



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

**Сборник трудов
Всероссийской научно-практической
конференции молодых ученых,
аспирантов и студентов**

**26-28 ноября 2015 года
Юрга**

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

**ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ:
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Сборник трудов
Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых, аспирантов и студентов

26–28 ноября 2015 г.

Томск 2015

УДК 620.22

ББК 30.3

О-23

- О-23 **Обработка материалов: современные проблемы и пути решения :**
сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых
ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт. –
Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 181 с.

ISBN 978-5-4387-0585-7

Сборник содержит материалы Всероссийской научно-практической конференции о современных технологиях получения и контроля неразъемных соединений, материаловедении и обработке материалов, компьютерных технологиях в решении инженерных задач в машиностроении.

Материалы сборника представляют интерес для преподавателей, научных работников, студентов, магистрантов и аспирантов в сфере информационных технологий и управления.

ДК 620.22

ББК 30.3

Ответственный редактор

Д.А. Чинахов

Редакционная коллегия

Е.А. Зернин

Д.П. Ильященко

Д.Е. Колмогоров

А.Г. Крампит

М.А. Крампит

А.В. Крюков

М.А. Кузнецов

Н.В. Павлов

А.В. Филонов

Е.Г. Фисоченко

ISBN 978-5-4387-0585-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2015

СОДЕРЖАНИЕ

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ <i>Безруких А.А., Свитнева Л.М.</i>	7
КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ <i>Дементьев С.В.</i>	9
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛКИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА <i>Яцинич Д.А., Демченко А.И., Рафальский А.С.</i>	11
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ <i>Судариков А.В.</i>	14
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ СВАРКЕ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ <i>Зубков М.С.</i>	16
ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ <i>Дмитриева А.В.</i>	20
ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОЛНЫМ ПРОПЛАВЛЕНИЕМ <i>Сапожков А.С., Зубков М.С., Александрова Ю.С.</i>	23
ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА КАПЛЮ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ИМПУЛЬСНО- ДУГОВОЙ СВАРКЕ В НИЖНЕМ ПОЛОЖЕНИИ <i>Садыров Р.К., Габитов Э.К.</i>	25
ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ <i>Садыков И.Д.</i>	28
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕСУРС РАБОТЫ КОНТАКТНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК <i>Фадеев К.С.</i>	30
ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ УПРАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ <i>Размышляев А.Д., Агеева М.В., Выдмыш П.А.</i>	33
ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ <i>Коноводов В.В., Валентов А.В.</i>	36
СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОСТОВОЙ СТАЛИ 15ХСНД, ВЫПОЛНЕННЫХ НА СТЕКЛО-СТАЛЬНОЙ ПОДКЛАДКЕ <i>Музалев В.Н., Семухин Б.С., Данилов В.И.</i>	39
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ <i>Солодский С.А., Борисов И.С.</i>	44

ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВУХДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	
<i>Шолохов М.А., Мельников А.Ю., Фивейский А.М.</i>	47
ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПРИ ДВУХДУГОВОЙ СВАРКЕ УГЛОВЫХ ШВОВ	
<i>Мельников А.Ю., Фивейский А.М., Шолохов М.А.</i>	52
ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ПРЯМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ: ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ	
<i>Бабкин К.Д., Земляков Е.В., Сомонов В.В.</i>	56
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ	
<i>Карцев Д.С.</i>	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА СЛОЖНОГО СОСТАВА (Ti, Zr, Cs) НА ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ИОНИЗАЦИИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПРИ СВАРКЕ ММА	
<i>Буракова Е.М., Сапожков А.С.</i>	64
НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ	
<i>Перемитько В.В., Носов Д.Г.</i>	67
АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ ШВОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА МОНТАЖЕ	
<i>Мякишев А.А.</i>	71
ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА БРОНЕВЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Туричин Г.А., Цибульский И.А., Кузнецов М.В.</i>	72
ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЯЕМОЙ СТАЛИ 25Х5ФМС	
<i>Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В.</i>	78
ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 35В9Х3СФ ВАЛИКА	
<i>Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В.</i>	84
ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА	
<i>Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.Е., Липатова У.И.</i>	90
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА СИСТЕМ Mn- Mo-V-V И Cr-Mn-Mo-V ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ	
<i>Козырев Н.А., Осетковский И.В., Козырева О.А.</i>	95
 <u>СЕКЦИЯ 2: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ</u>	
ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО СПЕЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Архипова Д.А.</i>	101
К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ МАССОВОГО БЫСТРОСМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х., Норзидоза Ш.С.</i>	107

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ	
<i>Абкарян А.К., Гордеев Ю.И., Громов В.С.</i>	113
РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ БИОГАЗОВОЙ ЛИНИИ	
<i>Козлова И.В., Ушаков А.Г.</i>	116
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ЛИНЗ ФРЕНЕЛЯ	
<i>Латипин В.В., Грубый С.В., Захаревич Е.М.</i>	118
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10P6M5 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ	
<i>Исакин И.А., Зыков И.Ю.</i>	123
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЗЕРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ	
<i>Шатко Д.Б., Люкин В.С., Бакуменко В.Н.</i>	126
ИМИТАЦИЯ ТОРМОЖЕНИЯ ПРОТИВОВКЛЮЧЕНИЕМ	
<i>Курилин А.А.</i>	132
КЛАСТЕРНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ	
<i>Орлова Ю.А., Джес А.В., Квевлиш Л.И.</i>	135
РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОГО КЛАССИФИКАТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ	
<i>Ласуков А.А., Громыко П.С.</i>	137
СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ СПЛАВА $NI_{51}Ti_{49}$ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ	
<i>Кантай Н., Казначева А.М., Бетасова Г.С.</i>	140
ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ АНОДА ПРИ АНОДИРОВАНИИ СПЛАВА АДЗ1	
<i>Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Шадрин П.Н.</i>	142
МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛОЙНЫМ СИНТЕЗОМ	
<i>Ворошилов В.В., Рябов М.А., Сапрыкина Н.А.</i>	145
ПОЛУЧЕНИЕ ГРАННЫХ ПРОФИЛЕЙ НА СТАНКЕ OKUMA ES-L8 II-M МЕТОДОМ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ	
<i>Шамарин Н.Н., Моховиков А.А.</i>	148
ПЕРЕХОД ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ	
<i>Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Юдина Е.В.</i>	152
НАНОРАЗМЕРНЫЕ БОРИДЫ И КАРБИДЫ ДЛЯ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ, МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СВОЙСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.</i>	156
НАНОДИСПЕРСНЫЕ БОРИДЫ И КАРБИДЫ: ПЛАЗМОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г.</i>	159
 СЕКЦИЯ 3: КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ	
РАСЧЕТ ВРЕМЕННЫХ И ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНЕ	
<i>Туттик В.А., Пачков В.Е., Породько А.С.</i>	163

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ	
<i>Крампит М.А.</i>	165
СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ	
<i>Некрасов Р.Ю., Соловьев И.В., Бекарева О.В.</i>	169
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА	
<i>Крампит М.А., Крампит А.Г.</i>	174
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ВОПРОСАМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ	
<i>Соловьев И.В., Бекарева О.В.</i>	176
ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ	
<i>Дементьев С.В., Крюков А.В.</i>	178
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	180

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

А.А. Безруких, ст. преподаватель, Л.М. Свитнева, студент

*ФГАОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет Политехнический институт, г. Красноярск
660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26, корп. Г, оф. 2-62, тел. 8(3912)-912-562*

E-mail: politex_1999@bk.ru

Однодуговой способ наплавки покрытыми электродами получил широкое распространение. Его недостатками считается низкая производительность и необходимость нанесения четырех-пяти слоев для получения требуемого состава наплавленного металла. При наплавке одним электродом величина доли участия основного металла в наплавленном обычно составляет 30-40 %. В результате большая часть наплавленного металла уходит в основной, а чистый наплавленный металл возможно получить только в 4-5 слое.

Преимуществами трехфазной дуги является большая производительность, возможность снижения глубины проплавления за счет уменьшения тепловложения в деталь. При наплавке исследуемым способом были получены образцы с долей участия основного металла в наплавленном менее 10 %. Также при горении трехфазной дуги металл в сварочной ванне интенсивно перемешивается, что обеспечивает мелкозернистую структуру сварного шва.

Для подтверждения явного преимущества способа наплавки трёхфазной независимой дугой, был проведён ряд экспериментов по сравнению различных процессов ручной дуговой наплавки с последующим анализом полученных образцов. Выполнялись эксперименты на оптимальных для данных способов наплавки режимах. Для сравнения были выбраны три способа: традиционный (однофазный одним электродом), расщеплённым электродом, и трёхфазной независимой дугой. В экспериментах использовались электроды марки ОК 60.30 «ESAB» диаметром 2,5 мм.

