погрешности конструкции. Одной из таких преград для полноценной работы гидроимпульсного механизма это полное отсутствие воздуха в жидкостном контуре. Так как контур абсолютно замкнутый, сложностью является заполнение контура жидкостью с полным вытеснением воздушных пробок, пузырьков из каждого элемента гидроконтура. Чтобы этого добиться был сделан тройник с пробкой для удаления воздуха из шланга и полости гидропульсатора и тройник подсоединенный непосредственно к гидроцилиндру для вытеснения воздуха из него.

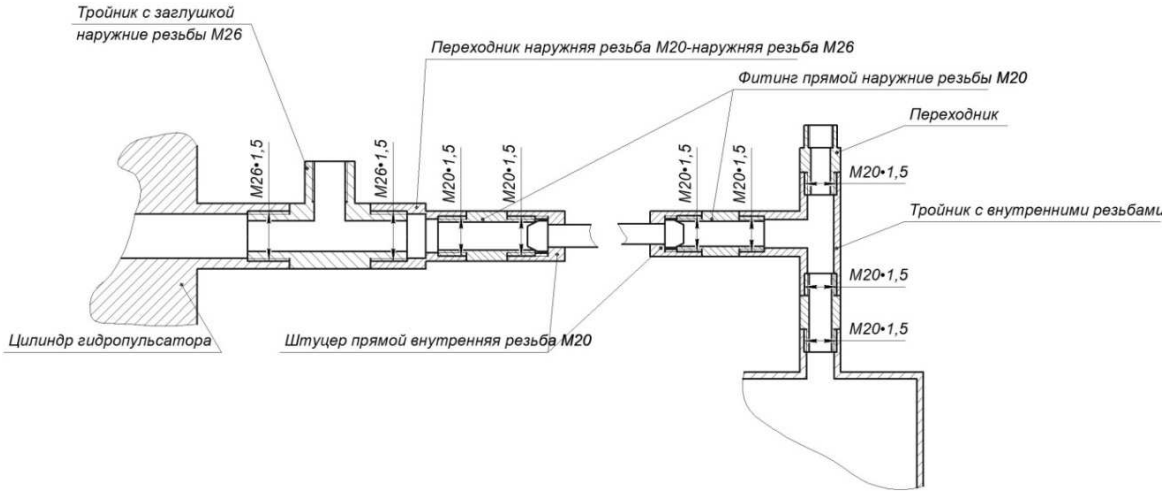


Рис. 3. Гидравлическая сборка соединений

Контур заполняется с минимально возможным расходом до края верхнего штуцера, затем путем давления на шток вытесняется лишнее масло вместе с воздушными пробками через открытые пробки. Шток вдавливается до расстояния 10 мм между поршнем и стенкой гидроцилиндра. При создании предварительного давления в системе путем поджатия штока гидроцилиндра и пульсатора стали проявляться негерметичности резьбовых соединений, а также манжет гидропульсатора. Появилась необходимость поменять некоторые фитинги на более высокосерийные с использованием жидких герметиков. Данные решения помогли исправить проблему при предварительном давлении, дальнейшее увеличение давления пока не проводилось по некоторым причинам, что возможно покажет не совершенство герметичности жидкостного контура. Влияние жесткости установки также играет большую роль на итоговый импульс. В рабочем и предпусковом состоянии гидроцилиндр, пружина и плита как имитация породы, находятся под напряжением. Гидроцилиндр под действием сжатой пружин с одной стороны и незакрепленного конца штока с другой старается развернуться и освободиться от действующего напряжения. Таким образом импульсы жидкости, передающиеся на шток не будут полностью передаваться на плиту (породу). Чтобы исключить такие потери необходимо добиваться высокой точности в элементах фиксации гидроцилиндра и его направляющих. Направляющие, на которых жестко закреплен гидроцилиндр должны давать только одну степень свободы гидроцилиндру, это движение вдоль оси гидроцилиндра. Направляющие были изготовлены из уголков и швеллера, что позволило добиться удовлетворяющей фиксации.

Силами сотрудников кафедры ТПМ с использованием сварки, резки, сверления в данный момент собирается все воедино и испытывается. Конечный результат позволит проводить различные опыты, подбирать оптимальные параметры и усовершенствовать механизм.

Список литературы

1. Пашков, Е. Н., Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 5 – с. 26–31.
2. Pashkov, E. N., Ziyakaev G. R., Tsygankova M. V. Differential equations of processes for the hydropuls power mechanism of drill machines // Applied Mechanics and Materials. – 2013 – Vol. 379. – p. 91–94 [6765–2013].
3. Саруев Л. А., Зиякаев Г. Р., Пашков Е. Н. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Перспективы развития горнотранспортного оборудования: П26 Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) – М.: издательство “Горная книга”. – 2011. – № ОВ5. – 344 с.
4. Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин / Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Кузнецов И. В. // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 4 (20). – С. 32–36.
5. Пашков Е. Н., Зиякаев Г. Р., Юровский П. Г., Пономарев А. В.. Патент на ПМ 133152 РФ. МПК7 E02D 7/10. Гидроимпульсная сваебойная машина / Опубл. 10.10.2013 г.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ДИСКРЕТНОГО ГИДРОПРИВОДА С ТОНКИМ ФОРМИРОВАНИЕМ ИМПУЛЬСОВ РАСХОДА

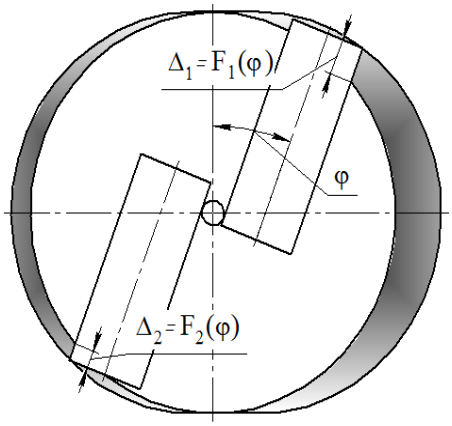
В.Ю. Бегляков, к.т.н, А.И. Изотова, студент, К.С. Асадчий, студент
Юргинский технологический институт
652057, Кемеровская область, ул. Ленинградская, 26, (38451) 777-67
E-mail: beglyakov@tpu.ru

Приведен анализ существующих управляющих гидроаппаратов, обоснована необходимость разработки и производства нового класса гидроаппаратов дискретного действия, управляемых устройствами ЧПУ, дано описание конструкции и принципа работы дискретного регулятора расхода, приведены схемотехнические решения систем дискретного управления гидроприводом

The analysis of the existing hydraulic control devices is given, the necessity of development and production of a new class of discrete-action hydraulic devices controlled by CNC devices is substantiated, a description of the design and operating principle of the discrete flow regulator is given, schematic solutions of discrete control systems of hydraulic drive are presented

Работа большинства технологических машин сводится к формированию сложных движения выходных звеньев рабочего оборудования в автоматическом режиме. Обычно движение по заданной траектории обеспечивается суммированием нескольких движений по конструктивно определенным координатам (рис. 1). Для этого необходимо иметь возможность изменять скорость по каждой координате от нуля до максимуму.

а



б

Рис. 1. Исполнительный органа геохода
а) общий вид, б) управление движением барабанов исполнительного органа в полярных координатах Δ и φ

В машинах, работающих в тяжелых условиях, для управления рабочим оборудованием применяется гидропривод. Известно, что в гидроприводе скорость определяется расходом рабочей жидкости, а перемещение – объемом. И конечно, хочется, чтобы управляющая гидроаппаратура могла управлять этими параметрами напрямую.

В настоящее время в гидроприводе для управления расходом и направлением потока рабочей жидкости в автоматическом режиме применяют дросселирующие распределители, а для управления в ручном режиме направляющие распределители, дроссели и регуляторы расхода, кроме того, для дополнительной коммутации как в ручном, так и в автоматическом режимах иногда необходимо применение гидрозамкков, обратных клапанов и др. [1, 2]. Гидросхемы, созданные на базе перечисленных гидроаппаратов, способны управлять расходом и объемом поданной рабочей жидкости только косвенно, т.е. через управление другими параметрами.

При управлении потоком рабочей жидкости с применением дросселирующих распределителей [1, 2] расход определяется смещения золотника, а объем – совместно смещением и временем. При этом между управляющим воздействием (обычно – электрическим сигналом) и ответным изменением расхода встречается ряд случайных факторов, влияющих на результат: влияние температуры рабочей жидкости на вязкость, влияние нагрузки на давление, изменение характеристик центрирующих пружин и др., что создает значительные случайные погрешности управления. Кроме того, имеются факторы, создающие системные (прогнозируемые) погрешности: электромагнитная инерция управляющих электромагнитов, масса и инерция золотника и других подвижных частей, упругость гидросистемы и др., что приводит к формированию системной погрешности и снижению быстродействия системы управления. Все это делает невозможным управление без постоянного контроля результата, т.е. текущего положения рабочего оборудования, определяет необходимость применения дорогостоящих систем обратной связи.

В качестве примера можно привести результаты испытаний опытного образца геохода модели 401 [3-5] во время которых возникли проблемы с управлением перемещением барабанов исполнительного органа (рис. 1). Радиальное смещение барабанов, согласованное с углом их поворота φ (рис. 1 б), должно обеспечивать функцию маневрирования по трассе выработки [6, 7]. Контроль радиального положения Δ осуществлялся герконовым стержнем, а сигнал передавался по ВТ-модему. Реакция системы на сигнал от геркона происходила с незначительной задержкой, что приводило к погрешности в управлении положением барабанов и проблемам с удержанием машины на курсе.

В электроприводе подобные задачи решаются применением шаговых электродвигателей. В шаговом электроприводе, задавая частоту и количество импульсов, можно непосредственно управлять скоростью и величиной перемещения выходного звена привода. Т.е. можно без постоянного контроля с высокой точностью прогнозировать положение, скорость и траекторию движения рабочего оборудования машины, обходиться без обратной связи или сильно упростить её. Но электропривод уступает гидроприводу в части силовых и массогабаритных характеристик.

Известны системы шагового электрогидравлического привода (рис. 2) [8], которые позволяют совместить преимущества электро- и гидропривода. В приводе на рисунке 2 гидромотор «копирует» работу шагового электродвигателя, такой привод может решать частные задачи и это решение не может использоваться для управления потоком рабочей жидкости.

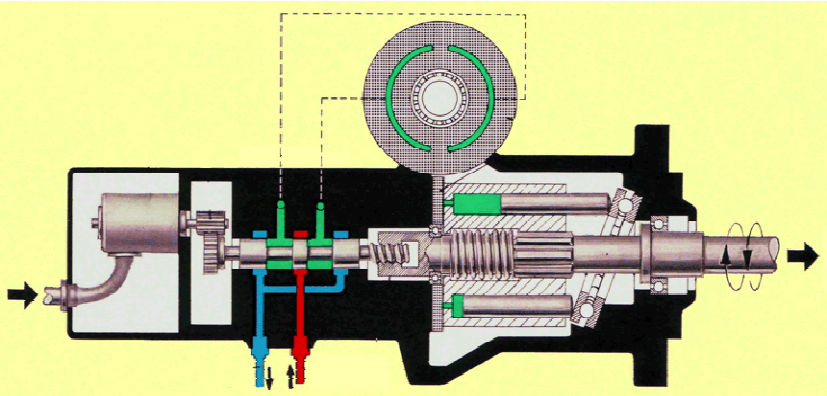


Рис. 2. Шаговый электрогидропривод

Существует необходимость в создании управляющих гидроаппаратов, способных непосредственно управлять расходом и объемом поданной рабочей жидкости, которые позволят снизить требования к обратной связи и осуществлять управление перемещением выходных звеньев по заданным траекториям, с заданной скоростью и с высокой точностью

Известны системы дискретной подачи рабочей жидкости (рис. 3) [2] с грубым формированием импульса расхода, включающие дозатор 1 и коммутирующие устройства 2-4, наличие которых вносит погрешность в объем разового импульса расхода. Такие системы неспособны формировать импульсы малых объемов в широком диапазоне частот, поэтому область их применения ограничена системами с ограниченным количеством фиксированных положений.

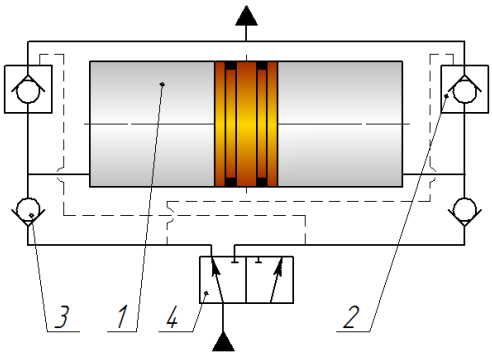
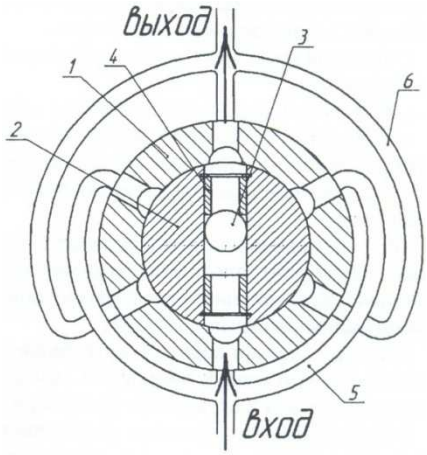


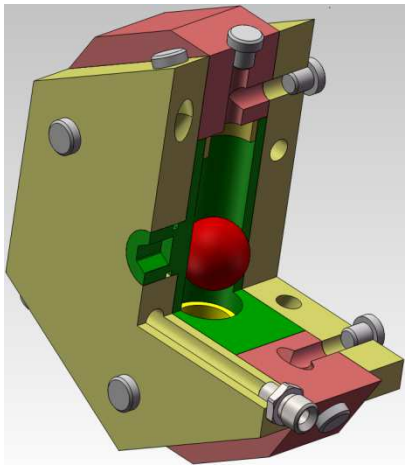
Рис. 3. Система дискретной подачи рабочей жидкости
1 - дозатор, 2 – гидрозамок, 3 – обратный клапан, 4 - гидрораспределитель

Для решения задачи тонкого формирования импульса расхода в широком диапазоне частот предлагается применить объемный дозатор [9], показанный на рисунке 4. При вращении ротора 2 его полости, расположенные по разные стороны от разделителя 3, периодически соединяются то с подводящим 5, то с отводящим 6 каналами. Под действием давления рабочей жидкости разделитель 3 совершает возвратно-поступательное движение между ограничителями 4, при каждом движении полость, соединенная с подводящим каналом, заполняется рабочей жидкостью, а из полости, соединенной с отводящим каналом, вытесняется фиксированный объем жидкости. В зависимости от решаемой задачи, вращение ротора может осуществляться как шаговым электродвигателем, так и в ручную.



1 - корпус, 2 - ротор, 3 - разделитель полостей, 4 - ограничитель хода, 5 - подводящий канал, 6 - отводящий канал

а



б

Рис. 4 - Объемный дозатор для дискретного регулирования скорости и величины перемещения выходных звеньев гидродвигателей
а) принципиальная схема, б) конструктивное решение

Разделитель полостей 3 одновременно выполняет функцию запорного элемента, а ограничители хода 4 одновременно являются седлами запорного элемента, при этом герметичность в крайних

положениях разделителя полостей обеспечивается за счет контакта разделителя с ограничителем. Это позволяет снизить требования к точности сопряжения разделителя с отверстием в роторе.