Первые эксперименты с электродами аустенитного класса проводились на низких режимах по току, на рис. 1 показан валик, выполненный на токе в электродах 50 А.



Рис. 1. Внешний вид наплавленного валика

В результате опыта было получено минимальное проплавление основного металла, менее 5%, однако, сама форма валика была не очень хорошей ввиду отсутствия смачиваемости (рис 2).

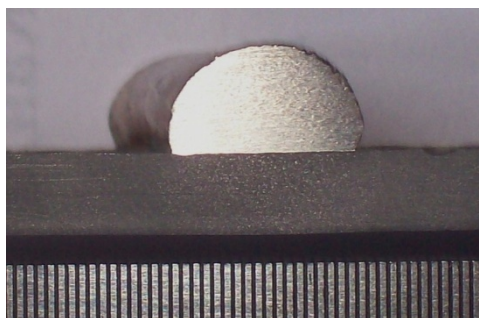


Рис. 2. Поперечное сечение валика

Увеличив режим по току до 65 ампер, удалось получить удовлетворительное формирование формы валика, а так же минимальное проплавление основного металла – доля участия основного металла в наплавленном составила 5-10 % (рис. 3). Это обеспечивается одновременным горением сразу трех электродов. Более того, как показали эксперименты, на одинаковых режимах по току три электрода при наплавке независимой трехфазной дугой плавятся на 20-25 % быстрее, чем один электрод при обычной однодуговой наплавке.

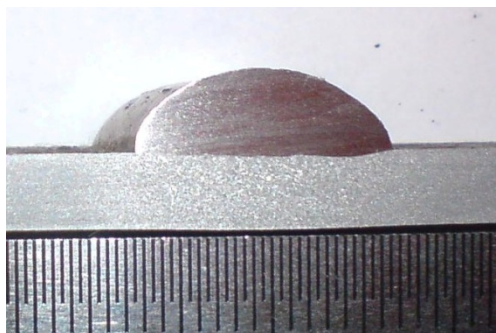


Рис. 3. Поперечное сечение валика

Далее производили наплавку обычным однофазным способом. После проведенных экспериментов, стало очевидно, что традиционный способ наплавки значительно уступает в производительности и характеризуется большим проплавлением основного металла - доля участия основного металла в наплавленном составила 20 – 25 % (рис. 4).



Рис. 4. Наплавка одним электродом обратной полярности

Также провели эксперименты по наплавке расщепленным электродом. При рассмотрении поперечного сечения (рис. 5) установили, что данный способ превосходит традиционный (однодуговой) по производительности и доли участия основного металла в наплавленном, которая составила 10 – 15 %.



Рис. 5. Наплавка расщеплённым электродом

Однако, данный способ всё же уступает по всем показателям наплавке независимой трёхфазной дугой, которая в свою очередь характеризуется большей производительностью и гораздо меньшей долей участия основного металла в наплавленном.

Выводы:

1. Получено минимальное проплавление основного металла при наплавке электродами аустенитного класса марки ОК 60.30 «ESAB» диаметром 2,5 мм. Доля участия основного металла в наплавленном составила 5-10 %.

2. Проведенные эксперименты показали, что способ наплавки трехфазной дугой косвенного действия отличается значительно большей производительностью процесса и позволяет обеспечить нулевое проплавление основного металла, что невозможно получить другими способами ручной дуговой наплавки.

Литература.

1. Г. П. Михайлов. Сварка трехфазной дугой. М., Машгиз, 1956.
2. И.А. Толстов. Справочник по наплавке. Челябинск: Металлургия., 1990.-384 с.

**КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ**

С.В. Дементьев, студент группы 10А32

Научный руководитель Кузнецов М.А.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(38451)7-77-65

E--mail: hedg_h@mail.ru

Известно [1], что коррозионная стойкость сварных соединений высоколегированных, нержавеющей сталей ниже коррозионной стойкости основного металла. Возможно и прямое разрушение сварных швов вследствие образования горячих трещин, имеющих межкристаллитный характер, в наплавленном металле и зоне термического влияния. Основные трудности при сварке данных сталей обусловлены многокомпонентностью их легирования. В последствие вносят свой вклад в снижение эксплуатационной стойкости разнообразие условий эксплуатации сварных конструкций. Все это является основной причиной разрушения трубопроводов и аппаратуры химической, металлургической, энергетической, атомной промышленности, теплоносителей [2, 3]. В процессе эксплуатации происходит коррозионный износ, протекающий особенно интенсивно в зонах сварных соединений [4, 5].

Данная проблема обостряется тем, что для восстановления работоспособности оборудования, работающего в коррозионно-активных средах, часто используется процесс электродуговой наплавки [5]. Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений и наплавленных при восстановлении слоев применяют несколько достаточно трудоемких и не универсальных способов [1, 5-7].

В данной работе предлагается новый способ повышения коррозионной стойкости сварных соединений, отличающийся простотой исполнения и малой затратностью. Он заключается в дозированной подаче наноструктурированных частиц, через защитный газ в сварочную ванну при помощи устройства, ранее описанного нами в работе [8].

Для экспериментальных исследований использовались образцы из стали 12Х18Н10Т в виде пластин толщиной 5 мм, сваренные плавящимся электродом в среде аргона сварочной проволокой марки 12Х18Н9Т согласно ГОСТ 14771-76. Образцы сваривались по четырем различным вариантам: №1 – сварка в среде аргона проволокой сплошного сечения; №2 – сварка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением наноразмерного порошка вольфрама (W) в защитный газ; №3 – сварка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением нановолокон оксигидроксида алюминия (AlO(OH)) в защитный газ; №4 – сварка в среде аргона проволокой сплошного сечения с добавлением наноразмерного порошка молибдена (Mo) в защитный газ. Наноразмерные порошки были получены по методу электрического взрыва проводника [9].

Для проведения испытаний экспериментальных образцов на коррозионную стойкость применяли метод АМУФ ГОСТ 6032, в котором испытания образцов проводятся в растворе серной кислоты и сернокислой меди в присутствии металлической меди и фтористого натрия [10]. Зеренная структура выявлялась химическим травлением в рекомендованном ГОСТ 6032 травителе (75% HCl + 25% HNO₃). Металлографические исследования проводились методом оптической металлографии на микроскопе Neophot-21 с записью изображений при помощи цифровой камеры Genius VileCam. Прецизионное изучение структуры материала в зоне термического влияния после испытаний на коррозионную стойкость осуществлялось на атомно-силовом микроскопе Solver PH47-PRO.

Микроструктура сварного соединения представлена на рис. 1. Как и в работе [8] она различна в разных зонах. Структура основного металла во всех случаях соответствует структуре горячеката-

ной нержавеющей стали 12X18H10T. Она представлена полиэдрическими сдвойникованными зернами, средний размер которых составляет 30 ± 10 мкм. Границы зерен чистые. После испытаний на коррозионную стойкость их ширина не увеличилась.

Зона термического влияния во всех образцах имеет одинаковую ширину. Она представляет собой плавный переход от дендритной структуры наплавленного металла к полиэдрической зеренной структуре. Границы полиэдрических зерен также чистые и их ширина не увеличилась после испытаний на коррозионную стойкость. Структура наплавленного металла как вблизи границы сплавления, так и в основной массе, тоже не претерпела каких-либо изменений. Она, как это было установлено нами в работах [8, 11], имеет слоистое строение: примыкающий к свободной поверхности слой мелких полиэдрических аустенитных зерен с островками неориентированных дендритов, слой коротких и толстых неориентированных дендритов, слой протяженных ориентированных дендритов и снова тонкий слой неориентированных дендритов, примыкающих к границе сплавления. Толщина слоев зависит от природы порошкового модификатора, и закономерности ее изменения согласуются с данными [8].

Следовательно, стандартными металлографическими методами установить различие в сопротивлении межкристаллитной коррозии образцов сварных соединений, выполненных по обычной технологии и с использованием нанопорошков, не удалось. Исследования структуры сварного соединения методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) подтвердили выводы результатов металлографии об отсутствии склонности образцов сварных соединений к межкристаллитной коррозии.

Границы зерен в зоне термического влияния действительно не претерпевают изменений. Процесс травления происходил не по границам зерен, а по всей плоскости зерен. В зависимости от ориентации зерен их поверхность стравливалась сильнее или слабее. Так как наименьшая высота ступеньки зафиксирована у образца № 2, то он меньше всего подвергся растравливанию при коррозионных испытаниях. Наибольшее влияние коррозионная среда оказала на образец № 1.

Если анализировать наплавленный металл, то можно оценивать междендритные промежутки (рис. 1). Они травятся сильнее и в результате образуются канавки, глубина которых в среднем 50 нм, а ширина не более 2 мкм. Природа порошкового наомодификатора на эти параметры влияния не оказала.