Принцип действия дозатора позволяет обеспечить жесткую связь подачи рабочей жидкости с угловой скоростью, а объема – с углом поворота ротора. Величина импульса расхода определяется рабочим объемом (геометрическими характеристиками) рабочей камеры.

На рисунке 5 показаны варианты аналогового управления расходом в гидролинии (рис. 5 а, б), эквивалентно замещаемые дозатором (рис. 5 в).

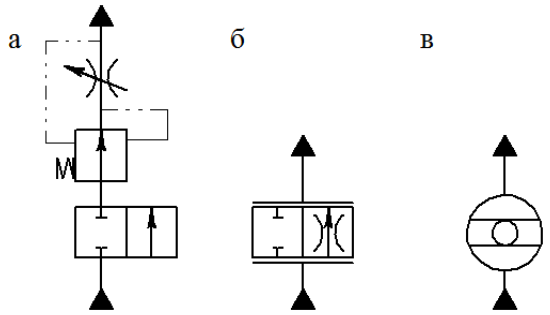


Рис. 5 – Схемы управления расходом в гидролинии
а) с регулятором расхода и направляющим распределителем,
б) с дросселирующим распределителем, в) с объемным дозатором.

На рисунке 6 представлены схемы реверсивного управления гидродвигателем. На рисунке 6 а показана традиционная схема, где управление и скоростью и направлением осуществляется с помощью дросселирующего гидрораспределителя. На рисунках 6 б и 6 в показаны комбинированные схемы, где управление скоростью осуществляется с помощью дозатора, а направлением – с помощью направляющего распределителя, замена дросселирующего распределителя дозатором и направляющим распределителем позволит уменьшить стоимость гидрооборудования, упростить систему управления и снизить требования к обратной связи. На рисунке 6 г представлена схема, где управление и скоростью и направлением осуществляется с помощью дозаторов, что позволит исключить «люфты», связанные неопределенностью в момент переключениея гидрораспределителя, упростить процесс реверсирования.

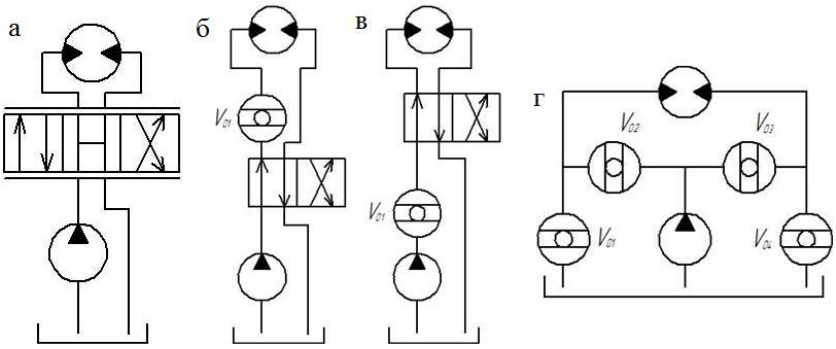


Рис. 5. Схемы реверсивного управления гидроприводом
а) традиционная с дросселирующим распределителем, б) и в) комбинированные с направляющим распределителем и объемным дозатором, г) с совместным объемным дозированием

Применение дозатора позволит реализовать системы дискретного гидропривода, объединяющие преимущества гидропривода и шагового электропривода [10]. Но для создания таких систем необходимо обосновать геометрические и динамические параметры устройства, разработать схемотехнические решения применения дозаторов, решить задачи алгоритмизации и целочисленной оптимизации. Поэтому работа, направленная на создание систем дискретного гидропривода является актуальной научно-практической задачей.

Список литературы
1. Свешников В. К., Усов А. А. Станочные гидроприводы //М.: Машиностроение, 1982г. 312с. – 2004.
2. Сосонкин В. Л. Дискретная гидроавтоматика //М.: Машиностроение. – 1972.
3. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ефременков А. Б., Казанцев А. А., Бегляков В. Ю., Вальтер А. В. Создание нового инструментария для формирования подземного пространства //Горная техника. – 2015. – № 1. - С. 15.
4. Аксенов В. В., Вальтер А. В. Специфика геохода как предмета производства //Научное обозрение. – 2014. – Т. 8. – №. 3. – С. 945-949.
5. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Вальтер А.В., Ефременков А.Б. Опыт участия в проекте по организации высокотехнологичного производства//Горное оборудование и электромеханика. -2016. -№ 8 (126). -С. 8-15.
6. Вальтер А. В., Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Чазов П. А. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геохода на основе данных координатного контроля //Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – №. 4. – С. 69.
7. Аксенов В. В., Ефременков А. Б., Тимофеев В. Ю., Бегляков В. Ю., Блашук М. Ю. Проходческий щитовой агрегат (Геоход)//Пат. на изобретение RUS 2418950; опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14.
8. Общая методика наладки металлообрабатывающих станков [Электронный ресурс] // Education Library: [сайт]. [2009]. URL: http://edulib.pgta.ru/els/_2009/72_09/tehnol_oborud/glava1/1_3_1_4.htm (дата обращения: 25.04.2017).
9. Крауиньш П.Я., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Смайлов С.А. Объемный дозатор для дискретного регулирования скорости и величины перемещений выходных звеньев гидродвигателей Патент на изобретение RUS 2328625 25.12.2006
10. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмисси геоходов с гидроприводом//автореф. дисер. к.т.н. Кузбасс. гос. техн. ун-т. -Кемерово, 2012. с. 19

СКАРИФИКАЦИЯ СЕМЯН, КАК ЭЛЕМЕНТ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ БОБОВЫХ ТРАВ

А.П. Шевченко, к.т.н, доц., А.В. Банкрутенко, к.с.-х.н, доц., В.С. Коваль, к.т.н, доц.
Тарский филиал ФГБОУ ВО Омский ГАУ
646532, Омская область, г. Тара, ул. Тюменская, 18, тел. (38171) 2-86-35
E-mail: vs.koval@omgau.org

Приведены устройство и принцип работы дискового скарификатора, для обработки семян многолетних бобовых трав. Для оценки эффективности скарификации введен параметр - степень потери массы при трении о скарифицирующий диск - М, %. В ходе исследований выявлено, что при потере массы посевного материала на 20% проявляются наиболее высокие посевные характеристики, дальнейшее увеличение потери массы приводит к чрезмерному травмированию семян и снижению их посевных качеств.

Technology and principle of disk-type seed scarificator operation for seed treatment of perennial legume grasses are given. Parameter – level of mass loss during the friction on scarifying disk – M, % is introduced for quality assessment of scarification efficiency. During the researches it was revealed that mass loss of sowing material the highest sowing characteristics 20% are shown, further increasing of mass loss results in excessive seed damage and its sowing quality.

Национальный проект России в области сельского хозяйства предусматривает интенсивное развитие животноводства. В общем процессе производства продукции животноводства на долю кормов приходится более половины затрат [1].

В условиях подтаежной зоны Западной Сибири основной специализацией сельского хозяйства является животноводческое направление. В связи с этим, обеспечение сельскохозяйственных животных высококачественными кормами – является актуальной задачей. Подтаежная зона всегда являлась зоной рискованного земледелия. Для устойчивого развития животноводства в данной зоне большое внимание должно уделяться эффективным технологиям возделывания однолетних и многолетних трав [2].

Одним из сдерживающих факторов распространения в хозяйствах подтаежной зоны Западной Сибири, а в частности, Омской области многолетних бобовых трав – это отсутствие в технологии по подготовке семян к посеву такого основного мероприятия, как скарификация.

Скарификация направлена на то, чтобы разрушить в большей или меньшей степени слой палисадных клеток оболочки твердых семян, лишить их герметичности и открыть доступ внутрь семени воде и кислороду. Внимание к качественной предпосевной обработке семян многолетних бобовых трав объясняется большим потенциалом повышения их урожайности, необходимостью создания условий для полной реализации потенциала семян, возможностью снижения норм высева при использовании современных сортов, снижением затрат на производство единицы продукции. Однако применяемые в настоящее время для этих целей скарификаторы не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям. Получения качественной предпосевной обработки можно добиться, применив скарификатор с нижним фрикционным диском и дозатором для равномерной подачи семян [3, 4, 5].

Целью наших исследований является изучение эффективности применения скарификации семян многолетних бобовых трав, влияющих на посевные качества семян и урожайность зеленой массы, в условиях подтаежной зоны Западной Сибири (на примере данной зоны в Омской области).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить две основные задачи:

1. Разработать скарификатор с нижним фрикционным диском и дозатором для равномерной подачи семян.
2. Выявить эффективность применения скарификации семян, влияющих на полевую всхожесть и урожайность зеленой массы.

Исследования проводились в два этапа:

- первый этап - разработка скарификатора. С целью более равномерной скарификации семян и исключения механических повреждений, для равномерной подачи семян на скарифицирующий элемент в днище бункера установлена дозирующая катушка. Для равномерного рассредоточения семян на скарифицирующем диске на нём же установлен распределительный конус. Для обеспечения качественной обработки семян, скарифицирующий диск закрыт верхним диском, который может фиксировано перемещаться в вертикальной плоскости, обеспечивая необходимый для равномерной обработки семян зазор между дисками.

- второй (полевой) этап связан с изучением влияния скарификации семян многолетних бобовых трав (козлятника восточного, клевера красного) на полевую всхожесть и урожайность зеленой массы. Полевые исследования проводились в 2010-2015 гг. в подтаежной зоне Омской области на серых лесных, среднесуглинистых почвах с низким содержанием азота, средним – фосфора и калия. Полевые опыты закладывались согласно существующим методическим указаниям. Площадь делянки 36 м^2 (учетная площадь – 24 м^2), размещение – рендомизированное, повторность – четырехкратная. Изучались следующие варианты посева (фактор А) козлятника восточного и клевера лугового (фактор В): 1. Посев без скарификации семян; 2. Посев скарифицируемыми семенами. Посев производился под покров яровой пшеницы. Урожайные данные обрабатывались методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов в изложении Б.А. Доспехова, а также с использованием персонального компьютера в табличном процессоре Microsoft Excel [6, 7].

Метод механического воздействия на оболочку твердых семян бобовых трав является наиболее простым и приемлемым для производственных условий при обработке значительных партий семенного материала. Зачастую в практике применяют для снижения количества твердых семян различные машины (клеверотерки, молотковые дробилки, разного рода шасталки), специально не предназначенные для скарификации. Вследствие этого, в большинстве случаев получаются отрицательные результаты за счет повреждения зародышей семян в процессе их обработки. Применение этих машин объяснялось тем, что скарификации семян не придавалось особого значения в связи с долголетним использованием бобовых трав. Поэтому конструированию специальных машин - скарификаторов не уделялось должного внимания, а разработанные и изготовленные аппараты в большинстве имеют ряд существенных недостатков, а именно, не в полной мере обеспечивают хорошее качество и часто чрезмерно повреждают семена в процессе их обработки [8].

Отсюда вытекает необходимость совершенствования скарификаторов семян с целью устранения вышеотмеченных недостатков.

Конструктивная схема экспериментального скарификатора показана на рисунке 1 [9].

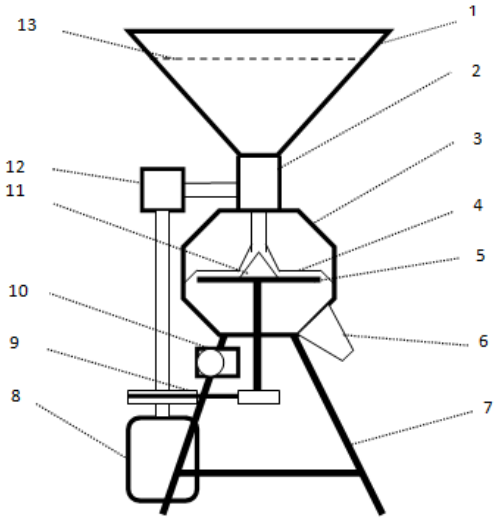


Рис. 1. Схема скарификатора: 1 – бункер; 2 – дозирующее устройство; 3 – корпус; 4 – дополнительный диск; 5 – скарифицирующий диск; 6 – выходное отверстие; 7 – рама; 8 – электродвигатель; 9 – клиноремённая передача; 10 – тахометр; 11 – конус; 12 – редуктор; 13 – сетка.

I. Семяпровод с вращающимся внутри конусом.
II. Рабочая камера (неподвижный диск и подвижный диск с шероховатой поверхностью).
III. Конусообразный приемник.

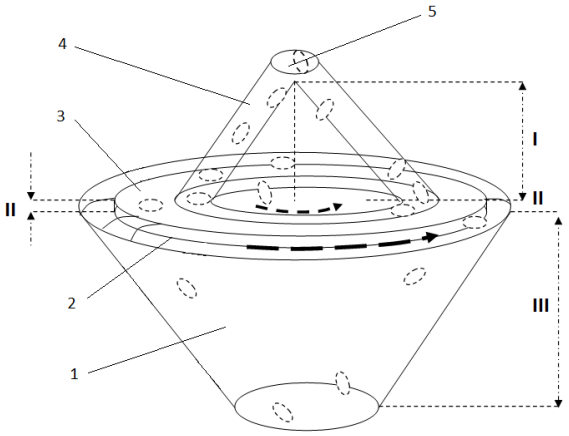


Рис. 2. Схема корпуса скарификатора с указанием рабочих органов: 1 – приемник (бункер), 2 – вращающийся диск (ротор), 3 – неподвижный диск (крышка), 4 – вращающийся конус, 5 – семяпровод.

Вначале семена в свободном падении (под воздействием силы тяжести) движутся по семяпроводу и попадают на конус, далее движутся вниз двумя способами: скользят по граням конуса, либо, испытывая ряд соударений с гранями конуса и верхним диском, скатываются вниз. С конуса семена сходят на вращающийся диск. Получая импульс вращательного движения, семена под воздействием центробежных сил скатываются с вращающегося диска и попадают в конусообразный бункер-приемник. Скатываясь по стенкам приемника, семена попадают в накопитель.

Эффект скарификации достигается взаимодействием семян с шероховатой поверхностью диска. В рабочей камере семена всегда имеют непрерывный контакт с шероховатой поверхностью диска, при этом отсутствие взаимодействия семян между собой и ограниченность пространства в рабочей камере не создает дополнительных помех для скарификации.

Под воздействием центробежных сил семена вылетают из рабочей камеры и скатываются по изогнутой поверхности верхнего диска (под действием силы тяжести и угасающих центробежных сил) в полость приёмного бункера, тем самым предотвращается удар семян о его стенки.

Для оценки эффективности скарификации при проведении экспериментальных исследований введем параметр - степень потери массы при трении о скарифицирующий диск - *M*, %, то есть процентное соотношение потери массы семени после обработки к массе семени до обработки. [10].

Задача исследования сводится к определению степени влияния такого параметра, как потеря массы семян при скарификации на посевные качества семян: полевая всхожесть, энергия прорастания.

Результаты проведения исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Потеря массы посевного материала и посевные качества семян

Потеря массы посевного материала	Посевные качества семян		
	Лабораторная всхожесть, П, %	Энергия прорастания Е, %	Число дроблёных семян К, %
0	43,7	40,6	0
5	49,2	45,8	0,2
10	63,5	59,1	0,7
15	77,1	69,2	1,3
20	93,8	84,1	2,7
25	82,2	64,8	8,9
30	58,1	52,1	16,6
35	42,6	38,2	27,7

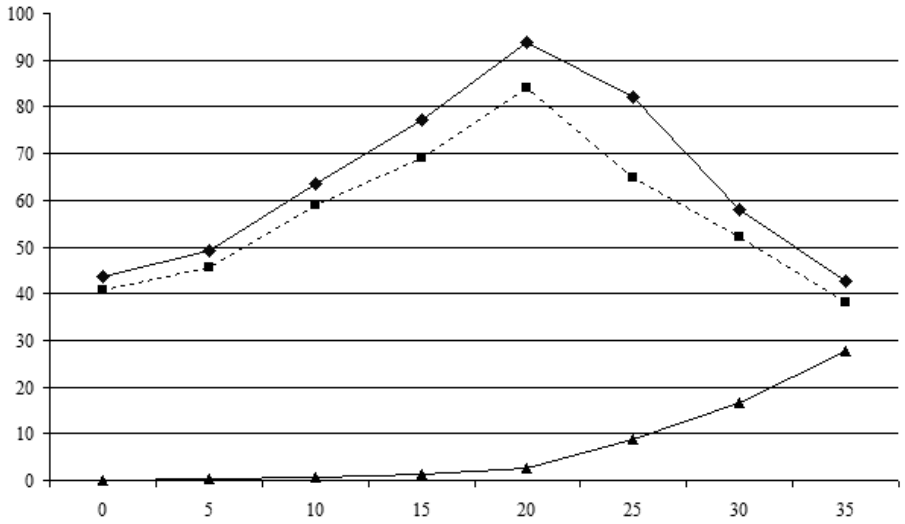


Рис. 3. Зависимость посевных качеств семян от потери массы посевного материала: –
Всхожесть П %, – Энергия прорастания Е %, – Число дробленых семян К %.

В результате проведенных исследований установлены следующие математические зависимости:

- зависимость лабораторной всхожести (x) от потери массы посевного материала (y):

$$y = -3,4536x^2 + 32,387x + 6,1, \ (R^2 = 0,83) \quad (1)$$

- зависимость энергии прорастания (x) от потери массы посевного материала (y):

$$y = -2,9053x^2 + 26,706x + 10,637, \ (R^2 = 0,82) \quad (2)$$

Из математических зависимостей и построенного графика видно, что оптимальной считается потеря массы, равная 20%, при этом отмечены наибольшие показатели лабораторной всхожести 93,8% и энергии прорастания 84,1%. Дальнейшее увеличение потери массы семян приводит к чрезмерному травмированию и снижению их посевных качеств.

Посевные качества семян сельскохозяйственных культур являются одними из главных показателей, влияющих на урожай. У многолетних бобовых трав таким показателем является всхожесть семян после посева, представленная в таблице 2.

Таблица 2

Полевая всхожесть семян многолетних трав, % (в среднем за 3 года)

Культура	Вариант опыта	
	без скарификации семян	скарификационные семена
Клевер луговой	42,4	73,1
Козлятник восточный	41,8	72,5

В наших исследованиях полевая всхожесть клевера лугового и козлятника восточного была увеличена за счет скарификации семян, проведенной за 2-3 суток до их посева. При этом всхожесть семян козлятника увеличилась в 1,8 раза, а семян клевера - в 1,7 раза.

Увеличение всхожести семян впоследствии сказалось на увеличении урожайности и продуктивности козлятника восточного и клевера лугового. Посевы, произведенные скарификационными семенами, отличались наибольшей густотой стояния и высотой травостоя.

Зависимость урожайности зеленой массы многолетних трав от полевой всхожести семян была сильнее на варианте с применением скарификации и выражалась следующими корреляционно-регрессионными уравнениями:

- посев без скарификации семян:

$$y = 0,8617x - 38,586, \quad (R^2 = 0,80) \tag{3}$$

- посев с применением скарификации семян:

$$y = 0,8641x - 21,518, \quad (R^2 = 0,56) \tag{4}$$

Наибольшая урожайность зеленой массы была получена у варианта козлятник восточный, посеянный семенами с предварительной их скарификацией 28,3 т/га, что существенно превосходило другие варианты (таблица 3). Существенная разница наблюдалась и у клевера лугового, посеянного скарификационными семенами, по сравнению с контролем [10].

Таблица. 3

Урожайность и продуктивность зеленой массы многолетних бобовых трав, т/га

Вариант		Зеленая масса	Сухое вещество	Переваримый протеин	Кормовые единицы
фактор А	фактор В				
Посев без скарификации семян	клевер луговой	18,9	4,39	2,71	0,51
	козлятник восточный	22,4	5,33	3,31	0,64
Посев скарифицируемыми семенами	клевер луговой	23,1	5,31	3,28	0,61
	козлятник восточный	28,3	6,90	4,31	0,83
$НСР_А$		2,1	0,90	0,55	0,09
$НСР_В$		3,4	0,92	0,59	0,12

Сбор сухого вещества, переваримого протеина и кормовых единиц был также выше в посеве, проведенном скарификационными семенами. Связано это, прежде всего, с наибольшей полевой всхожестью семян, а следовательно, и с наибольшей густотой стояния растений в данном посеве.

Производственный опыт подтвердил наши исследования. Так, в хозяйстве Тарского района ООО «ОПХ им. Фрунзе» на двух полях был произведен посев многолетних бобовых трав обычными семенами и семенами, прошедшими скарификацию. Посев обычными семенами отличался большой изреженностью и дал низкую урожайность в 1-ый год пользования и во 2-ой, а к 3-ему году травостой выпал, в то время, как посев скарификационными семенами дает стабильно высокую урожайность уже на протяжении шести лет с момента посева.

1. При потере массы посевного материала на 20% проявляются наиболее высокие посевные характеристики, при этом всхожесть 93,8%, а энергия прорастания 84,1%. Увеличение данного показателя приводит к чрезмерному травмированию и снижению их посевных качеств.

2. Наибольшая урожайность зеленой массы, сбор сухого вещества, переваримого протеина и кормовых единиц у многолетних бобовых трав была получена при посеве семян с предварительной их скарификацией.

Список литературы

1. Sabiev U K Demchuk E V Myalo V V and Soyunov A S 2017 Innovative equipment and production method for mixed fodder in the conditions of agricultural enterprises (United Kingdom: In collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 8. Сер. "VIII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering"" p 012020.
2. Makowski N. Körnerleguminosen / N. Lütke Entrup, J. Oehmichen // (Hrsg) Lehrbuch des Pflanzendaus. Bd.2. Kultirpflanzen / Verlag Th. Mann Gelsenkirchen, 2000. - 856 s.
3. Gonzalez-Melero J.A.; Perez-Garcia F.; Martinez-Laborde J.B., Effects of temperature, scarification and gibberellic acid on the seed germination of three shrubby species of Coronilla L., Seed Sc. Technol., 1997.-175c.
4. Patane C. Effetto di alcuni pretrattamenti sulle caratteristiche germinative dei semi duri di Scorpiurus subvillosus L., Sementi elette. - 1998. - 46c.
5. Johnston M. Caracterizacion de la germination de seis especies de una pradera anual mediterranea/ M.Johnston, G.Fernandez, A.Olivares.- Fyton. - 1989.-117c.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М., «Колос». - 1973. - 336 с.
7. Казанцев В.П. Полевой опыт и основные методы статистического анализа / В.П. Казанцев, А.В. Банкрутенко. - Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010. - 209 с.
8. Власов, П.А. Скарификация семян многолетних бобовых трав (Скарификаторы инерционного действия) / П.А. Власов// Достижения науки и техники АПК.- 2006. - №2. - С.38-39.
9. Патент на полезную модель 89921 РФ, МПК А 01С 1/100. Скарификатор / Шевченко А.П., Вербовский А.В. (РФ).- 2009; Заявлено 11.01.2009; Опубликовано 27.12.2009.// Изобретения. Полезная модель.-2009 – Бюл. № 36.
10. Вербовский А.В. Семена бобовых трав к посеву готовы пневматический скарификатор в действии / А.В. Вербовский // Сельский механизатор. - 2009. - № 11. - С. 22-23

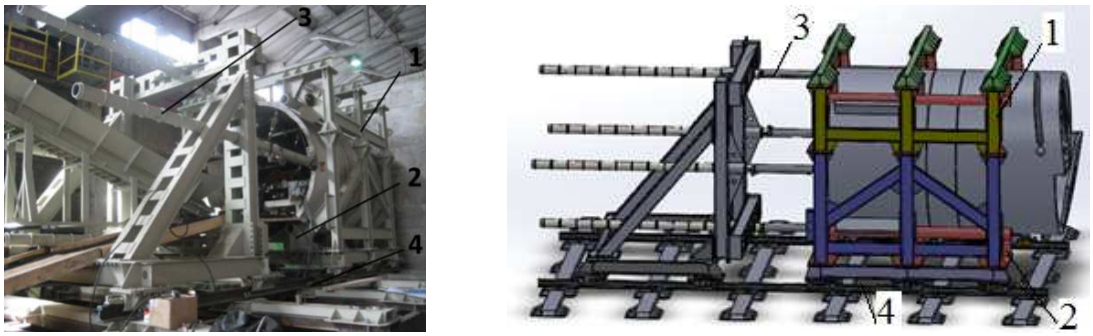
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДВИЖНОЙ РАМЫ СТАРТОВОГО УСТРОЙСТВА ГЕОХОДА

Литвиненко В.В., ст. гр. 10730, 5 курс, Плечева В.Ю., ст. гр. 10720
Научный руководитель: Коперчук А.В., к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451)77767,
E-mail: vvlitvinenko95@mail.ru

Рассмотрено новое решение подвижной рамы стартовой установки геохода. Спроектирован подвижный упор для элементов противовращения. Приведен результат прочностного расчета подвижного упора.

A new solution of the mobile frame of the starting installation of the geodatabase is considered. A movable stop for anti-rotation elements has been designed. The result of the strength calculation of the movable stop is given.

В 2013-2016 годах в ЮТИ ТПУ был реализован проект «Создание и постановка на производство нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения – геоходов» [1,2]. В рамках проекта была разработана и изготовлена стартовая установка геохода [3,4]. Принцип работы – вдавливание геохода в массив при одновременном вращении головной секции (рис.1, а; рис. 1, б). Вдавливание происходит за счет 4 гидравлических домкратов, закрепленных на неподвижной раме. Сам геоход размещается на подвижной раме, передвигающейся по рельсовым направляющим к забою.



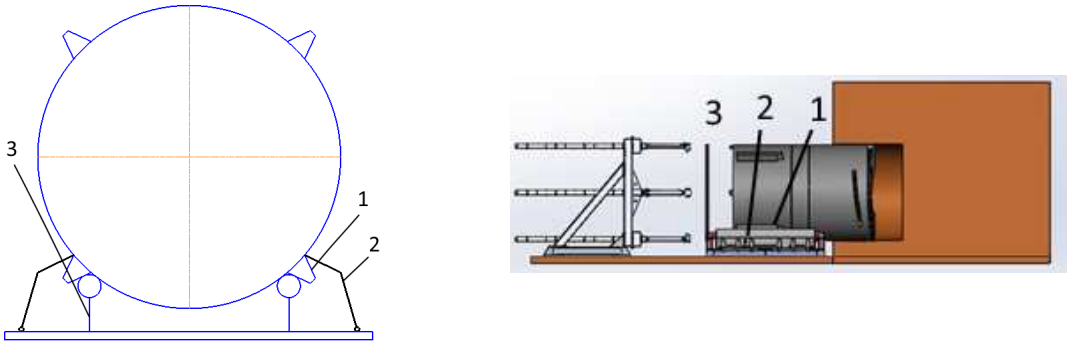
а) б)

Рис. 1. Стартовое устройство, вдавливающее геоход в массив с помощью домкратов при вращении головной секции
а) стартовая установка используемая при испытании геохода; б) схема стартовой установки
1 – подвижная рама; 2 – опоры для элементов противовращения;
3 – гидравлические домкраты; 4 – направляющие

Испытания подтвердили общую работоспособность стартовой установки, возможность старта геохода в выработку. Однако была выявлены некоторые недостатки:

- существенные габариты;
- значительная металлоемкость конструкции;
- невозможность синхронизации поступательного и вращательного движения геохода [5];
- радиальные смещения геохода относительно стартовой системы в процессе зарубки;
- отсутствие площадок для персонала.

С целью уменьшения массогабаритных параметров стартовой установки предложено новое схемное решение подвижной рамы стартового устройства (рис.2) [6]. В нем для фиксации хвостовой секции от поворота используются 2 нижних элемента противовращения.

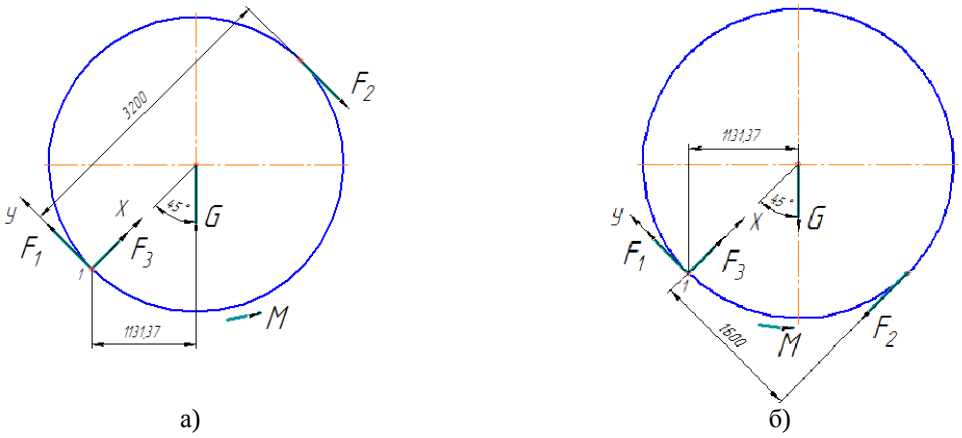


а) б)

Рис. 2. Новое схемное решение подвижной рамы стартового устройства
а) схема подвижной рамы стартовой установки;
б) процесс старта геохода с предложенной подвижной рамы
1 – элемент противовращения; 2 – подвижный упор; 3 – неподвижный упор

Использование данного решения приводит к изменению расстояний между силами взаимодействия между геоходом и удерживающими элементами стартового устройства.

На рис. 3 показаны расчетные схемы для определений реакций опор существующего (рис. 3а) и усовершенствованного вариантов подвижной рамы стартового устройства (рис. 3б).



а) б)

Рис. 3. Расчетная схема для определения сил реакции опор подвижной рамы
а) схема известного стартового устройства; б) схема разработанного стартового устройства

Исходные данные для расчетов:

- крутящий момент от трансмиссии в режиме «старт», $M = 0{,}5M_{мах} = 8{,}8 \cdot 10^5$ Нм [7,8,9,10];
- масса геохода, m = 21000 кг;
- расстояния (мм) от оси геохода до точек приложения сил указаны на рис.3.

Расчетные значения сил реакции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения сил реакции

Силы реакции, МН	Известное стартовое устройство	Разработанное стартовое устройство
F_1	0,348	0,146
F_2	0,202	0,4043
F_3	0,146	0,55

Дальнейший этап проектирования – расчет прочности подвижного упора. В системе SolidWorks была разработана 3D модель подвижного упора (рис. 4), в среде Simulation выполнен расчет конструкции на прочность по 4 теории прочности.