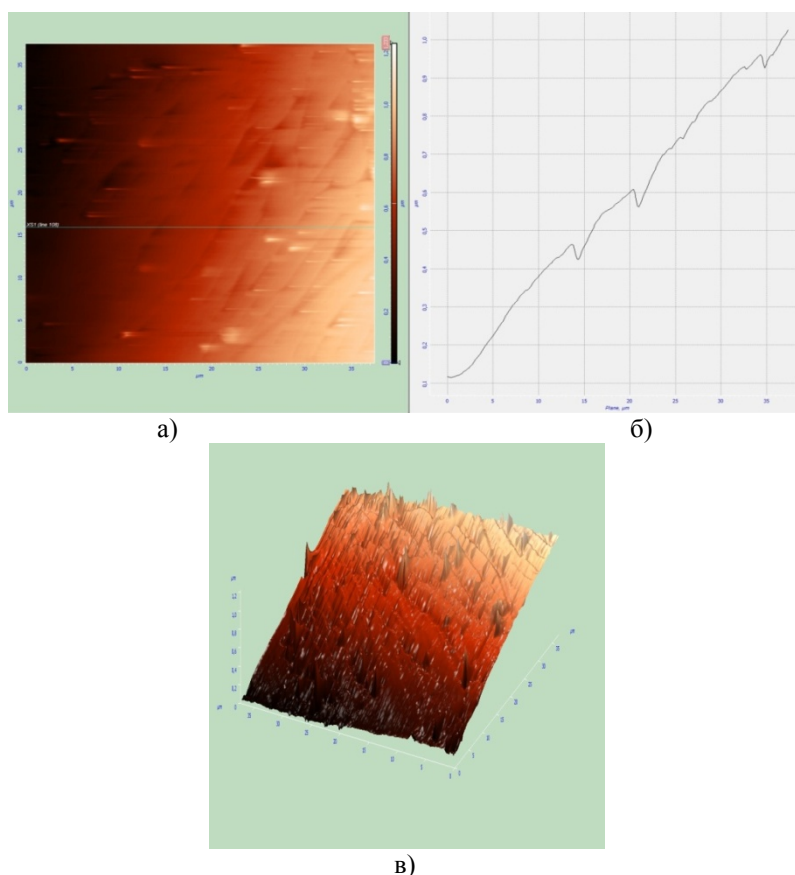


Рис. 1. а) АСМ 2D изображение наплавленного металла, б) профилограмма по отмеченной на изображении линии, в) АСМ 3D изображение этого же участка. Образец № 2

Выводы:

1. Установлено, что при добавлении наноструктурированных порошков Al_2O_3 , W и Mo в наплавленный металл не происходит проявлений межкристаллитной коррозии у сварных образцов.

2. Выявлено, что среди факторов определяющих стойкость неразъемных соединений против межкристаллитной коррозии, главными являются состав и структура зоны термического влияния, а также ее стабильность при эксплуатационных воздействиях. По характеристикам стабильности структуры, а также стойкости металла зоны термического влияния против межкристаллической коррозии, образцы, полученные с введением в наплавленный металл наноструктурированных порошков, обладают лучшей сопротивляемостью коррозии.

Литература:

1. Коломийцев Е.В. Коррозионно-усталостная прочность тавровых соединений стали 12X18H10T и методы ее повышения // Автоматическая сварка. - №12. – 2012. - С. 41-43.
2. Махненко В.И., Махненко О.В., Козлитина С.С., Дзюбак Л.И. Сварные конструкции из аустенитной стали типа 10X18H10T в условиях радиационного распухания // Автоматическая сварка. - 2012. - №2. - С. 7-12.
3. Кривоносова Е.А., Синкина Е.А., Горчаков А.И. Влияние типа покрытия электрода на коррозионную стойкость металла шва стали 08X18H10T // Сварочное производство. - №4. – 2012. - С. 38-41.
4. Александров А.Г. Коррозионная стойкость сварных швов аустенитно-ферритных сталей в щелочных средах. // Сварочное производство. - № 8. – 1990. - С. 15-16.
5. Сараев Ю.Н., Селиванов Ю.В. Оценка производительности и качества выполнения ремонтно-восстановительных работ оборудования из стали типа 12X18H10T // Сварочное производство. - №1. – 2011. - С. 17-22.
6. Александров А.Г. Коррозионная стойкость сварных соединений хромоникелевых сталей в щелочных средах (обзор) // Сварочное производство. - № 5. - 1990. - С. 12-13.
7. Сафонов А.Н., Радченко Р.Д. Структура и коррозионная стойкость сварных соединений сталей аустенитного класса после лазерной обработки поверхности // Сварочное производство. - № 7. – 1998. - С. 5-9.
8. Кузнецов М.А., Зернин Е.А., Колмогоров Д.Е., Шляхова Г.В., Данилов В.И. Строение, морфология и дисперсность металла, наплавленной дуговой сваркой плавящимся электродом в аргоне в присутствии наноструктурированных модификаторов // Сварка и диагностика. – 2012. - №6. - С. 8-10.
9. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва // Известия Высших учебных заведений. Физика. – 1996. – № 4. – с. 114 – 136.
10. Кузнецов М.А., Журавков С.П., Зернин Е.А., Яворовский Н.А. Структурообразование сварных соединений в присутствии нанопорошка молибдена. // Известия вузов. Физика. - 2014 - Т. 57 - №. 9/3. - С. 123-127.
11. Kuznetsov M.A., Zernin E.A., Danilov V.I., Karzev D.S. Application of nanostructured powders to control characteristics of electrode metal transfer and the process of weld structurization // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 199-203.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛКИ ПРОЛЕТНОГО
СТРОЕНИЯ МОСТА**

Д.А. Яцинич, студент гр. МТ 15-02М, А.И. Демченко, к.т.н., доцент,

А.С. Рафальский, начальник отдела технологии сварки*

ФГАОУ ВПО Сибирский Федеральный Университет Политехнический институт, г. Красноярск,

**ООО «ВСЗМК», г. Назарово*

660074 г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 28, оф. 102, тел. 8(3912)-912-562

E-mail: dealig@rambler.ru

Балками называют конструктивные элементы, работающие на изгиб. Благодаря простоте и малой стоимости изготовления, удобной конструктивной форме, небольшой строительной высоте балки находят широкое применение в строительных конструкциях. Они применяются в различных перекрытиях, на рабочих площадках, эстакадах, мостах и других сооружениях. [1, 2]

Процесс изготовления сварных металлоконструкций, в том числе балочных, сопровождается возникновением в изделиях внутренних напряжений, а также искажением начальной формы изделий за счет применения сварки. Поэтому технологический процесс сборки – сварки разрабатывают так,

чтобы сварочные деформации и напряжения были возможно меньшими. Существует множество конструктивных и технологических приемов уменьшения напряжений и деформаций в конструкциях балочного типа; одним из самых простых и эффективных является предварительное деформирование полотнищ (полок) балки таким образом, чтобы придать свариваемым элементам изгиб в обратную сторону (обратный выгиб).

На ООО «Восточно-Сибирский завод металлоконструкций» (г. Назарово Красноярского края) проведена модернизация технологического процесса сборки сварки крупногабаритных стальных мостовых балочных конструкций. Модернизация заключается в разработке и изготовлении сборочного стенда для приварки ребер жесткости к элементам балочных конструкций, обеспечивающего механизацию процесса, а также за счет разработки и изготовления сварочного стенда для приварки ребер жесткости к элементам главных балок, обеспечивающего предварительное деформирование элементов балок и плит (полотнищ, полок) с целью минимизации сварочных деформаций.

Металлоконструкции пролетных строений железнодорожных, автотранспортных, пешеходных и комбинированных мостов должны проектироваться и изготавливаться в соответствии с требованиями [3]. Для изготовления главных балок применяется низколегированная сталь 15ХСНД, с химическим составом по ГОСТ 19282 -89.

При изготовлении балок применяется автоматическая дуговая сварка под флюсом АН-47 (для сварки протяженных поясных швов) и механизированная дуговая сварка в среде защитных газовых смесей типа М 21 (82% Ar + 18% CO₂). Используется сварочная проволока Св-10НМА по ГОСТ 2246-70 диаметром 5; 3; 1,6 мм., и порошковая проволока марки POWER BRIDGE 60М диаметром 1,6 мм., изготовленная по ТУ 1274-021-11143754-2005. Прихватки допускается выполнять ручной дуговой сваркой электродами УОНИ 13/55 диаметром 4 мм ГОСТ 9467 – 75.

При сварке используется следующее оборудование: выпрямители ВДУ-1250 и ВДУ-601Э-1 со сварочными тракторами ТС-16 и 2ТС-16-1, инверторный источник питания «Пионер 5000» с полуавтоматом дуговой сварки ПДГО-601.