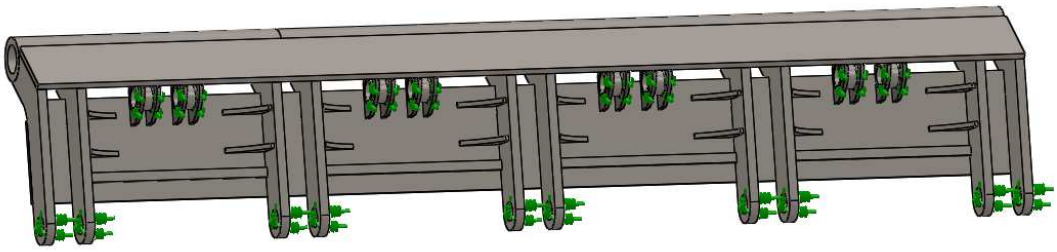
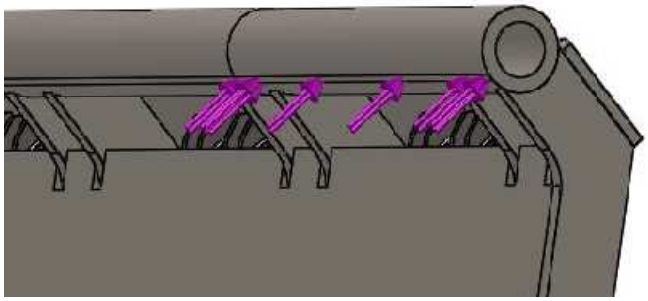


Рис. 4. 3D модель подвижного упора
Материал конструкции подвижного упора: сталь 09Г2С, σ_T=350 Мпа

В среде Simulation, программы SolidWorks, произвели следующие операции:

- применение свойства «нет проникновения» в функции «контакты компонентов»;
- запрещение осевого перемещения сборки при помощи функции «симметрия»;
- приложение распределенной нагрузки от элемента противовращения на исследуемый борт (рис. 5);
- создание сетки;
- запуск расчета.



Рису. 5. Распределенная нагрузка, воздействующая на подвижный упор

Усилие прикладывается к передней части прижимного устройства на длине 780 мм, что соответствует положению элемента противовращения геохода на момент старта.

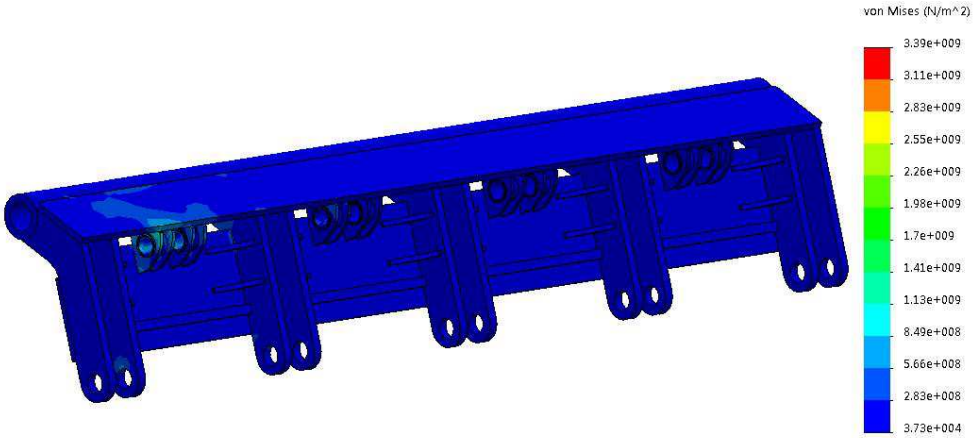


Рис. 6. Результаты расчета в среде Simulation по шкале эквивалентных напряжения Мизеса

Как показывает результат, величина расчетных напряжений не превышает величины предельных напряжений.

Список литературы

1. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Костинец И.К., Коперчук А.В. Классификация геометрических параметров внешнего движителя геохода // Горное оборудование и электромеханика.– 2016.– № 8 (126) – С. 33-39.
2. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Тимофеев В.Ю., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю. Проходческий щитовой агрегат (геоход) //Пат. на изобретение RUS. – 2011. – Т. 2418950.
3. Коперчук А.В., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Филонов В.В. Обоснование необходимости разработки стартового устройства геохода // Технологии и материалы.– 2015.– № 1. – С. 29-30.
4. Коперчук А.В., Бегляков В.Ю. Выбор схемного решения стартового устройства геохода. – 2016.– № 8(126). – С. 15-18.
5. Коперчук А.В., Бегляков В.Ю. Синхронизация кинематических параметров геохода и стартового устройства // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 436-438.
6. Литвиненко В. В. Стартовое устройство геохода. Возможные схемные решения // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». – 2017. – С. 14005-14005.
7. Blaschuk M., Dronov A., Koperchuk A., Chernukhin R., Litvinenko V. Kinematic parameters of rotary transmission with hydraulic cylinders // В сборнике: E3S Web of Conferences 1. Сер. "1st Scientific Practical Conference "International Innovative Mining Symposium (In Memory of Prof. Vladimir Pronoza)"". – 2017. – С. 03003.

8. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Силовые параметры трансмиссии геохода с гидроприводом //Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (92).
9. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Определение геометрических параметров размещения гидроцилиндров трансмиссии геохода //Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (92).
10. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю. Определение неравномерности развиваемого трансмиссией вращающего момента //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S5.

СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ГЕОХОДА. ВРЕМЕННОЙ ФАКТОР ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ И ИХ СБОРКИ В КОНЕЧНОЕ ИЗДЕЛИЕ

А.А. Казанцев, к.т.н, Юргинский технологический институт
652057, Кемеровская область, ул. Ленинградская, 26, (38451) 777-67
Федеральный исследовательский центр Угля и углехимии СО РАН
650000, г. Кемерово, пр-т Советский, 18, (3842) 363-462
E-mail: kazantsev@tpu.ru

Изложен опыт реализации проекта №02.G25.31.0076 в рамках открытого конкурса Министерства образования и науки РФ и Постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г. Дано описание временных рамок реализации проекта, в частности, работы над созданием опытного образца щитового проходческого агрегата – геохода, диаметром 3,2 м. В настоящее время проект находится в стадии завершения. Главная идея статьи – поделиться опытом создания новой техники и показать, сколько времени затрачивается на решение тех или иных производственных процессов по созданию опытных образцов горных машин на примере геохода. Данная статья будет полезна организациям, планирующим участие в реализации проектов по созданию высокотехнологичного производства, и может являться ориентиром для составления Плана-графика реализации подобных проектов. Автор статьи лично принимал участие в реализации данного проекта и принимал решения по планированию и организации работ.

The experience of the project №02.G25.31.0076 is presented. The project was operated in the framework of the open competition of the Ministry of education and science of the Russian Federation and the RF Government Decree №218 from 09.04.2010. Description of the time frame of the project implementation, particularly the activities of the TBM prototype creation – geokhod, with a diameter of 3.2 m. is presented. Currently, the project is closer to complete. The main idea of the article is to share the experience of creating new technology and show how much time is spent on the decision of production processes to create prototypes of mining machines on the example of a geokhod. This article will be useful for organizations planning to participate in the implementation of projects to create high-tech production, and can be a guide for drawing up a Plan-schedule of such projects. The author of this article personally participated in the implementation of this project and made decisions on planning and organization of activities.

Опытный образец геохода модели 401, диаметром 3,2 м был создан в рамках Договора № 02.G25.31.0076 от 23.05.2013 г. и технического задания к нему на условиях открытого конкурса Министерства образования и науки РФ по реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г. [1-4].

Данная статья поясняет условия работы над созданием нового конструктивно законченного изделия в жестких временных рамках, разработанного на основе НИОКТР.

Общее описание опытного образца геохода рассмотрено в работе [5]. Обоснование параметров основных и вспомогательных систем геохода приведено в работах [6-24], некоторые особенности изготовления основных систем опытного образца геохода приведены в работах [25-29].

Поскольку время реализации проекта было ограничено, разработка и изготовление систем и узлов геохода выполнялась в совмещенном режиме. Первыми утвержденными техническими решениями к изготовлению стали корпусные детали. Поскольку в целом геоход – изделие новое, то первое с чем мы столкнулись при заказе на изготовление – это согласование цены. Потребовался детальный расчет стоимости каждой секции опытного образца. Причем, как показала практика, наши расчеты не совпали с расчетами завода-изготовителя – по стабилизирующей секции в 1,1 раза, по головной секции в 1,3 раза по модулю сопряжения в 2,5 раза.

После изготовления корпусных изделий началась сборка опытного образца. Из-за задержек в поставке ПКИ сборка затянулась на 7 месяцев, еще 2 месяца ушло на подключение и отладку системы управления и ее взаимодействие со всеми механическими системами опытного образца геохода.

На рисунке 1 представлена Дорожная карта создания опытного образца геохода (верхняя часть), которая иллюстрирует график работ по проекту. Ввиду сжатых сроков проекта и новизны геохода, как класса горнопроходческих щитов, разработку РКД некоторых систем опытного образца пришлось смещать, а некоторых – перерабатывать, из-за чего время на изготовление и сборку было затянуто. Как видно из Дорожной карты начало приемочных испытаний сместилось на 2016 год, хотя по плану проект должен был закончиться в декабре 2015 г. Это стало возможным только благодаря специальному решению Министерства образования и науки РФ – продление проекта. И, как показал наш опыт, это является не самым лучшим вариантом, т.к. субсидирование НИОКТР закончилось также в 2015 г. и все затраты на проведение приемочных испытаний геохода осуществлялись за счет собственных средств организации – получателя субсидии.

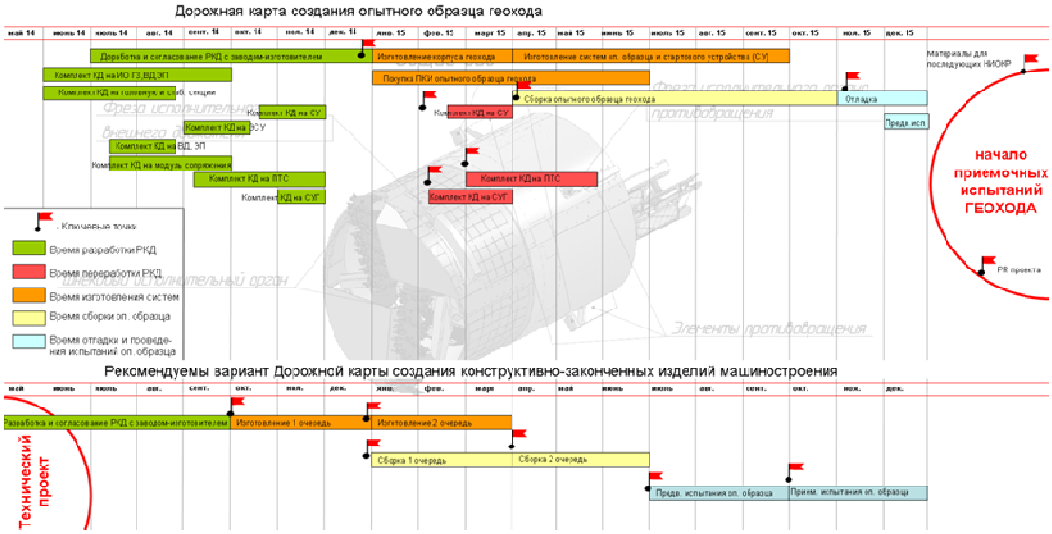


Рис. 1. План-график реализации проекта

Поэтому для организаций, планирующих участие в таком комплексном проекте по созданию конструктивно-законченных изделий машиностроения, следует руководствоваться предлагаемым нами вариантом Дорожной карты, представленном в нижней части рисунка 1. Для этого рекомендуется сократить сроки на разработку эскизного проекта.

1. Постановление Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 – работающий инструмент в сфере создания высокотехнологичного производства, дающий импульс развития науки техники.
2. При определении перечня ПКИ рекомендуется предварительно получить ряд коммерческих предложений от организаций – поставщиков оборудования. В случае ограниченного выбора поставщиков рекомендуется оценить риски принятия решений.
3. Планирование работ – один из самых важных аспектов реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, особенно при создании новых видов продукции.
4. При разработке плана-графика реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства конструктивно-законченных изделий машиностроения, особенно новых видов продукции следует детально проработать план производственной части проекта и по возможности сократить время на разработку эскизного проекта.

Список литературы

1. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Вальтер А.В., Ефременков А.Б. Опыт участия в проекте по организации высокотехнологичного производства. Горное оборудование и электромеханика. 2016. №8 (126). С. 8-15

2. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Казанцев А.А., Вальтер А.В., Ефременков А.Б. Опыт участия Юргинского технологического института (филиала) НИ ТПУ в проекте по организации высокотехнологичного производства (ППРФ №218). // Технологии и материалы. 2016. № 2. С. 10-17.
3. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Геоходы – основа создания нового геотехнологического инструментария для формирования подземного пространства и подземной робототехники // Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А. 2016. С. 277-288.
4. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Создание нового инструментария для формирования подземного пространства // Горная Техника. 2015. № 1 (15). С. 24-26.
5. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Хорешок А.А., Вальтер А.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы. Горное оборудование и электромеханика. 2016. №8 (126). С. 3-8
6. Аксенов В.В. Бегляков В.Ю. Казанцев А.А. Костинец И.К. Коперчук А.В. Классификация геометрических параметров внешнего движителя геохода. Горное оборудование и электромеханика. 2016. №8 (126). С. 33-39
7. Коперчук А.В., Бегляков В.Ю. Выбор схемного решения стартового устройства геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 15-18.
8. Blashchuk M.Y., Kasantsev A.A., Chernukhin R.V. Capacity calculation of hydraulic motors in geokhod systems for justification of energy-power block parameters // Applied Mechanics and Materials Vol. 682 (2014) pp 418-425 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.682.418
9. Aksenov V.V., Beglyakov V.Y., Kazantsev A.A., Ganovichev S.I. Importance of Resultant Action of the Mining Machine Actuator for Stresses in Impact Zone of a Separate Cutter // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012030 doi:10.1088/1757-899X/127/1/012030
10. Aksenov V.V., Beglyakov V.Y., Kazantsev A.A., Doroshenko I.V. Substantiating Ways of Load Application When Modeling Interaction of a Multiincisal Mining Machine Actuator With Rocks // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012032 doi:10.1088/1757-899X/127/1/012032
11. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Капустин А.Н. Анализ несущих конструкций (корпусов) известных технических систем применимых в качестве корпуса (носителя) геохода // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 6 (106). С. 34-36.
12. Аксёнов В.В., Садовец В.Ю., Бегляков В.Ю. Влияние уступа на НДС призабойной части горной выработки // Инновационные технологии и экономика в машиностроении Сборник трудов II Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых ученых. 2011. С. 575-580.
13. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Обоснование необходимости разработки трансмиссии геоходов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 24-27.
14. Chernukhin R.V., Dronov A.A., Blashchuk M.Y. The application of the analytic hierarchy process when choosing layout schemes for a geokhod pumping station // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 6. Сер. "6th International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering" 2015. С. 012086. doi: 10.1088/1757-899X/91/1/012086
15. Efremenkov A.B., Aksenov V.V., Blashchuk M.Yu. Force parameters of geohod transmission with hydraulic drive in various movement phases // Proceedings - 2012 7th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2012 2012. С. 6357716/ doi: 10.1109/IFOST.2012.6357716
16. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Нестеров В.И., Блащук М.Ю. Силовые параметры трансмиссии геохода с гидроприводом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. № 4 (92). С. 21-24.
17. Аксенов В.В., Блащук М.Ю., Чернухин Р.В. Определение суммарного расхода рабочей жидкости в гидросистеме геохода // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности сборник докладов XI международной научно-технической конференции Чтения памяти В.Р. Кубачека. 2013. С. 308-311.
18. Chernukhin R.V., Blaschuk M.Y., Chazov P.A., Blumenstein V.Yu. Objectivation of the necessity of structural and parametric synthesis of the hydraulic drive of geokhod // IOP Conference Series: Materials

Science and Engineering 7. Сер. "VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering"" 2016. С. 012003. doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012003
19. Blaschuk M.Y., Dronov A.A., Ganovichev S.S. Calculation of geometrical parameters of geokhod transmission with hydraulic cylinders // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 7. Сер. "VII International Scientific Practical Conference "Innovative Technologies in Engineering"" 2016. С. 012128. doi: 10.1088/1757-899X/142/1/012128
20. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39-42.
21. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. 2014. № 8-3. С. 945-950.
22. Коперчук А.В., Бегляков В.Ю. Синхронизация кинематических параметров геохода и стартового устройства // Инновационные технологии и экономика в машиностроении Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт; Ответственный редактор: Д.А. Чинахов. 2015. С. 436-438.
23. Коперчук А.В., Ворошилов В.В. Варианты стартовых систем геохода // Перспективы инновационного развития угольных регионов России Сборник трудов V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Пудов Е. Ю., Клаус О. А.. 2016. С. 130-132.
24. Коперчук А.В., Казанцев А.А. Обоснование необходимости разработки стартового устройства геохода// ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА В МАШИНОСТРОЕНИИ Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт; Ответственный редактор: Д.А. Чинахов. 2015. С. 439-440.
25. Вальтер А.В., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Чазов П.А. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геохода на основе данных координатного контроля // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. № 4 (69). С. 31-42.
26. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Определение отклонений геометрической формы оболочек корпусных изделий геохода // Актуальные проблемы современного машиностроения Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт. 2014. С. 165-170.
27. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2014. № 4 (65). С. 19-28.
28. Aksenov V.V., Walter A.V., Gordeyev A.A., Kosovets A.V. Classification of geokhod units and systems based on product cost analysis and estimation for a prototype model production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 6. Сер. "6th International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering" 2015. С. 012088. doi: 10.1088/1757-899X/91/1/012088
29. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов геохода // Механики XXI веку. 2015. № 14. С. 89-92.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Мяло, к.т.н., доц., В.В. Мяло, к.т.н., доц., С.П. Прокопов, ст. преподаватель
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
644008, г. Омск, ул. Институтская площадь, 2 тел. (3812)-65-04-45
E-mail: ov.myalo@omgau.org, vv.myalo@omgau.org, sp.prokopov@omgau.org

Решение проблемы повышения надежности машинно-тракторного парка в производственных условиях сельскохозяйственных предприятий важная и актуальная задача инженерной службы агропромышленного комплекса. Она может решаться за счет уменьшения времени простоев машин на техническом обслуживании (ТО) с использованием интенсивных методов выполнения операций в ненапряженном периоде полевых работ, а также передачи части операций ТО на специализированные предприятия технического сервиса. Одно из противоречий, заложенное в плановую систему технического обслуживания машин заключается в совпадении сроков выполнения работ, то есть чем больше наработка, тем больше операций технического обслуживания нужно выполнить. В результате в напряженные периоды полевых работ механизатор, чтобы обеспечить высокую наработку, в

ущерб профилактики вынужден устранять только последствия отказов, что приводит к их увеличению, производительность машин снижается, а затраты на эксплуатацию растут. В современных условиях, когда на механизатора приходится более одной машины, он физически не в состоянии один выполнять операции технического обслуживания и ремонта в положенные сроки. Поэтому целесообразно передать на специализированные предприятия часть работ по сложному техническому обслуживанию и ремонту. В статье предложена и обоснована структура формирования технического сервиса на предприятиях агропромышленного комплекса.

Machine and tractor fleet increasing reliability problem solution in the production conditions of agricultural enterprises is an important and urgent task of agro-industrial complex engineering service. It can be solved by the machines downtime reducing for maintenance (maintenance service) with intensive method use of performing operations in the unstrained field work period, as well as maintenance service transfer to specialized technical service enterprises partly. One of the contradictions inherent in the of machine maintenance planned system is work timing coincidence of, that is, the more time, the more maintenance operations must be performed. As a result, during intense field work periods, the machine operator, in order to ensure high operating time, to the prevention detriment is forced to eliminate only failures consequences, which leads to their increase, machines productivity is reduced, and operation costs are increasing. In modern conditions, when the machine operator has more than one machine, he is not physically able to perform maintenance and repair operations on time. Therefore, it is advisable to transfer to specialized enterprises part of the work on complex maintenance and repair. The article proposes and justifies technical service formation structure at agro-industrial complex enterprises.

Повышение производительности машин в современных условиях при существующей тенденции сокращения числа механизаторов возможно за счет снижения загрузки тракториста - машиниста работами по техническому обслуживанию и ремонту за счет специализации и интенсификации технического обслуживания.

Целью работы является установить влияние факторов уровня механизации сельскохозяйственного производства на доходность сельскохозяйственных предприятий на примере Омской области, уточнить долю работ по техническому обслуживанию, которую сельскохозяйственный товаропроизводитель может передать на специализированные предприятия технического сервиса при определенной величине доходности.

В качестве основных методов исследования использовались методы наблюдений непосредственно в условиях эксплуатации машинно-тракторного парка, данные литературных источников с оценкой сопоставимости условий, а также данные проведенных экспериментов на предприятиях агропромышленного комплекса, при обработке экспериментальных данных использовались методы математического моделирования и статистическая обработка полученных результатов.

Система технического сервиса сельскохозяйственной техники может быть жизненной лишь с учетом приоритета использования машин на сельскохозяйственных работах. Главная особенность использования сельскохозяйственной техники - неравномерность объемов сельскохозяйственных работ, выполняемых в различные периоды в течение года [1]. В таблице 1 показано распределение объемов работ за месяц в процентах к годовому по зонам хозяйствования.

Таблица 1

Объем работ за месяц, % к годовому

Период	Северный Кавказ и юг Украины	Северный Казахстан, Сибирь, Урал	Центральная нечерноземная зона	Северо-Запад
Зимний	4-5	2-4	5-6	6-7
Обычный	8-10	6-12	8-12	8-10
Напряженный	14-16	20-26	12-14	10-12

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что на напряженный период в зоне Сибири приходится четвертая часть годового объема механизированных работ. В этот период необходимо в сжатые сроки выполнить большой объем полевых работ, сдерживающим фактором оказываются непроизводительные простои машин на техническом обслуживании, ремонте и устранении последствий отказов, которые следовало бы сократить до минимума.

По мнению инженерно-технической службы загрузка механизатора работами по техническому обслуживанию и ремонту машин не должна превышать 20 – 25%. Если техническое обслуживание

проводит сам механизатор, то он выполняет всего 24% от общего количества запланированных обслуживаний, если подключается мастер-наладчик и он совмещает обязанности слесаря по устранению неисправностей, то объем работ выполняется на 43%, при полной специализации на 89%.

Таким образом, чтобы сформировать действенную систему технического сервиса в современных условиях, необходимо организовать в хозяйстве службу мастеров-наладчиков, специализирующихся на обслуживание современной сложной техники, а также обеспечить современную ремонтную базу. В условиях сельскохозяйственного производства в настоящее время, это становиться практически невозможным, так как несет огромное количество непроизводительных затрат, кроме того даже крупные сельскохозяйственные предприятия не могут позволить себе содержать целый штат мастеров-наладчиков круглый год при сезонности работ в условиях сельскохозяйственного производства. Но и организовать обслуживание современной техники, не изменяя сложившуюся систему становиться невозможно.

В условиях сельскохозяйственного производства Омской области наиболее эффективной системой технического обслуживания представляется дилерская система фирменного сервиса с созданием сети независимых дилерских служб и специальных предприятий по ремонту сложных агрегатов. Дилерская система технического сервиса предусматривает проведение ТО и ремонтов дилером. Фирма и дилер заключают дилерский договор. В Омской области дилерами заводов производителей сельскохозяйственной техники являются: ОАО "Семиреченская база снабжения"; ООО ПСК "Омскдизель"; ООО "Терра", ООО "АвтоСпецМаш"; ООО "СеверТрансАгро"; ЗАО "База снабжения Агромаш»"; АО "База Агрокомплект"; ООО «Сибирская база»; ФГУП «Омский экспериментальный завод»; ИП Шумилов В.В., ООО «ОмскАгроЛизинг», ООО «СибзаводАгро» [2].

На примере одного из дилерских центров можно рассмотреть основные направления формирования фирменного сервиса в Омской области. Например, технический центр базы снабжения «Сибирская» производит не только гарантийное, но и послегарантийное обслуживание, а так же текущий ремонт техники. В техническом центре базы снабжения «Сибирская» организованны мобильные бригады мастеров-наладчиков, обеспеченных передвижными агрегатами технического обслуживания (АТО). Обслуживание техники осуществляется по заявкам от сельскохозяйственных товаропроизводителей. В зависимости от содержания заявки АТО комплектуется необходимым оборудованием и специалистами. Одним из работников технического центра ведется журнал заявок по обслуживаемым хозяйствам, в журнале указываются: даты поступления заявки, наименование хозяйства, район, марка техники и предполагаемая неисправность. Если рассмотреть полигон распределения заявок на техническое обслуживание по районам Омской области за 2016 год (рис. 4.), то можно отметить достаточно большой разброс значений опытной частоты от нулевых значений до 40 заявок за сезон. При определении количества заявок учитывались все обращения в сервисный центр, то есть не только плановое ТО, но и претензии по отказам техники среди основных клиентов базы снабжения «Сибирская».

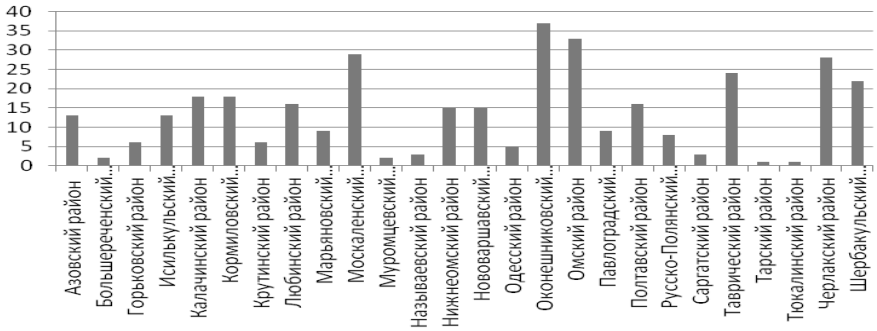


Рис. 1. Полигон распределения обращений в сервисный центр ООО база снабжения «Сибирская» по районам Омской области за 2016 год

Анализируя данные, представленные на рис.1 можно сделать следующие выводы: наиболее востребован сервис среди районов, расположенных ближе к административному центру г. Омску, например Омский район, Оконешниковский район, Москаленский район, видимо это связано с более низкими тарифами на обслуживание для ближайших районов. Также максимальное количество заявок прослеживается по районам, в которых расположены наиболее крупные сельскохозяйственные предприятия, например в Кормиловском районе ООО «Куском-Агро» в Черлакском районе СПК

«Большевик», имеющие высокие обороты и доходность. Таким образом, спрос на фирменный технический сервис, который необходим в современных условиях хозяйствования, может возникнуть только при определенной величине доходности сельскохозяйственного товаропроизводителя [4, 5]

При формировании математической модели затрат на поддержание машинно-тракторного парка в работоспособном состоянии на двух уровнях – уровне специализированного предприятия технического сервиса и сельскохозяйственного предприятия в пределах допустимых значений φijv – доли объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту, которую предприятие может передать специализированному предприятию получили следующую математическую модель:

$$C_{xjv} = \left(1 - \phi_{jv}\right)\Lambda_{jv}\left[\begin{array}{l} \bar{t}_{moj}S_x + \bar{t}_{TOj}C_{zv} + \dfrac{2R_{xjv}}{V_{трv}}\left(C_{mp} + C_{zv}\right) + \\ + \dfrac{t_{moj}}{t_{удто}H_{отк}}\left(\bar{t}_{отк}S_x + \bar{t}_{отк}C_{zv}\right) + \dfrac{t_{moj}}{t_{уд}H_{рх}}\left(\bar{t}_p S_x + \bar{t}_p C_{zv}\right) + t_{moj}K_x \end{array}\right] \quad (1)$$

где S_x и K_x – себестоимость и капитальные затраты на проведение j – того вида ТОР, руб/час;

$2R_{xjv}$ – расстояние транспортировки трактора на ТОР внутри хозяйства, км;

Λ_{jv} – количество заявок поступающих на j – тое обслуживание в ν – тый период;

C_{mp} – стоимость часа транспортировки трактора, руб;

V_{mpv} – скорость транспортировки трактора в ν – тый период, км/ч;

C_{zv} – стоимость часа простоя трактора в ν – тый период, руб;

$\bar{t}_{moj}$, $\bar{t}_{отк}$, $\bar{t}_p$ - продолжительность технического обслуживания, устранения последствий отказов и ремонта трактора в хозяйстве, час;

t_{moj} – трудоемкость j-ого технического обслуживания, чел. Час;

ϕ_{jv} - доля объемов работ по j – тому виду ТОР, передаваемых в специализированное предприятие;

$t_{уд}$ – удельная трудоемкость плановых ТО, приходящегося на один час работы трактора;

H_{OTK} и HP_x – наработка на отказ и наработка трактора при обслуживании его в хозяйстве.

В модели (1) затрат, C_{ijv} которые может понести хозяйство в зависимости от доходности при этом передавая долю объема работ ϕ_{jv} специализированному предприятию (обозначим функционалом M), и заменим следующие показатели R_x, H_{OTKx}, HP_x, S_x, K_x и $\bar{t}_j$ на соответственные значения R_c, H_{OTKc}, H_{Pc}, S_c, K_c и $\bar{t}_{jc}$, которые определятся как, расстояние до специализированного предприятия, наработка на отказ и межремонтная наработка трактора если бы его обслуживали на специализированном предприятии, себестоимость и затраты, переходящие на час работы предприятия соответственно и назовем данное выражение функционалом Z. При условии, что суммарные затраты на техническое обслуживание и ремонт, C_{jv} - которые может понести хозяйство $C_{jv} = C_{xjv} + C_{пред} \rightarrow \min$, стремятся к минимальному значению получим выражение:

$$C_{jv} = \Lambda_{jv} \cdot M + \Lambda_{jv} \cdot Z - \phi_{jv} \cdot \Lambda_{jv} \cdot M \quad (2)$$

При совместном решении двух функционалов M и Z, с соблюдением условия, что $M - Z \geq 0$ можно определить долю объемов работ на техническое обслуживание и ремонт (φ_{ij}), которую может передать предприятие АПК дилерскому предприятию технического обслуживания.

Потребитель услуг в сфере технического сервиса сельскохозяйственной техники может сформироваться при определенной величине доходности сельскохозяйственного предприятия. Чтобы определить насколько сильно на доходность влияют возраст тракторов, обеспечение кадрами механизаторов и энерговооруженность, изучим на многофакторной корреляционной модели типа [6]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots\ldots + b_n x_n \quad (3)$$

где y – зависимая переменная;

b_0 – свободный член, учитывающий неучтенные факторы;

x_1, x_2, x_3 – соответствующие факторы, характеризующие обеспеченность кадрами, возраст тракторов, и энерговооруженность.