Для прихватки применяют стационарный однопостовой выпрямитель ВДУ – 506.

Стенд для сборки ребер жесткости на элементах главных балок и ортотропных плит представляет собой порталную установку (рис. 1). Он состоит из портала, передвигающегося по рельсам, привода перемещения портала, пневмоцилиндра с пультом управления, закрепленного на поперечной балке портала и перемещающегося вдоль нее за счет работы привода перемещения пневмоцилиндра. Для перемещения портала по рельсам используется привод, состоящий из электродвигателя и редуктора. Между рельсами устанавливают стеллаж для сборки балок или плит. На штоке пневмоцилиндра закреплена направляющая для прижатия и выравнивания ребра относительно полотнища. Управление порталом выведено на правую стойку портала.

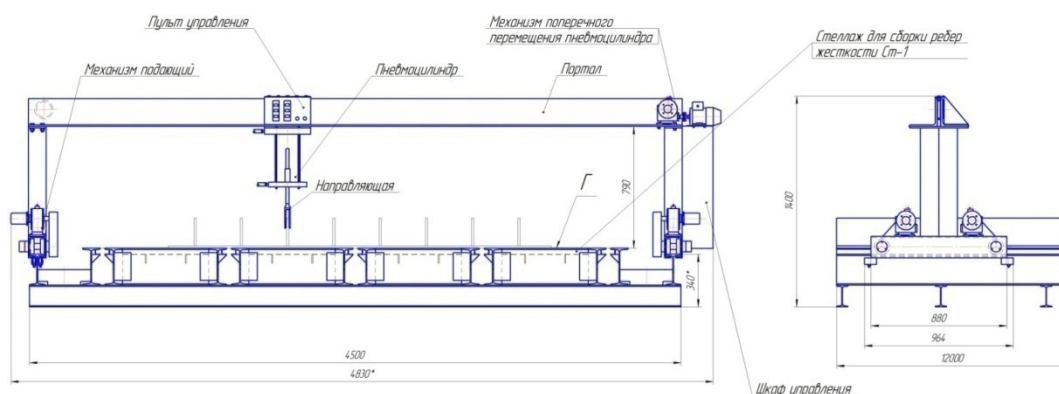


Рис. 1. Стенд для сборки

Стеллаж представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из двутавров, уголков и косынок. Полотнища балок и плит крепятся к полкам двутавров посредством струбцин.

Для сборочного стенда спроектированы приводы перемещения портала и перемещения пневмоцилиндра, а так же спроектирован пневмопривод и подобран пневмоцилиндр поджатия ребер жесткости к полотнищу.

Полотнище с собранными продольными ребрами укладывается на постель и прижимается винтовыми прижимами (струбцинами) по 10 штук с каждой стороны, тем самым придавая полотнищу обратный выгиб. После этого устанавливается 2-х дуговой трактор и проваривается одно ребро с 2-х сторон одновременно. Полотнище открепляют только после полного остывания.



Рис. 2. Стенд для сварки ребер жесткости: а) общий вид и вид сбоку; б) вид в разрезе Б-Б.

Вывод:

Разработана технология изготовления балок, включающая использование станда для сборки ребер жесткости с элементами балок, и сварочного станда, на котором приварка ребер жесткости к элементам балок и ортотропных плит осуществляется с применением обратного выгиба полотнищ (полок), что минимизирует сварочные деформации от сварки. Использование данных стандов приводит к снижению материальных затрат на изготовление балок, повышению производительности труда и качества изделий.

Литература.

1. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов / Е. И. Беленя В. А. Балдин Г. С. Ведеников и др.; Под общ.ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с., ил.
2. Васильев А. А. Металлические конструкции: Учеб.пособие для техникумов. – М.: Стройиздат, 1976. – 420 с., ил.
3. СТО 012-2007 «Стандарт организации, заводское изготовление стальных конструкций мостов».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

А.В. Судариков, студент группы 10А52

Научный руководитель: Филонов А.В.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Современные механизированные и автоматизированные сварочные системы не редко строятся на базе унифицированных узлов и приспособлений. Показателен пример использования фирмой Noboruder (Япония) сварочных горелок для механизированной сварки в качестве сварочных головок для автоматической сварки [1]. Горелка закрепляется в специальном механизме перемещения (рис.



Рис. 1. Механизмы перемещения
горелок сварочных полуавтоматов
серии Noboruder

1), который обеспечивает стабильную скорость сварки и может функционировать в различных пространственных положениях.

Автоматизированные системы для сварки, построенные на базе унифицированных сварочных горелок, имеют неоспоримые достоинства, обусловленные тем, что в качестве рабочего органа применяется именно сварочная горелка, а не специальная сварочная головка. Основные преимущества сварочных горелок – относительная конструктивная и эксплуатационная простота. Но наряду с преимуществами остаются и некоторые отрицательные особенности их использования.

Работоспособность горелки зависит от её конструкции и применяемых материалов. При сварке отдельные детали горелки подвергаются тепловому нагреву за счёт сварочной дуги, а также из-за контакта с брызгами расплавленного металла. Основными уязвимыми элементами горелок являются сопла, изоляционные втулки, токоподводящие наконечники и мундштуки. Следствием уязвимости этих элементов является их повышенный расход в процессе эксплуатации, что не может не сказаться на конечной цене выпускаемого изделия. Кроме того, замена износившихся деталей и зачистка сопла приводят к потерям рабочего времени.

Не смотря на большое количество усовершенствований, как сварочного оборудования, так и сварочных материалов очистка газового сопла от брызг расплавленного металла остаётся актуальной проблемой. Время, затрачиваемое на очистку сопла, зависит от способа его крепления к головной части горелки. Широко используемые современные способы крепления сопел представлены на рис. 2 [2].

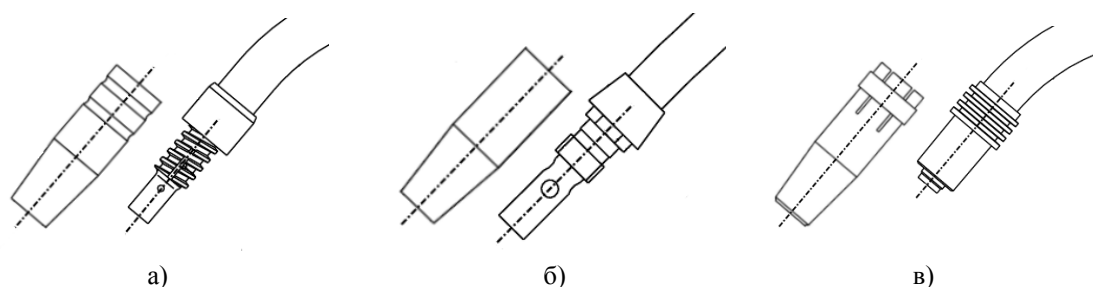


Рис. 2. Конструкции крепления сопел к сварочным горелкам

Газовые сопла фиксируются при помощи специального пружинного элемента (рис. 2, а), установленного на мундштуке, либо при помощи резьбового соединения (рис. 2, б). Широкое распространение получила конструкция, в которой газовое сопло изготавливается по принципу цанги (рис. 2, в), т.е. хвостовая часть делается разрезной – разделённой на лепестки. Зажим осуществляется лепестками сопла под действием осевого усилия, приложенного к конической части мундштука горелки.

Оригинальный способ крепления предложен фирмой Fronius, который реализован на горелках серии Robacta [3]. Нажать, прокрутить, снять – такой принцип заложен в систему крепления Quick Snap (быстрый щелчок) благодаря механическому блокирующему механизму. Способ обеспечивает такую же надёжность крепления, как и при использовании резьбового соединения.

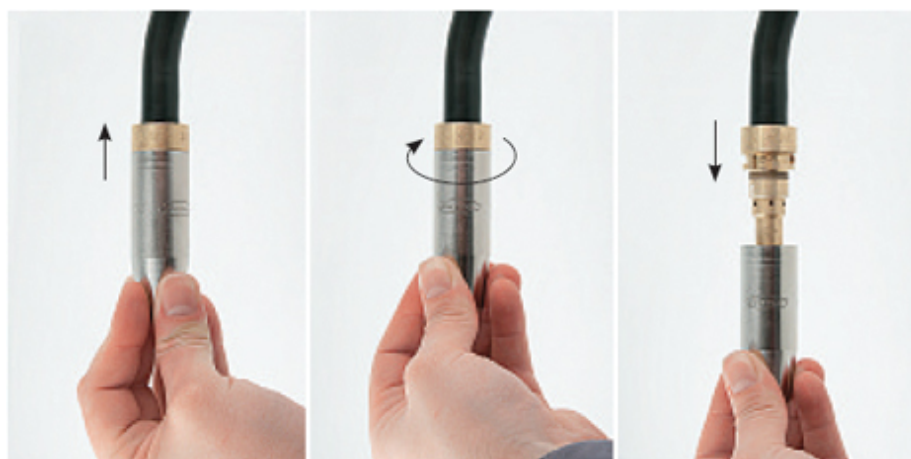


Рис. 3. Способ закрепления газового сопла Quick Snap фирмы Fronius

Описанные варианты крепления сопел имеют как свои плюсы, так и минусы. К плюсам можно отнести надёжность крепления и фиксации сопла, большой ресурс работы. Минусами способов крепления, представленных на рис. 2 и 3, являются повышенные требования к точности изготовления. Это сказывается на стоимости изделия, и горелки в сторону удорожания.