При этом зависимая переменная y и все факторы, входящие в уравнение должны подчиняться нормальному закону [7]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp^{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Возраст тракторов может характеризовать их старение, которое оказывает влияние на безотказность. В ходе проведенных исследований установлено, что старение тракторов можно оценить коэффициентом старения, однако влияние этого фактора на доходность предприятия пока неизвестно. С целью исключения влияния площади пашни хозяйства на доходность, вводим удельный показатель Д (руб./100га).

Для исследования было выбрано 20 хозяйств на территории Омской области с различной площадью пашни, это значительно превышает количество наблюдений (n+1), где n – число неизвестных.

В результате обработки экспериментальных исследований получена многофакторная линейная модель:

$$y = 331,874 + 1771,333x_1 - 14,61x_2 + 3,196x_3 \quad (5)$$

Оценка достоверности полученной модели производилась по критерию Фишера, полученные данные достоверны.

Исследуя весомость показателей Pxi=Px1 получили следующие значения:

P_{x1}=29,3%, P_{x2}=14,59%, P_{x3}=56,11%,

Таким образом наибольшее влияние на доходность сельскохозяйственного предприятия оказывает энерговооруженность (56,11 %), далее по значимости идет фактор обеспечения кадрами (29,3%), также влияет возраст тракторов (14,59%). При проведении исследований установлено, что возраст тракторов варьирует в небольших пределах, так как практически большая часть тракторов на территории Омской области устаревшая, обновление идет очень медленно, на 3-4% в год, а после двенадцати лет использования техники коэффициент технического использования практически не меняется [8, 9].

На рисунке 2 представлено распределение выручки хозяйства в зависимости от среднего возраста тракторов и количества механизаторов на 100 га.

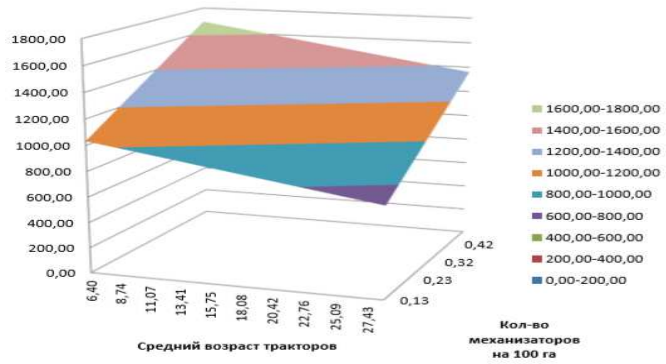


Рис. 2 Распределение выручки хозяйства в зависимости от возраста тракторов и количества механизаторов

На рисунке 3 представлено распределение выручки хозяйства в зависимости от среднего возраста тракторов и энерговооруженности кВт/га.

Рис. 3 Распределение выручки хозяйства в зависимости от возраста тракторов и энерговооруженности

На рисунке 4 представлено распределение выручки хозяйства в зависимости от среднего количества механизаторов на 100 га и энерговооруженности кВт/га.

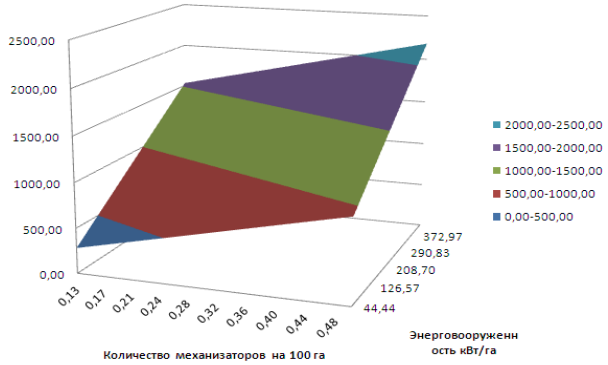


Рис. 4 Распределение выручки хозяйства в зависимости от количества механизаторов и энерговооруженности

Анализ данных зависимостей показывает, что выручка, а следовательно и доходность предприятия напрямую зависит от рассмотренных показателей. Таким образом, чем выше энерговооруженность хозяйства и количество механизаторов, тем большую часть выручки имеет возможность вложить хозяйство в договора с дилерами и специализированными центрами технического обслуживания.

Полнота и качество технического обслуживания, а также производительность машин, прежде всего, зависит от загрузки работами по техническому обслуживанию тракториста-машиниста, а также концентрации и специализации выполняемых операций технического сервиса [10]. Формирование дилерской системы технического сервиса сельскохозяйственной техники, мы считаем, возможно с момента ее продажи при гарантийном обслуживании, кроме того для обслуживания подержанной техники хозяйство может заключать договора на после гарантийное обслуживание на сложное ТО и ремонт в объеме той доли работ, которая может складываться при определенной величине доходности. Для проведения не трудоемких технических обслуживаний могут привлекаться механизаторы и привлеченные в напряженный период работ мастера-наладчики.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при формировании служб технического обслуживания следует учитывать существенное влияние количества механизаторов и возраст тракторов;

- доходность сельскохозяйственного предприятия больше всего зависит от энерговооруженности хозяйства (56,11 %), также на доходность влияет обеспеченность кадрами механизаторов (29,3%) и возраст машинно-тракторного парка (14,59%);

- доходность сельскохозяйственного предприятия является одним из основных факторов, который определяет возможность заключения договоров на техническое обслуживание между сельскохозяйственным производителем и дилерскими и сервисными предприятиями технического обслуживания.

Список литературы

1. Организация ремонтно-обслуживающего производства в сельском хозяйстве: учебник / Юдин М.И., Стукопин Н.И., Ширай О.Г. - Краснодар: КГАУ.- 2002.- 944с.
2. Machine-Tractor Aggregates Operation Assurance by Mobile Maintenance Teams. / G. V. Redreev, O. V. Myalo, S. P. Prokopov, A. P. Solomkin1, G. A. Okunev - IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 221 (2017) 012016 http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/221/1/012016/pdf
3. Ensuring Machine and Tractor Aggregates Operability. / G.V. Redreev - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 142, Number 1. http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/142/1/012085
4. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учебн. пособие / под ред. В.И. Черноиванова. - Москва – Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ.- 2003.- 992 с.
5. Формирование парка сельскохозяйственных тракторов в Красноярском крае // Н.И. Селиванов, В.В. Матюшев, Н.И. Чепелев, И.А. Васильев // Достижения науки и техники АПК – Москва, 2017. №9. С. 72 – 75.
6. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности/ Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев и др.// – М.: Наука, 1965. – 524 с.
7. Технико-технологическое обеспечение сельхзотоваропроизводителей в условиях перехода к инновационной экономики / А.В. Кучумов, А.В. Белокопытов // Достижения науки и техники АПК – Москва, 2017. Т.31. №12. С. 78 – 81.
8. 8.Совершенствование технического сервиса в АПК на основе оценки и анализа технологического уровня ремонтных предприятий / А.И. Аносова, М.К. Бураев // Достижения науки и техники АПК – Москва, 2014. №10. С. 65 – 68.
9. Технике АПК – качественный сервис / Н.М. Иванов, А.Е. Немцев, В.В. Коротких // Достижения науки и техники АПК – Москва, 2016. Т.30. №4. С. 81 – 82.
10. Формирование технического сервиса сельскохозяйственной техники / Бабченко Л.А. - Диссертация док. техн. наук. – Алматы, 2010 г.- 567 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Н.А. Зарипова, к.т.н, доц., А.С. Союнов, к.т.н., доц.,
С.П. Прокопов, ст. преподаватель
Омский государственный аграрный университет
644008, г. Омск ул. Физкультурная 1, тел. (3812)-65-25-72
E-mail: sp.prokopov@omgau.org

Исследования посвящены стоку талых вод и механизму смыва почвы со склонов. При сложном рельефе местности с крутизной склона до 4°, основным способом защиты почвы от эрозии будет формирование на поверхности поля лунок, выполняемых методом копания и штампования (прессования). Установлена более высокая агротехнологическая эффективность лункования методом штампования (прессования). Форма, размеры и расположение лунки относительно склона оказывают влияние на ее аккумулирующую способность, рекомендуется лунки формировать чашеобразной формы, малого объема, а удержание талых вод регулировать их количеством на единице площади.

Studies are devoted to the drain of meltwater and the mechanism of flushing the soil from the slopes. With a complex terrain with a slope of up to 4 °, the main way to protect the soil from erosion will be the formation of holes on the surface of the field, performed by digging and stamping (pressing). A higher agrotechnological efficiency of the luncheon is established by the method of stamping (pressing). The shape, size and location of the hole relative to the slope affect its storage capacity, it is recommended that the wells form a cup-like shape, of small volume, and the retention of thawed waters should be regulated by their quantity per unit area.

Для формировании лунок методом копания известно орудие - дисковый лункообразователь с эксцентрично закрепленными сферическими дисками на валу, плоскость вращения которых составляет некоторый угол с направлением поступательного движения (угол атаки), что обеспечивает на поверхности поля формирование углублений за счет выкапывания и сгружевания в сторону почвы [3,

4]. Лунки получаются овальной формы, вытянутой в направлении поступательного движения и размещаются в шахматном порядке.

Такая технология имеет ряд существенных недостатков: лунки образуются большого объема и аккумулируют в себе большое количество воды, масса которой на склоне обладает запасом потенциальной энергии и давлением на стенки лунки. Рыхлая, вследствие предварительно проведенной плоскорезной обработки и способа образования лунки, почва, влажность которой достигает уровня наименьшей влагоемкости (НВ) становится особенно подвижной и слабо устойчивой к размыву, поэтому стоит только в одном месте разрушиться стенке лунки водой, как тут же проявляется лавинный эффект, который усиливается с разрушением каждой последующей лунки. Таким образом, сама лунка, цель которой задержать некоторый объем воды, может стать причиной начала проявления водной эрозии (рис. 1). Лунки больших размеров осложняют их последующие обработки и ухудшают качество посева.

Рис. 1. Вид поля в период весеннего снеготаяния, обработанного дисковым лункообразователем

Устранение недостатков лункования методом копания, возможно заменой технологией формирования лунок штампованием, при которой в почву вдавливается штамп, образующий углубления (лунки) с уплотненными стенками (рис. 2).

Рис. 2. Вид поля в период весеннего снеготаяния, обработанного прессовым штампом

Процесс формирования прессованных углублений осуществляется перекатыванием катка с рабочими органами для вдавливания почвы [5] по предварительно обработанной поверхности.

Рассмотрим агротехнологические преимущества лунок во взаимосвязи их с технологией выполнения, размерами и объемом.

Анализ скорости фильтрации в лунках разного объема

При условии, когда значение максимального уровня талой воды над почвой больше нуля $h_{max} > 0$, на землях с уклоном возможно проявление процессов эрозии, вызванных стоком этих вод.

С целью предотвращения стока на склонах, задержание воды на поверхности поля с последующей ее фильтрацией вглубь предлагается осуществлять с помощью влагоаккумулирующих лунок, расположенных равномерно по полю и образованных ниже дневной поверхности почвы, объем которых соответствовал бы количеству воды, поступающей из снега и определяющийся величиной h_{max}, значение которой зависит от скорости фильтрации воды в почву.

Рассмотрим влияние объема лунок на изменение скорости фильтрации в них воды.

Согласно закону Дарси [6], фильтрация воды в почве со средним диаметром пор d, идет со скоростью:

$$v = \frac{Sd^2}{32\eta}\left[\rho g - \Delta p\right] \tag{1}$$

где ν – скорость фильтрации воды в почву, мм/с;

S – площадь поверхности фильтрации, мм^2;

$\Delta p = \frac{\partial P}{\partial x}$, P – давление жидкости, г/мм^2;

η – вязкость жидкости, г/см^{2}с

ρ – плотность жидкости, г/мм^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Если глубина промачивания почвы вдоль траектории движения потока равна z, а слой воды над фильтром равен h, то разность давлений на нижней и верхней границах фильтра рассчитывается по формуле:

$$\Delta p = -\rho g h / z \tag{2}$$

Для простоты расчетов примем, что в поперечном сечении лунка имеет форму прямоугольника с основанием шириной «а» и высотой h (рис. 3).

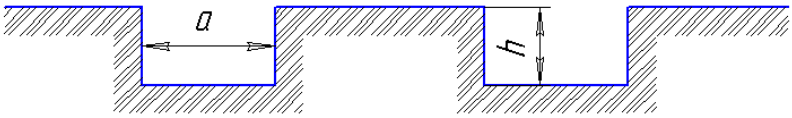


Рис. 3. Параметры лунки

Тогда объем воды V в лунке длиной, равной единице, соответствует:

$$V = 1 \cdot a \cdot h\,.$$

Возникает вопрос: какой объем лунок обеспечивает более высокую скорость фильтрации воды в лунках?

Поскольку фильтрация в лунке осуществляется как через дно лунки, так и через ее боковые стенки, то естественно предположить, что величина поверхности фильтрации может быть принята:

$$S = a + \alpha h\,, \tag{3}$$

где α – коэффициент, учитывающий форму лунки.

Проведем сравнительный анализ скорости фильтрации воды в лунках разных объёмов V_1 – большой (мм^3) и V_2 – малой (мм^3), которые определяются:

$$V_1 = ah, \tag{4}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{2} = \frac{a}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{\sqrt{2}}\,. \tag{5}$$

Подставляя значения (2), (3), (4), (5) в уравнение (1), получим скорость фильтрации воды в первой лунке:

$$v_1 = K(a + \alpha \cdot h) \cdot \left(1 + \frac{h}{z}\right), \tag{6}$$

где $K = \frac{a^2 \rho \cdot g}{32 \cdot \eta}$.

Скорость фильтрации во второй лунке составит:

$$v_2 = K\left(\frac{a}{\sqrt{2}} + \alpha \frac{h}{\sqrt{2}}\right) \cdot \left(1 + \frac{h}{\sqrt{2} \cdot z}\right). \quad (7)$$

Умножив выражение (7) на величину $\frac{\sqrt{2}\sqrt{2}}{2}$, получим:

$$v_2 = \frac{(a + \alpha \cdot h) \cdot \left(\sqrt{2} + \frac{h}{z}\right)}{2}. \quad (8)$$

Поскольку из отношений (6) и (8) следует, что $2v_2 > v_1$, то можно сделать вывод, что более предпочтительны лунки малых размеров. Причем увеличение скорости фильтрации будет равно величине:

$$\sqrt{2}(a + \alpha \cdot h) \quad (9)$$

Рассмотрим зависимость скорости фильтрации в лунки от её ширины и высоты.

Поставленная задача сводится к следующему:

$$\begin{cases} \left(\frac{V}{h} + \alpha \cdot h\right) \cdot \left(1 + \frac{h}{z}\right) \to \max \\ 16 \geq h \geq \frac{V}{100} \end{cases} \quad (10)$$

При достаточно большой глубине промокания почвы, эта задача имеет решение: a = 100; h = V / 100, то есть лунка должна быть по возможности более широкая.

Однако, в начальной стадии, когда еще фильтрационные потоки в глубине почвы не слились в единый поток, более быструю фильтрацию будет обеспечивать более глубокая лунка.

Следует отметить, что лункование обеспечивает не только удержание талых вод на склоне, но и позволяет в ранние сроки осуществлять фильтрацию в нижний почвенный слой на глубину более 16 см. Это позволяет уменьшить объем влаги, не впитавшейся в почву по сравнению с расчётным, к началу периода таяния следующего дня. То есть фильтрация в более плотные нижние слои растягивается на более длительный период времени.

Основные агротехнологические показатели сравниваемых технологий и результаты экспериментальных исследований

Проведем сравнительный анализ противоэрозионной и влагоаккумулирующей способности лунок, выполненных методом копания и прессования.

Основные параметры лунок: объем одной лунки при копании составляет 15 л, при прессовании – 2.1 л, необходимый объем на единице площади достигается их количеством, равным соответственно 1.5 и 11 шт./м^2.

Накопление влаги зимних осадков почвой определяется разностью влажности почвы в периоды перед уходом в зиму и после схода снега. Усвоение талой воды определяется в процентах отношением накопленных осадков к запасам воды в снеге, приходящимися на период его таяния (табл. 1). Основным критерием, определяющим способность почвы пропускать сквозь себя талые воды в степной зоне Западной Сибири, остается величина осеннего увлажнения почвы, особенно ее верхних горизонтов [7, 8].

Таблица. 1

Динамика влаги зимних осадков в метровом слое почвы, мм

вариант	Осенние запасы влаги	Запасы воды в снеге	Технология выполнения лунок методом					
			копания			прессования		
			Весенние запасы влаги	Накопление влаги	Усвоение талой воды, %	Весенние запасы влаги	Накопление влаги	Усвоение талой воды, %
1	210.0	108.0	210.2	+0.2	0.2	214.6	+4.6	4.3
2	175.4	103.0	217.0	+42.1	40.9	225.9	+50.5	49.0
3	175.8	112.0	189.9	+14.1	12.6	207.6	+31.9	28.4
4	134.0	93.0	159.7	+25.7	27.6	219.1	+85.1	91.5
среднее	173.4	104.0	194.3	+20.5	19.7	216.8	+43.0	41.4

При максимальном увлажнении осенью (вариант 1) верхнего слоя 0-10 см и наименьшей влагоемкости (НВ) близкой 40 % к массе почвы, весной накопление влаги было минимальным за весь период исследований и составило на малых лунках + 4.6; на больших + 0.2 мм. Усвоение влаги зимних осадков соответственно равно 4.3 %, 0.2 %. Весной, когда почва в зиму ушла сухой (вариант 4), влажность была близкой влажности завядания (ВЗ) и составила около 13 % , ни на одном из методов лункования сток не наблюдался. При этом максимальное усвоение талой воды 91.5 % (+ 85.1 мм) отмечено на малых лунках. На больших - накопление оказалось ниже и составило 27.6 % (+ 25.7 мм). При средних осенних запасах влаги в метровом слое – 175 мм (варианты 2 и 3) значительное расхождение в накоплении влаги весной определилось методом поделки лунок. Накопление + 50.5 и + 31.9 мм соответственно по вариантам наблюдалось на малых лунках, что в 1.2 и 2.3 раза больше, чем на больших. Среднее накопление влаги почвой за один интервал времени по 4 вариантам составило: на участке с большими лунками + 20.5 мм; на участке с малыми – + 43.0 мм. Если принять, что скорость фильтрации есть отношение впитавшейся воды к промежутку времени, за которое это впитывание прошло, то отношение скоростей фильтрации за равный промежуток времени будет равно отношению количества впитавшейся воды:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{Q_1}{Q_2}.$$

Численное значение выражения для нашего случая будет:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{43.0}{20.5} = 2.1$$

Скорость фильтрации маленьких лунок в 2.1 раза выше, чем в больших.

Выявлена обратная зависимость между количеством впитавшейся воды и стоком талых вод. В таблице 2 приведены данные о распределении стоков по вариантам на сравниваемых лунках.

Таблица. 2

Сток воды на лунках разного объема, м^3/га

вариант	Технология формирования лунок методом	
	копания	прессования
1	652.0	635.0
2	534.0	234.0
3	557.0	268.0
4	Сток не наблюдался	
Среднее	436.0	284.3

Влияние осенней влажности почвы на сток талых вод, определяющих интенсивность эрозионных процессов представлено на рис.4.

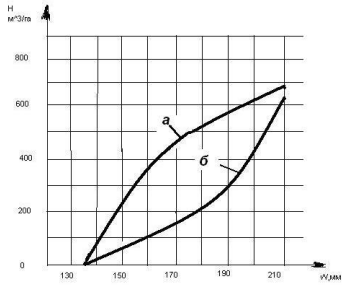


Рис. 4. – Зависимость стока воды от осенней влажности почвы:
а – на больших лунках, б – на малых лунках

Экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что при влажности почвы, близкой к НВ, данные способы образования лунок не могут эффективно влиять на увеличение фильтрации воды в почву и уменьшении ее стока, поскольку прирост слоя воды из снега во много раз выше ее фильтрационной способности, однако в некоторой степени на склоне они способны удержать тот объем влаги, который соответствует объему водоудерживающей способности лунок без учета ее фильтрации в почву.

При влажности, близкой к ВЗ, наблюдается провальная фильтрация независимо от размера лунок.

При средней осенней влажности почвы проявляется во взаимодействии оба фактора, причем величина стока находится в обратной зависимости от скорости фильтрации, которую мы, как показали результаты расчетов, можем регулировать размерами лунок при условии их одинакового объема на единице площади, который соответствует теоретическому расчету максимального притока воды 15.7 м3 / га [5]. Именно при этих условиях наиболее эффективным является способ прессования малых лунок.

Процессы внутрисуточного попеременного замерзания – оттаивание почвы для уплотненных лунок, играют положительную роль в плане разуплотнения стенок и изменения объема в сторону уменьшения[9]. После схода снега поверхность поля с малыми лунками имеет большую выравненность в сравнении с большими, что обеспечивает меньшую площадь испарения и, следовательно, лучшее сохранение накопленной почвой влаги.

Показатели плодородия почвы [10] вынос почвы, гумуса и макроэлементов, определялись из проб воды, и пропорциональны ее стоку. На малых лунках в сравнении с большими сократились: смыв почвы 1.7 раза, вынос гумуса, как основного показателя почвенного плодородия - в 4 раза, фосфора - в 1.8 раза, калия в - 1.8 раза, анализ содержания азота в данный период затруднителен из-за его высокой подвижности.

Поделка малых лунок в большей степени удовлетворяет противоэрозионной системе земледелия на склонах в районах промерзания почвы, поскольку в сравнении с большими лунками достигается меньший сток воды, потери почвы, повышение плодородия и дополнительное накопление влаги, зимних осадков.

Список литературы

1. Иванов В.Д. Влияние влажности и глубины промерзания почв на поверхностный сток талых вод / В.Д. Иванов // Почвоведение. – 1982. – №6. – С. 80-86.
2. Комаров М.И. Противоэрозионная обработка почвы катком – ячейкоделателем на сложных склонах / М.И. Комаров, Д.Д. Олейник // Механизация по защите почв от эрозии. – М., 1969. – С. 69-92.
3. Маметов Р.И. Исследование и обоснование параметров дисковых рабочих органов для лункования зяби: Автореф. Дис. …канд. техн. наук: 05.20.01. – М., 1979. – 20 с.
4. Сиволапенко В.И. Исследование и обоснование параметров рабочих органов дискового лункообразователя в условиях Северного Кавказа: Автореф. Дис. …канд. техн. наук: 05.185. – Кранодар, 1972. – 20 с.
5. Зарипова Н.А. Обоснование параметров орудия для основной обработки склоновых земель: Дис. …канд. техн. наук. – Омск, 1991. – 140 с.
6. Darcy H. Les fontaines publiques de la ville de Digon. – Paris, 1986. – b 47p.
7. Ревут И.Б. Физика почвы / И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1972. – 367 с.
8. Чудновский А.Ф. Теплотехника почв / А.Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1976. – 352 с.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. - М., 1963. - 636 с.
10. Шишов Л.Л., Критерии и модели плодородия почв / Л.Л. Шишов, И.И. Карманов, Д.Н. Дурманов. –М.: Агропромиздат, 1987. – 183 с.

ТРЕБОВАНИЯ К УЗЛУ СОПРЯЖЕНИЯ СЕКЦИЙ ГЕОХОДА

А.А. Дронов, ст. преподаватель, аспирант
Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
650061, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-63
E-mail: aa-dronov@mail.ru

Проведен анализ работы узла сопряжения секций (УСС) геохода. Сформированы требования к узлу сопряжения секций геохода.

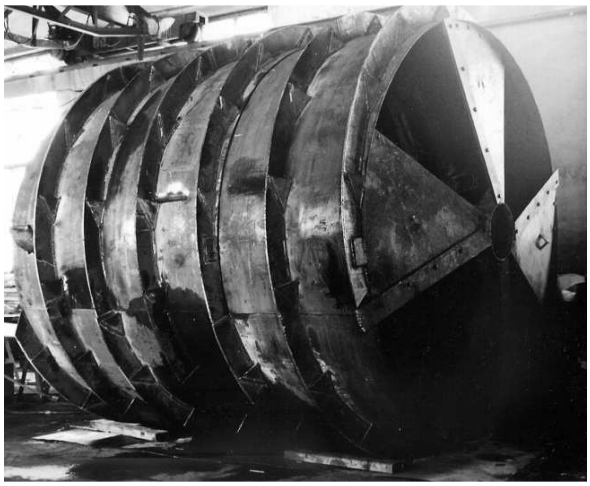
The analysis of the operation of the bearing unit of the geokhod is carried out. The requirements for the bearing unit of the geokhod are formed.

Геовинчестерная технология (ГВТ) – процесс механизированного проведения горных выработок с формированием и использованием системы законтурных винтовых и продольных каналов, в котором операции по разработке забоя, уборке горной массы, креплению выработанного пространства, а также перемещению всей проходческой системы на забой осуществляются в совмещенном режиме [1-3].

При данной технологии проведения горных выработок массив горных пород используется в качестве опорного элемента [4,5]. Это позволяет проводить выработку практически в любом пространственном направлении. При этом все операции проходческого цикла проходят в совмещенном режиме.

Основой ГВТ является новый класс горной техники – геоход. Головная секция геохода совершает вращательно-поступательное передвижение по принципу ввинчивания в горный массив. Хвостовая секция геохода совершает только поступательное движение вслед за головной секцией.

В щитовых проходческих агрегатах (ЩПА) ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4 (рис. 1), которые являлись первыми прототипами геоходов, был реализован раздельный режим перемещения секций [6,7]. В ЩПА ЭЛАНГ-3 в процессе движения одни и те же гидроцилиндры поочередно то выдвигают, то подтягивают секции, и агрегат совершает прерывистую подачу на забой. В двухсекционном образце ЭЛАНГ-4 после перемещения головной секции на забой на некоторую величину стабилизирующая секция перемещается к головной за счет гидроцилиндров надвига. Эти гидроцилиндры выполняют функцию узла сопряжения секций.



а)

б)

Рис. 1. Щитовые проходческие агрегаты: а) ЭЛАНГ-3, б) ЭЛАНГ-4

Однако в новых поколениях геоходов предложена конструктивная схема, реализующая совмещенный принцип перемещения секций. Он реализуется за счет УСС, который обеспечивает сцепление секций. Узел сопряжения секций – важное устройство, обеспечивающее общую работоспособность геохода [2,3].

Данная схема обладает рядом преимуществ перед пенальной конструкцией. Снижаются потери на трение в УСС, уменьшается вероятность перекоса секций. Помимо этого, за счет передачи тягового усилия от головной секции непосредственно к стабилизирующей, отпадает необходимость использования гидроцилиндров надвига.

В ходе создания опытного образца геохода разрабатана новая конструкция геохода [8-11] в которой УСС выполнен в виде модуля (рис. 2). Данный модуль находится между секциями геохода и

сочленен с ними. Это повышает унификацию составных элементов геохода. Также модульная конструкция позволяет использовать различные виды УСС на базе одного и того же агрегата. Данная возможность особенно полезна при проведении длинных подземных выработок с различными горно-геологическими условиями.

Кроме того, стоит отметить, что габаритные размеры УСС сопоставимы с размерами секций геохода [12]. Соответственно установка и замена УСС возможна лишь при разборной конструкции узла. При этом отдельные компоненты УСС в разобранном виде должны иметь размеры, позволяющие их транспортировку по проводимой горной выработке, а также не превышающие размеров внутреннего пространства хвостовой секции геохода.

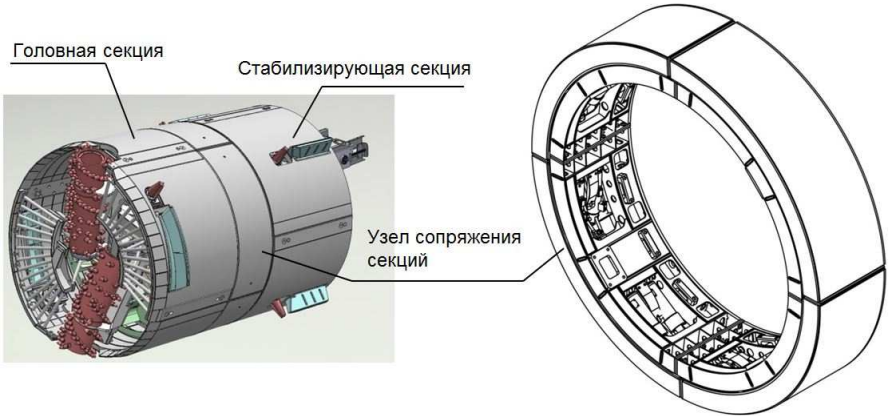


Рис. 2. Опытный образец геохода с УСС модульного типа

На основании особенностей работы геохода и его заявленных характеристик были сформированы требования к УСС геоходов нового поколения [12,13]. Конструкция УСС должна обеспечивать:

- сцепление секций геохода;
- непрерывность перемещения агрегата на забой;
- работу геохода при любом его пространственном положении;
- достаточную прочность конструкции геохода;
- достаточное свободное пространство внутри агрегата.

Выводы. Сформированные требования к УСС геохода позволят разработать компоновочные, схемные и конструктивные решения УСС будущих поколений геоходов.

Список литературы

1. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. д-ра техн. наук. Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. 307 с.
2. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания систем геохода: дис. д-ра техн. наук. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 314 с.
3. Аксенов В.В. , Бегляков В.Ю., Блащук М.Ю., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Хорешок А.А., Вальтер А.В. Геоход: задачи, характеристики, перспективы // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 3–8.
4. Бегляков В.Ю., Аксенов В.В. Поверхность забоя при проходке горной выработки геоходом. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 149 с.
5. Аксенов В.В., Ананьев К.А., Бегляков В.Ю. Использование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 2. С. 56–62.
6. Блащук М.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геохода с гидроприводом: дис. кан-та техн. наук. Юрга: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2012. 155 с.
7. Тимофеев В.Ю. Обоснование параметров трансмиссии геохода с волновой передачей: дис. кан-та техн. наук. Юрга: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2012. 145 с.
8. Blaschuk M. , Dronov A., Koperchuk A., Chernukhin R., Litvinenko V. Kinematic Parameters Of Rotary Transmission With Hydraulic Cylinders // E3S Web Conf. 2017. В. 15. С. 03003.