Другой недостаток выявляется в процессе эксплуатации – наблюдается процесс припекания резьбового соединения внутренней втулки к мундштуку горелки (рис. 2, б), что приводит к выходу из строя как мундштука, так и сопла, а, следовательно, и к увеличению объёмов реновации этих элементов сварочных горелок.

Ещё один недостаток проявляется при очистке сопла от налипших брызг. Из-за надёжности крепления и разогрева нет возможности быстро снять и очистить забрызганное сопло. Для осуществления снятия требуется либо выждать некоторое время, требующееся для охлаждения сопла, либо использовать механический инструмент и защитную спецодежду, либо учитывать все эти факторы в совокупности. В свою очередь использование инструмента приводит к нарушению целостности сопла, а процесс остывания – к потерям рабочего времени.

Анализ информационных источников показывает, что при MIG/MAG сварке в основном применяют медные сопла, так как теплофизические характеристики меди обеспечивают ей наибольшее соответствие условиям эксплуатации. Для увеличения срока службы деталей горелок, подвергающихся тепловому нагреву за счёт сварочной дуги и брызг расплавленного металла, есть два пути:

первый – разработка материалов и конструкций, позволяющих противостоять тепловому воздействию; второй – разработка способов уменьшения разбрызгивания.

Литература.

1. Механизмы перемещения горелок сварочных полуавтоматов серии Noboruder // Электронный ресурс: <http://shtorm-its.ru/catalog/noboruder-mehanizmyi-peremescheniya>
2. Филонов А.В. Способы крепления сопла на сварочной горелке // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2013. – № 2 – С. 75-78. – Электронный ресурс: <http://vestnikis.dvfu.ru/vestnik/archive/2013/2/11/>.
3. Robacta gas-cooled // Электронный ресурс: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-DE4DE763-6F7219AF/fronius_international/hs.xsl/79_13634_ENG_HTML.htm

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ СВАРКЕ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

М.С. Зубков, студент группы 10А42

Научный руководитель: Павлов Н.В.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Механизированная сварка плавящимся электродом находит все более широкое применение при изготовлении сварных металлоконструкций.

Одним из способов осуществления управляемого переноса электродного металла, является использование устройства с импульсной подачей сварочной проволоки [1].

В основу процесса дуговой сварки с импульсной подачей сварочной проволоки, положено использование дополнительной силы (силы инерции, действующей в период торможения электрода), которая прикладываясь к капле, резко изменяет характер плавления и переноса электродного металла аналогично импульсу электродинамической силы при импульсно - дуговом процессе [2].

Одним из путей повышения эффективности применения сварки с импульсной подачей сварочной проволоки является использование смеси ($Ar+CO_2$). Это позволит обеспечить лучшее формирование шва и меньшую величину разбрызгивания электродного металла, чем при сварке в чистом углекислом газе [3].

Для выявления характера и степени влияния концентрации защитной среды при различных режимах сварки, было проведено ряд экспериментальных исследований по определению величины потерь электродного металла на угар и разбрызгивание ($\psi_{разб.}$).

Определение коэффициентов расплавления потерь и наплавки проводилось по методике ГОСТ 25161-83.

Потери металла на угар и разбрызгивание определяются по формуле [4]:

$$\psi_{разб} = \frac{Q_p - Q_n}{Q_p} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где Q_p – количество расплавленного электродного металла за определенный промежуток времени, г;

Q_n – количество наплавленного электродного металла за тот же промежуток времени, г.

Определение коэффициента потерь металла на разбрызгивание осуществлялась следующим образом. Сварку образца производили в специальном контейнере, чтобы брызги электродного металла не покидали его пределов. Образец предварительно взвешивался на аналитических весах, до начала сварки. Также взвешивалась катушка с электродной проволокой до начала сварки и после ее окончания. В дальнейшем взвешивался образец с наплавленным металлом, и капли расплавленного металла находящиеся в контейнере. В результате по разности весов до начала сварки и после ее окончания, определялись фактические потери электродного металла на угар и разбрызгивание.

В состав экспериментальной установки входили: автоматическая сварочная головка ГСП-2, укомплектованная механизмом импульсной подачи электродной проволоки, обеспечивающим управляемый перенос электродного металла [5]; источник питания постоянного тока ВС-300Б; смесительное оборудование, состоящее из трех ротаметров и смесительной камеры (рисунок 1.).

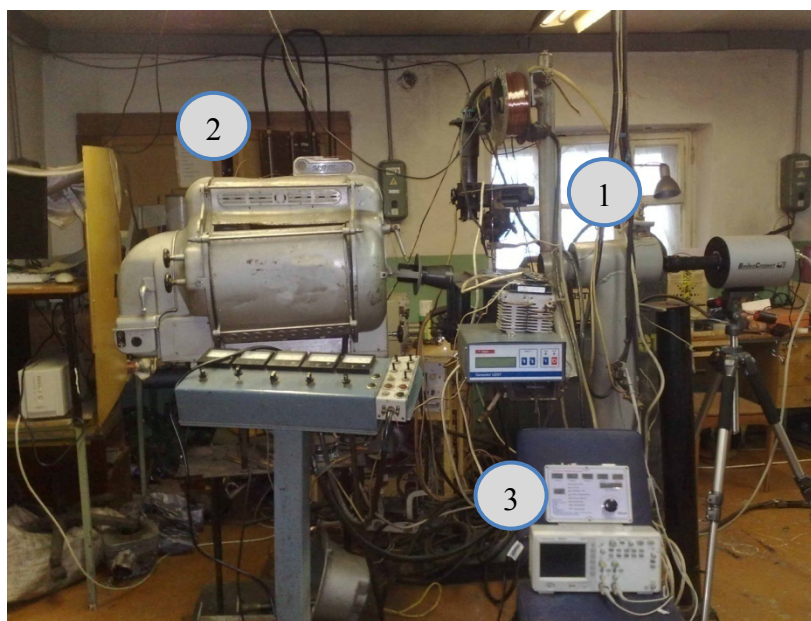


Рис. 1. Экспериментальный комплекс: 1 – сварочная головка ГСП-2 укомплектованная механизмом импульсной подачи электродной проволоки; 2 – смесительное оборудование; 3 – цифровой регистратор параметров сварки

Механизм импульсной подачи электродной проволоки, содержащий два зажима для проволоки, отличается тем, что он дополнительно снабжен штоком, устройством возвратно-поступательного перемещения штока в осевом направлении и кулачком, имеющим привод вращения, представлен на рисунке 2 [5].

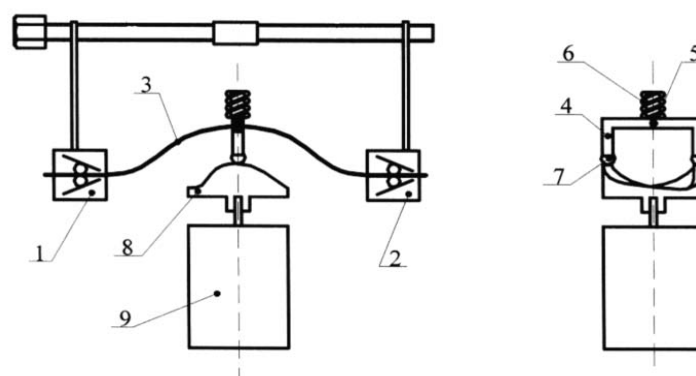


Рис. 2. Механизм импульсной подачи электродной проволоки:
1,2 – зажим; 3 – проволока; 4 – шток; 5 – отверстие; 6 – пружина; 7 – ролик; 8 – кулачок; 9 – привод

Механизм работает следующим образом. Проволоку 3 в механизм заводят через зажим 2, пропускают через отверстие 5 в штоке 4 и выводят через зажим 1. При включении привода 9 начинает вращаться кулачок 8, воздействуя профильной поверхностью на шток 4 через ролик 7, который обкатывается кулачком 8, в результате чего шток 4 (при расположении ролика 7 на подъеме кулачка 8) поднимается вверх, сжимая пружину 6 и вытягивая проволоку 3 из зажима 2, при этом, зажим 1 заклинивает и проволока 3 образует волну. При дальнейшем движении кулачка 8 шток 4 под действием пружины 6 будет опускаться, проталкивая проволоку в зону сварки через зажим 1, причем в это время зажим 2 будет закрыт, препятствуя прохождению проволоки 3 обратно в шланг. При работе механизма шток 4 совершает возвратно-поступательное перемещение, производя то образование волны проволоки 3, то проталкивая ее через зажим 1. Частота импульсов подачи проволоки 3 зависит от

скорости вращения кулачка 8. Ход подачи сварочной проволоки зависит от расстояния между зажимами 1 и 2, которое регулируется перемещением зажима 2 в осевом направлении [5].

Для проведения входного эксперимента, использовались пластины, из хромоникелевой аустенитной стали марки 12Х18Н10Т (толщиной 6 мм). Сварка проводилась проволокой Св-07Х19Н10Б (диаметром 1,2 мм) в нижнем положении. Режимы сварки выбраны согласно рекомендациям для сварки проволоки выбранного диаметра [6].

В результате сварки варьировались следующие параметры:

- процентное соотношение аргона в смеси от 50 до 80 % аргона;
- сварочный ток (от 180А до 240А).

Установлено, что получение качественного сварного соединения без образования пор при сварке с импульсной подачей электродной проволоки в смеси защитных газов ($\text{Ar}+\text{CO}_2$) возможно на соотношениях от 50 % до 80 % аргона в общем объеме [7]. Образование пор определялось посредством ультразвукового контроля по ГОСТ 14782-86.

Наименьшая величина потерь электродного металла на угар и разбрызгивание достигается при содержании Ar ($70\% \pm 3\%$)+ CO_2 ($30\% \pm 3\%$) и не превышает 2 % (рисунок 3).

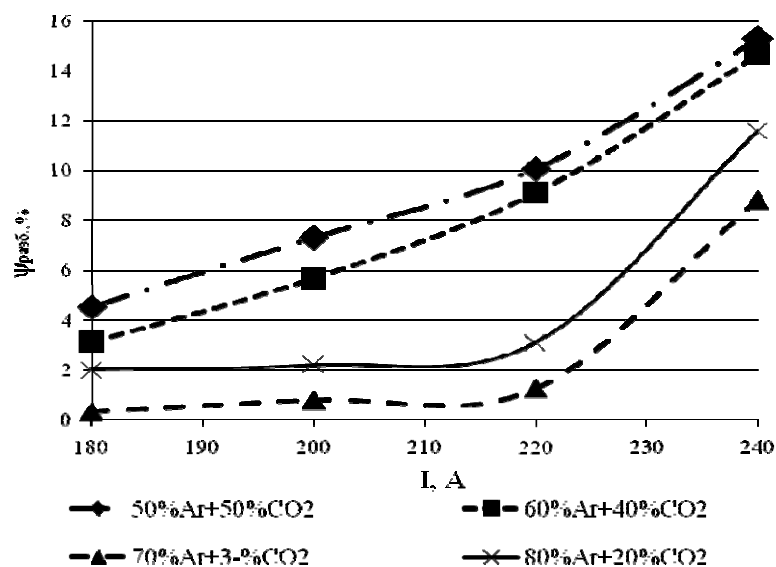


Рис. 3. Зависимость величины потерь электродного металла на угар и разбрызгивание ($\Psi_{\text{разб.}}$) от величины сварочного тока (I)

Основываясь на данных описанных в работе Новожилова Н.М. полученное соотношение обусловлено тем, что добавление к аргону углекислого газа до 70 % Ar + 30 % CO_2 сопровождается уменьшением размера электродных капель и соответствующим увеличением их количества. Повышение содержания углекислого газа в аргоне сверх этого предела при одних условиях сопровождается резким увеличением количества образующихся капель электродного металла. А при других условиях плавным уменьшением количества капель, образующихся в единицу времени [8]. Что соответствует не периодичности переноса капель электродного металла и соответственно их размера. Что является одним из факторов увеличения коэффициента потерь электродного металла на угар и разбрызгивание в сравнения с процессом сварки в смеси газов 70 % Ar + 30 % CO_2 .

Также в процессе исследования из рассматриваемых факторов был исключен вылет электродной проволоки, так как при проведении отсеивающих экспериментов было установлено, что диапазон регулирования вылета электрода составляет от 10 до 15 мм, поскольку увеличение вылета до 20 мм и более влечет за собой дестабилизацию процесса сварки – процесс становится неуправляемым [9–11]. В результате проведенных экспериментальных исследований, было установлено что при сравнении процесса сварки с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов 70 % Ar + 30 % CO_2 в сравнении с процессом сварки в 100% CO_2 (режимы сварки были идентичны), происходит расширение области стабильного протекания процесса на 10 % (рисунок 4).

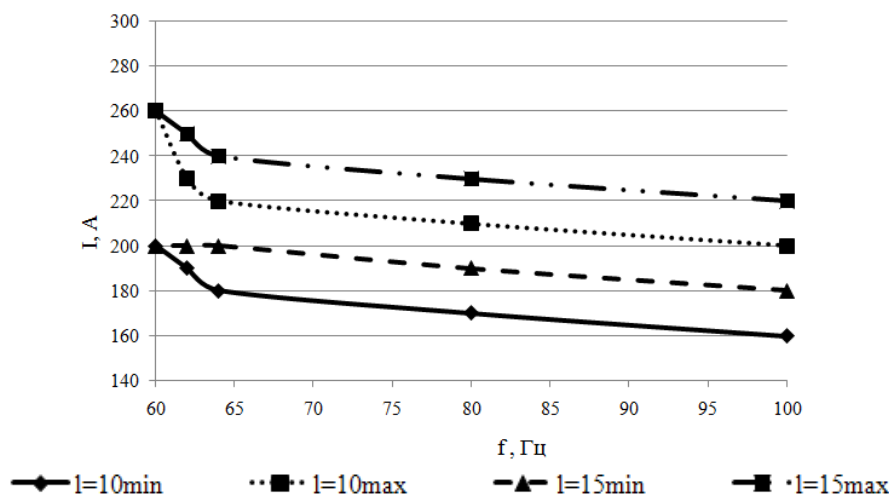


Рис. 4. Влияние частоты переноса электродного металла (f) и вылета электродной проволоки (l) на величину среднего значения сварочного тока

Выводы:

1. Сварка в смеси газов, с использованием устройства импульсной подачи сварочной проволоки, позволяет существенно снизить величину потерь металла на угар и разбрызгивание.
2. Полученные данные позволяют утверждать, что рациональным диапазоном, для сварки с импульсной подачей сварочной проволоки, с наименьшей величиной потерь металла на угар и разбрызгивание, является смесь газов с содержанием $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$. Данное соотношение отличается от рекомендуемых для сварки с постоянной подачей: $Ar(80\%) + CO_2(20\%)$ [3].

Литература.

1. Федько В.Т., Брунов О.Г., Солодский С.А., Крюков А.В., Соколов П.Д. Методы борьбы с разбрызгиванием при сварке в углекислом газе // Технология машиностроения. – 2005. – №5. – С.24 – 30.
2. Федько В.Т., Брунов О.Г., Соколов П.Д. Сварка с импульсной подачей сварочной проволоки как частный случай импульсно-дуговой сварки // Сварочное производство. – 2006. – №7. – С. 6 – 8.
3. Языков Ю.Ф., Алексина И.В. Преимущества сварки в защитных газовых смесях // Сварочное производство. – 2008. – №9. – С. 29 – 30.
4. Федько, В.Т. Теория, технология и средства снижения набрызгивания и трудоёмкости при сварке в углекислом газе / В.Т. Федько // Томск: Изд-во Том. ун-та – 1998. – 432 с.
5. Патент РФ № 2254969 Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Крюков А.В., Зернин Е.А., Солодский С.А., Соколов П.Д., Ястребов А.П.
6. Хромченко, Ф.А. Справочное пособие электросварщика 2-е изд., испр. — М.: Машиностроение, 2005. — 416 с.; ил.
7. Павлов, Н.В. Сварка с импульсной подачей проволоки в смеси газов [Текст] / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, Е.А. Зернин // Сварочное производство. –2010. –№4. –С. 27 – 28.
8. Новожилов, Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. «Машиностроение», 1972, 167с.
9. Павлов, Н.В. Определение стабильного диапазона регулирования параметров сварки с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов [Текст] / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, А.А. Зеленковский, М.А. Кузнецов / Труды Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество» / Сибирский государственный индустриальный университет –г.Новокузнецк, –2009. –С. 293 – 295.
10. Павлов, Н.В. Технологические особенности сварки с импульсной подачей электродной проволоки [Текст] / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, А.А. Зеленковский // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество». –г.Новокузнецк, –2007. –С.169 – 172.
11. Павлов, Н.В. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов [Текст] / Н.В. Павлов, А.В. Крюков, Е.А. Зернин // Труды Международной школы – семинар, для магистрантов, аспирантов и молодых ученых посвященной памяти профессора Хорста Герольда «Новые технологии, материалы и инновации в производстве». –г.Усть-Каменогорск, –2009. –С. 124 – 125.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ

А.В. Дмитриева, студ. гр. 10А22,

Научный руководитель: Крампит А.Г., д.т.н., проф.,

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: akrampit@mail.ru

Вопросы формирования сварного соединения тесно связаны с необходимостью изучения процессов движения расплавленного металла в сварочной ванне. Исследователи, занимающиеся вопросами формирования сварного шва, предлагают различные модели поведения жидкого металла в сварочной ванне [1, 2]. Быстрое протекание процессов, высокая температура и значительное излучение при сварке обуславливают сложность, а порой и невозможность прямого изучения реальных процессов без дополнительного исследовательского оборудования. Изменение поверхности сварочной ванны, на основе которой можно судить о схеме движения жидкого металла, можно исследовать по кинограммам скоростной киносъемки [3].

На основе анализа кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом показаны исследования по движения поверхности сварочной ванны. Для выявления особенностей движения жидкого металла сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе плавящимся электродом были рассмотрены в совокупности процессы плавления электродного металла, переноса капли в сварочную ванну и поведение расплава сварочной ванны (рис. 1).

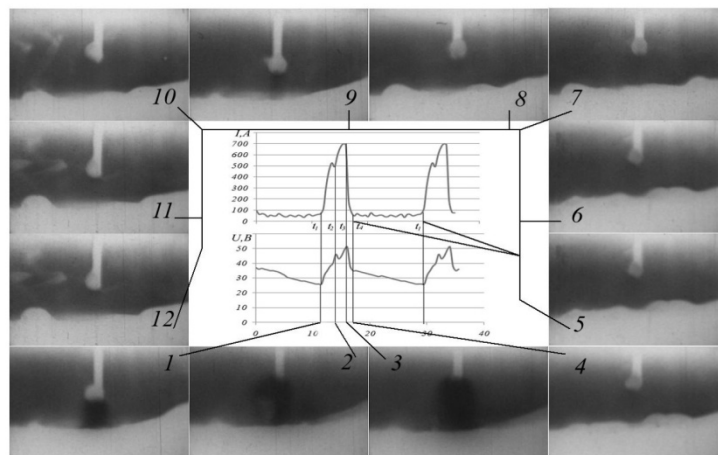


Рис. 1. Осциллограмма и кинограммы процесса плавления, переноса электродного металла и движения жидкого металла сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении (скорость съемки 2980 кадр/сек): t_1 – начало импульса; t_2 – момент отрыва капли электродного металла; t_3 – касание капли сварочной ванны; t_4 – начало паузы

Во время паузы сварочный ток находится в пределах 10-50 А, поэтому на поверхность сварочной ванны воздействует сварочная дуга, площадь и сила давления которой не велики. В результате поверхность сварочной ванны имеет небольшое углубление под дугой. При нарастании сварочного тока столб дуги расширяется. Перенос капель расплавленного электродного металла с торца электрода в сварочную ванну осуществляется при наложении на дугу мощных импульсов тока, во время которых происходит расширение столба дуги. Это вызывает появление осевой составляющей электродинамической силы, которая, втягивая каплю с торца электрода в сварочную дугу, способствует отрыву капли и соосному переходу ее в сварочную ванну.

С увеличением сварочного тока возрастает воздействие сварочной дуги на поверхность сварочной ванны. Жидкий металл сварочной ванны, вытесняясь из-под дуги, начинает движение в хвостовую часть ванны. В переднюю часть сварочной ванны поток расплавленного металла или значительно снижается, или совсем прекращается. При небольших размерах головной части расширяющийся столб дуги захватывает почти всю фронтальную часть сварочной ванны. Столб дуги расширя-

ется, и происходит его углубление в сварочную ванну. Дуга при расширении захватывает нижнюю часть капли. При этом длина дуги в верхней части изменяется на 1-2мм или $\frac{1}{2}$ диаметра капли электродного металла. Далее капля немного деформируется, отгесняясь вверх по электроду.

График перемещения точек поверхности сварочной ванны относительно начальных координат с течением времени в импульсе (на интервале времени t_1 - t_2) приведен на рисунке 2.

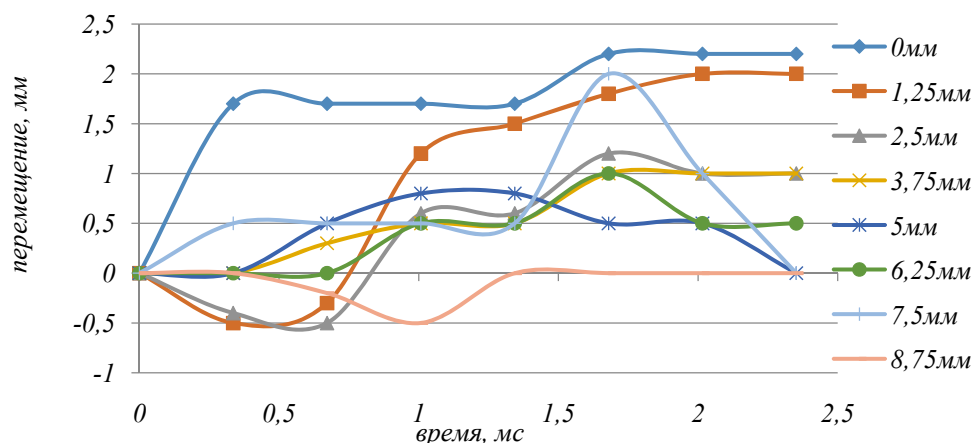


Рис. 2. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат

Из-под дуги движется волна в хвостовую часть, наибольший подъем который (до 0,6 мм) наблюдается на расстоянии от электрода 1,25 мм и 2,5 мм. По мере удаления волны в хвостовую часть скорость движения замедляется. С нарастанием импульса и появлением волны из-под дуги возникает подъем сварочной ванны в хвостовой части на протяженности 8,75 мм от центра через 1 мс. Наибольшее углубление (видимое) наблюдается под дугой. По мере увеличения силы тока и соответственно диаметра столба дуги жидкий металл вытесняется в головную и хвостовую части, и через 1 мс наибольший подъем наблюдается на расстоянии 1,25 мм. Чем дальше от электрода, тем в большей степени проявляется углубление после прохождения волны и возврата её в исходное положение.

Графики перемещения точек поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале отрыва капли t_2 - t_3 представлены на рисунке 3.

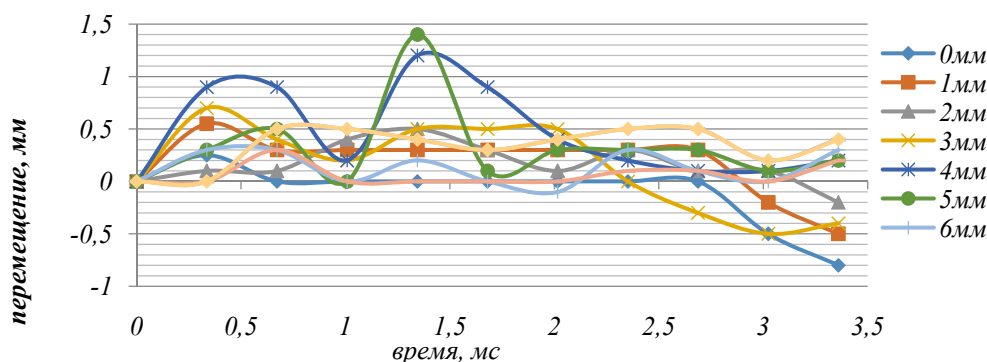


Рис. 3. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат

Наибольшее перемещение наблюдается на расстоянии от 3мм до 5мм от электрода. После времени 1,5 мс видно повышение уровня жидкого металла сварочной ванны, вследствие контакта капли электродного металла с поверхностью сварочной ванны. После времени 2,5 мс происходит повышение общего уровня сварочной ванны, связанное с уменьшением сварочного тока (на спаде импульса). Движение металла в головной части представлено графически на рисунке 4. Перемещение точек поверхности сварочной ванны не велико и не превышает в среднем 0,5 мм.