9. Ананьев К.А. Создание исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемерово: КузГТУ, 2016. 144 с.
10. Ермаков А.Н. Обоснование параметров законтурных исполнительных органов геоходов для разрушения пород средней крепости: дис. кан-та техн. наук. Кемеро-во: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2016. 158 с.
11. Sadovets V.Y., Beglyakov V.Y., Efremenkov A.B. Simulation of Geokhod Movement with Blade Actuator // Appl. Mech. Mater. 2015. В. 770. С. 384–390.
12. Дронов А.А., Блащук М.Ю., Тимофеев В.Ю. Формирование требований к узлу сопряжения секций геохода // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 8 (126). С. 39–42.
13. Дронов А.А. Обоснование необходимости разработки узла сопряжения секций геоходов // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. 2013. В. 2. С. 313–314.

МЕХАНИЗМ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЯ

М.В. Ананьева, к.ф-м.н, Н.В. Газенаур, В.В. Галкина
Кемеровский государственный университет
650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842) 58-05-91
E-mail: kriger@kemsu.ru

В работе проведено моделирование процесса зарождения очага эндогенного пожара и намечены пути мобильного определение вероятности его возникновения или наличия. Механизм самовозгорания учитывает процессы тепловыделения при нагревании угля, выделения летучих продуктов, трещинообразование и изменение режима доступа кислорода в очаг реакции в ходе его эволюции. Проведено математическое моделирование процесса самовозгорания угля трех марок угля – антрацит, коксующийся, жирный, проведен расчет динамики температурных полей на поверхности очага самовозгорания, определены критические условия. Для мобильного определения вероятности возникновения или наличия эндогенного пожара предложено использовать беспилотные летательные аппараты.

In this work simulation of spontaneous combustion of coal of three grades – anthracite, coking coal, fat in case of lack of oxygen supply and calculation of dynamics of the temperature fields on the surface was made, critical conditions of the hearth of spontaneous combustion were estimated. The mechanism takes into account the processes of heat release, the release of volatile products, cracking and changes in the mode of access of oxygen to the reaction center during its evolution.

Подземные пожары на угольных складах и разрезах являются негативным следствием использования топлива. Они приводят как к уничтожению угля, выбросу сажи и парниковых газов, так и к оседанию грунта, разрушению поверхностных пород и фундамента строений. Пожары несут прямую угрозу людям и технике, работающей вблизи очага пожара. Подземные пожары опасны также тем, что могу возникать спонтанно в результате самовозгорания угля и до определенного момента их обнаружение достаточно проблематично. Движущей силой подземного пожара является экзотермическая реакция окисления углерода кислородом, входящем в состав угля. Целью работы является моделирование процесса зарождения очага эндогенного пожара и определение путей мобильного определение вероятности его возникновения или наличия на угольных предприятиях Кузбасса.

Численное моделирование процесса самовозгорания угля является чрезвычайно важной задачей, широко освещенной в статьях международных журналов [1-3]. При этом не разработано единой модели, позволяющей на современном уровне учесть основные физико-химические процессы и свойства породы. В работе сформулирован и начато исследование механизма самовозгорания угля, учитывающего химические процессы, различные варианты доступа кислорода, трещинообразование, уравнение состояния, марку угля и мощность пласта [4,5]. Для решения данной задачи привлечен опыт решения ряда смежных задач: процессов зажигания углей, механохимии и механики угольных пластов. Таким образом, особенно важным является построение физико-химической модели очага тепловыделения, строго опирающейся на результаты именно экспериментально измеренных профилей температур на реальных объектах, штабелях угля или поверхности грунта над очагом подземного угольного пожара.

В работе проведено математическое моделирование процесса самовозгорания угля наиболее популярных в Российской Федерации марок угля (антрацит, коксующийся, жирный) в условиях свободного притока кислорода, расчет динамики температурных полей на поверхности, определение критических условий очага реакции самовозгорания и конфигурации температурного поля на поверхности. Механизм

самовозгорания на современном уровне учитывает ряд отдельно изучаемых процессов тепловыделения при нагревании угля, выделения летучих продуктов, трещинообразования и изменения режима доступа кислорода в очаг реакции в ходе его эволюции. Для моделирования самовозгорания угольных складов достаточно учитывать механизм горения угля с учетом быстрого подвода кислорода и отвода горячих продуктов горения, кондуктивного теплопереноса [3-5]. Для моделирования самовозгорания подземных угольных пластов кроме механизма горения угля необходимо учитывать ограниченность доступа кислорода и отвода продуктов реакции. Поэтому необходимо включать в модель уравнения состояния, позволяющие отслеживать возрастающее давление продуктов реакции, и связанное с этим трещинообразование. Формулируемая модель относится к задаче Стефана.

Для численного моделирования самовозгорания угольных складов создан пакет прикладных программ, включающий введение начальных условий задачи, расчет изменяющейся в ходе моделирования процесса самовозгорания расчетной сетки, оценка констант процесса в зависимости от текущей температуры. Результатом выполнения программы является расчет эволюции температурных полей и расхода энергетического вещества вследствие учета потоков температуры (тепловой энергии) через границы расчетной сетки. Отдельным блоком программы является визуализация результатов расчета, в первую очередь - температурных полей на границе расчетной области (поверхности угольного склада) и в очаге реакции самовозгорания. На основании литературных данных выбраны кинетические параметры модели (предэкспоненциальный множитель и энергия активации в зависимости от температуры). Рассчитаны критические условия и динамика температурных полей в очаге самовозгорания в зависимости от геометрических параметров расчета. Численное моделирование кинетических закономерностей самовоспламенения угля в различных условиях с определением критических характеристик процесса (температура самовозгорания при заданном расстоянии до поверхности) и распределения температуры на поверхности проведены с использованием 4-х ядерного вычислительного комплекса.

Основная отслеживающаяся характеристика процесса – динамика температурных полей на поверхности угля на складе и земли над угольным пластом. Численное решение систем дифференциальных уравнений в частных производных, соответствующих механизмам процессов, выполнено на сетке с переменным шагом по координате. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений будет решаться методом Рунге-Кутты 1-5 порядка с переменным шагом по времени. Относительная погрешность составит не более 10^{-9}, при этом интегральная относительная погрешность, оцениваемая по точности выполнения закона сохранения энергии, не превысит $2.5 \cdot 10^{-5}$.

В режимах, когда тепло не может быстро рассеиваться из очага реакции, уголь может начать гореть при температурах ниже 100 °С (до 80 °С). Это происходит в хорошо аэрированных (часто в результате добычи) объемах угля под землей, а также на поверхности в штабелях. Вероятность спонтанного горения тем выше, чем ниже ранг угля и выше содержание летучих компонентов. Наибольшая вероятность возникновения угольных пожаров существует именно в местах угледобычи. Подземные угольные пожары происходят во всем мире и представляют собой гораздо более значительную геологическую и экологическую опасность, чем принято считать.

Для регистрации пожаров используются термокамеры и тепловые сканеры, установленные на самолетах или вертолетах. Данные таких исследований чрезвычайно важны и отличаются высокой точностью, однако они очень дороги, что делает этот метод совершенно непригодным для локального мониторинга на складах. Еще один их существенный недостаток заключается в риске для жизни экипажа, в связи с частыми неблагоприятными условиями видимости, в результате задымления в районе исследования.

Также существует возможность мониторинга и анализа угольных месторождений из космоса. Данный метод позволил провести чрезвычайно широкие научные изыскания по мониторингу и анализу причин возникновения угольных пожаров по всему миру [2]. Принципиальными его недостатками являются дороговизна и относительно низкое пространственное разрешение получаемых данных.

В последнее десятилетие чрезвычайно возросла роль беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в промышленности в целом, так и в отрасли добычи минерального сырья. Применения БПЛА значительно облегчает геодезические работы, позволяет реализовать расчёт объемов выемки и добываемого сырья, позволяет проводить геологические изыскания. Основным достоинством применение БПЛА является существенное снижение затрат на указанные виды изысканий, а также рисков в результате уменьшения числа персонала непосредственно на месте угледобычи.

Применение беспилотных летательных аппаратов является оптимальным для подробного построения профиля температуры на реальной поверхности грунта над очагом. При одновременно использова-

нии двух БПЛА, оснащенных фотокамерой и тепловизором, возможно в короткие сроки построить 3D-модель местности и наложить на неё поверхностное распределение температуры с высокой детализацией. Преимуществами данного метода является низкая себестоимость работ, оперативность, отсутствие необходимости опасного размещения техники и персонала в непосредственной близости от пожара.

В дальнейшем планируется провести проверку работоспособности механизма зажигания угля в различных условиях подхода кислорода при помощи сравнения с экспериментальными температурными полями реальных эндогенных пожаров, полученных с использованием БПЛА.

Заявка № 18-71-10055

Список литературы

1. Saleh, Muksin, Yuswan Muharram, and Yulianto S. Nugroho. Modeling of the Crossing Point Temperature Phenomenon in the Low-temperature Oxidation of Coal. // International journal of technology 8.1. 2017. p. 104-113.
2. Xu, Yong-liang, et al. Spontaneous combustion coal parameters for the Crossing-Point Temperature (CPT) method in a Temperature–Programmed System (TPS). // Fire Safety Journal 91. 2017. p. 147-154.
3. Wang, Yongjun, et al. Determination of critical self-ignition temperature of low-rank coal using a 1 m wire-mesh basket and extrapolation to industrial coal piles. // Energy & Fuels 31.7. 2017. p. 6700-6710.
4. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование процесса зажигания угольной пыли в присутствии металлических частиц //Химия твердого топлива. 2017. №. 1. С. 28-35.
5. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2015. V. 9. No. 2. pp. 242–249.

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ПРОГРЕССИВНАЯ ПРОТЯЖКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

Г.Т. Итыбаева, к.т.н., Ж.К. Мусина, к.т.н., А.Ж. Таскарина, доктор PhD
Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова
140008, г. Павлодар ул. Ломова 64, тел. (7182)-67-36-33
E-mail: galia-itibaeva@mail.ru

Актуальной проблемой является обработка отверстий деталей машин, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. Для решения этой проблемы разработана конструкция двухступенчатой прогрессивной протяжки, которая позволит увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

The actual problem is the machining of the holes of machine parts, to which high demands are placed on the accuracy of size, shape and location. To solve this problem, the design of a two-stage progressive broach has been developed that will increase the processing capacity, reduce the pulling and vibration forces, the specific pressure on the drive teeth, thereby increasing the draw resistance and the quality of the cylindrical hole machining.

Протягиванием обрабатывают отверстия разнообразного профиля с точностью 6-7 квалитетов и шероховатостью поверхности R_a 1,25÷0,32мкм. Длина протягиваемого отверстия обычно не превышает трехкратной величины обрабатываемого диаметра. Перед протягиванием отверстия обрабатывают сверлом, зенкером или резцом.

Процесс протягивания выполняется разными схемами резания: профильная; прогрессивная или переменного резания; генераторная.

Высокая эффективность процесса протягивания объясняется большой длиной режущих кромок, одновременно участвующих в процессе резания; выполнением одним инструментом за один рабочий ход нескольких переходов, и отсутствием большого числа обратных ходов, которые сопровождают процесс долбления шпоночных пазов, шлицевых и зубчатых, многогранных и фасонных отверстий [1-7].

При обработке отверстий протяжками с круглыми зубьями сила резания скачкообразно изменяется вследствие переменного количества одновременно работающих зубьев, шаг которых обычно не кратен длине обрабатываемой детали. В результате постоянно меняется НДС технологической системы и возникновение колебаний, которые уменьшают качество обработки (увеличивается шероховатость, отклонение от заданной геометрической формы отверстия) и снижается стойкость протяжки [7-8].

Улучшение условий резания, качества протянутого отверстия, а также применение прогрессивных конструкций привели к разработке нового более эффективного металлорежущего инструмента – двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий (рисунок 1).

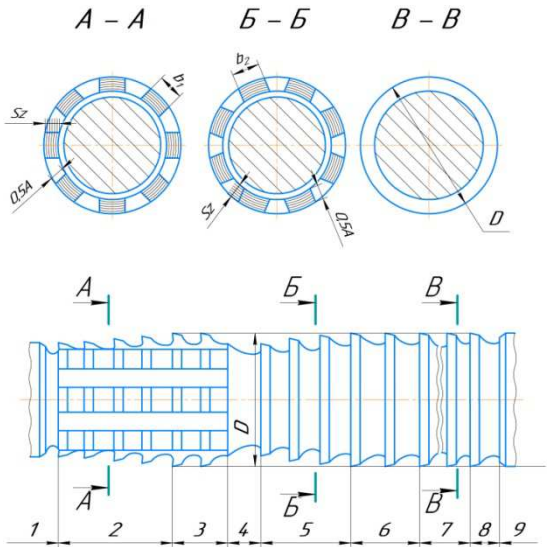


Рис. 1. Двухступенчатая прогрессивная протяжка для обработки цилиндрических отверстий

Режущая часть протяжки двухступенчатая: на первой ступени режущие зубья выполнены со шлицевыми прямобочными режущими выступами для деления стружки, что даёт возможность применить больший диапазон подачи на зуб для повышения производительности. Она идёт после участка 1 (передней направляющей) и обозначена цифрами 2, 3. На участке 2 выполнено расчётное количество режущих зубьев, прорезающих в отверстии прямобочные канавки. На участке 3 выполнено два предварительных калибрующих зуба. Участок 4 – увеличен для выхода инструмента при фрезеровании и шлифовании боковых сторон режущих выступов. Вторая ступень имеет круглые режущие зубья и срезает оставшиеся после прохода первой ступени участки между образовавшимися канавками. Она обозначена цифрами 5, 6. На участке 5 выполнено расчётное количество режущих зубьев, срезающих в отверстии выступы между образованными первой ступенью канавками. На участке 6 выполнено два предварительных калибрующих зуба, как и на первой ступени. На участке 7 выполнены круглые калибрующие зубья, после которых расположена задняя направляющая 8. Протяжка не усложнена, т.к. обработка выкружек на зубьях протяжки переменного резания может быть более трудоёмкой.

Таким образом, применение двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий позволит увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

Список литературы

1. Кацев П.Г. Обработка протягиванием. – М. : Машиностроение. 1986. – 272 с.
2. Скиженок В.Ф. и др. Высокопроизводительное протягивание/ В.Ф. Скиженок, В.Д. Лемешонок, В.П. Цегельник. – М. : Машиностроение, 1990. – 240с.
3. Dudak N., Taskarina A., Kasenov A., Itybaeva G., Mussina Z., Abishev K., Mukanov R. Hole machining based on using an incisive built-up reamer. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017. Т. 18. № 10. С. 1425-1432.
4. Дудак Н.С., Шерниязов М.А., Степаненко Б.М., Ворошцова С.А. Теоретические исследования вибраций при протягивании // Наука и техника Казахстана № 3, 2002. – С. 158 – 166.
5. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К. Конструкции металлорежущих инструментов. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. 2016. С. 123-126.
6. Малюгин В.М., Клепиков В.В. Анализ процесса обработки отверстий протягиванием // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – № 2 С. 49 – 166.
7. Касенов А.Ж. Формирование шероховатости поверхности отверстия обработанного развёрткой-протяжкой. Наука и техника Казахстана. 2011. № 3-4. С. 46-49.
8. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Таскарина А.Ж., Курмангалиев Т.Б. Конструкция протяжки профильной схемы резания с винтовыми равноширокими зубьями // Вестник ВКГТУ. – 2014. – № 1 – С. 25-30.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
IX Международной научно-практической конференции

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной информации ответственность несут авторы

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Э.Ф. Кусова

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 12.05.2018. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать CANON. Усл. печ. л. 34,31. Уч.-изд. л. 31,03
Заказ 109-18. Тираж 150 экз.

Издательство
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