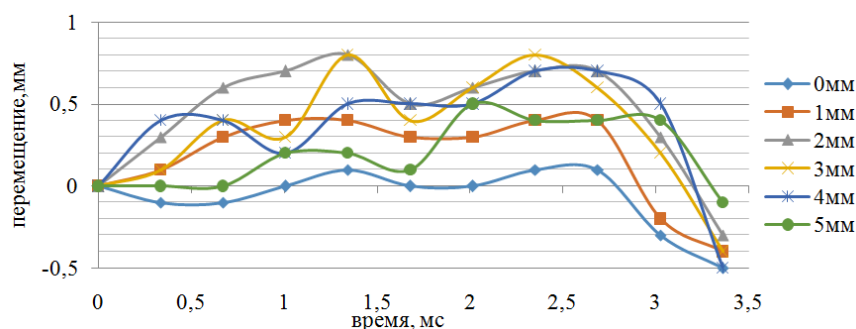


Рис. 4. Перемещение поверхности сварочной ванны в головной части относительно начальных координат на интервале t_3 - t_4

На интервале паузы жидкий металл из хвостовой части обратной волной возвращается под дугу, часть металла под действием сил инерции перемещается в головную часть, где количество расплавленного металла возрастает до максимального значения. Горб, образованный в головной части спадает. Одновременно с этим происходит колебание с большей частотой (примерно в 3 раза) в хвостовой части. Перемещение точек поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале паузы представлено на рисунке 5.

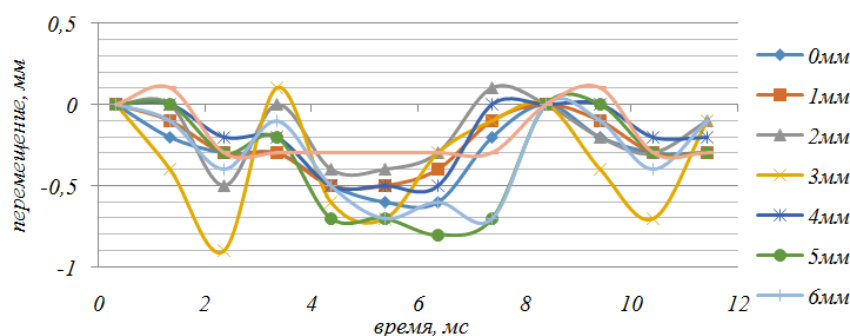


Рис. 5. Перемещение поверхности сварочной ванны в хвостовой части относительно начальных координат на интервале времени t_4 - t_1

Движение металла в хвостовой части носит периодический характер, совпадающий по времени с началом колебаний. Суммарное перемещение точки относительно начальной координаты не превышает 1 мм. Наибольшее колебание наблюдается на расстоянии от 3 мм до 5 мм, что соответствует центру хвостовой части сварочной ванны в паузе. Большая периодичность движения жидкого металла вызвана меньшим углом фронта кристаллизации и большей протяженностью хвостовой части.

Вывод:

Жидкий металл сварочной ванны при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе плавящимся электродом совершает колебательные движения. Частота колебаний ванны зависит от частоты накладываемых импульсов, а амплитуда колебания — от длительности и амплитуды импульса. Поведение ванны носит более определенный характер, а именно жидкий металл совершает замкнутое вращательное движение, которое можно описать следующим образом:

- из-под столба дуги вдоль плоскости кристаллизации (вдоль фронта кристаллизации) (по дну сварочной ванны) перемещаясь с основным металлом и кристаллизуясь (отдельным слоем), часть металла возвращается по поверхности сварочной ванны;
- вдоль зоны расплавления и возвращаясь под столб дуги;
- во время действия импульса из-под дуги на кромки и в паузе обратно под столб дуги.

Литература.

1. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение. 1989. — 264 с.
2. Столбов В.И. Сварочная ванна: Монография. — Тольятти: ТГУ, 2007. — 147 с.
3. Knyaz'kov A.F., Krampit A.G., Krampit N.Yu. Controlling the droplet transfer process in CO₂ welding with a long arc // Welding International. — 2008. — Vol. 8. — P.534-536.

ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА ТАВРОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОЛНЫМ ПРОПЛАВЛЕНИЕМ

А.С. Сапожков, М.С. Зубков, Ю.С. Александрова

Научный руководитель: Крампит М.А., ассистент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51)-7-77-67

E-mail: sapogkov94@mail.ru

В настоящее время сварка является одним из лидирующих способов получения неразъемных соединений, как в машиностроении, так и в других отраслях. Свариваемые толщины колеблются от долей миллиметра до десятков миллиметров.

При сварке малых толщин возникает опасность прожога. При увеличении скорости сварки возникает вероятность появления различных дефектов. Необходимо снизить тепловложение и обеспечить управляемый перенос электродного металла.

Разработки с целью создания процесса малой мощности без механического вмешательства в подачу проволоки привели к созданию варианта процесса, при котором все необходимые воздействия производятся исключительно в источнике тока. Этот вариант MIG/MAG процесса, относится к сварке короткой дугой. Характер изменения напряжения идентичен изменению при обычной сварке короткой дугой. Напряжение является задающим параметром при регулировке силы тока.

Для этого необходимо непрерывно измерять напряжение и соответствующим образом реагировать на каждое его изменение (высокодинамичная регулировка мгновенных значений). Благодаря цифровому процессу обработки сигналов (DSP) можно отнять энергию от дуги менее чем за 1 микросекунду до зажигания, в результате чего зажигание пройдет очень мягко. При этом на конце электрода может сразу же образоваться достаточное количество расплавленного материала, и это повысит потребность в энергии. Поэтому непосредственно после зажигания дуги сила тока за короткое время поднимается до так называемого импульса расплавления. Только после этого, чтобы минимизировать плавление, происходит переход на низкий ток и начинается следующая фаза. Из-за импульса расплавления после каждого короткого замыкания на электроде образуется большой расплавленный купол, что ведет к очень равномерному протеканию процесса. Только благодаря этому стало возможным работать в фазах между короткими замыканиями с очень низкой силой тока, не прибегая к последующему плавлению проволоки или гашению дуги [1], [2], [3], [4].

Конструкции из листов более 4 мм для обеспечения гарантированного проплавления корня шва свариваются в разделку, что повышает трудоемкость, возрастает расход сварочных материалов и электроэнергии, что в итоге увеличивает стоимость цену конечного продукта.

При сварке плавящимся электродом в защитных газах необходимо погрузить дугу в зазор и обеспечить устойчивое горение сварочной дуги между двумя кромками. Решено было рассмотреть различные способы импульсно-дуговой сварки [5], [6]. Был выбран процесс сварки короткой сфокусированной дугой.

Данный процесс нацелен на повышение качества сварных соединений из толстолистового металла, связанного с обеспечением гарантированного проплавления в корне шва, а также MIG/MAG сварки в узкую разделку. В отличие от стандартной струйной дуги форсированная дуга поддерживает уверенный струйный процесс переноса металла более короткой дугой. Дуга становится более сфокусированной, очень устойчивой. Благодаря высокому плазменному давлению в дуге обеспечивается более глубокое проплавление. При этом снижается тепловложение в основной металл и снижается вероятность возникновения таких дефектов, как подрезы [7], [8].

В настоящее время рекомендаций по сварке таких соединений в литературе мало и они носят больше рекламный характер без конкретных данных, позволяющих использовать их на производстве. В работе [9] авторы опытным путем определили параметры сварки (величина зазора в соединении; угол наклона горелки; индуктивность цепи и т.д.). Но из-за использования форсированных режимов повышалась вероятность прожога либо непровара.

Лучший способ устранения непровара - подварка шва с обратной стороны. Но часто подварку трудно выполнить, так как обратная сторона шва бывает малодоступна (потолочное положение) или совсем недоступна (сварка труб встык и т. п.), кроме того, подварка значительно увеличивает трудоемкость работ (на 30-40%).

Применение подкладок значительно повышает производительность сварки, так как сварщик может не опасаться прожогов и работать на повышенных режимах [10].

Применение остающейся подкладки. Методика: в качестве подкладки использовали проволоку, по диаметру близкую к величине зазора, расположенную с противоположной от подвода дуги стороны. Варьируя напряжением на дуге, скоростью подачи проволоки и углом наклона горелки подбирался рациональный режим. При короткой дуге и опоре на проволоку происходил прожог и вытекание металла (рисунок 1, а). При наклоне горелки и короткой дуге происходил срез одной кромки и образовывался подрез на другой (рисунок 1, б). При повышенном напряжении и пониженной скорости подачи горение дуги происходило между двумя кромками, но не было проникновения дуги внутрь стыка (рисунок 1, в). Необходимо было обеспечить необходимый диаметр столба дуги и напряжение для обеспечения тепловложения в обе кромки и остающуюся подкладку одновременно (рисунок 1, г). Это обеспечивает формирование корня шва и сплавление с кромками.

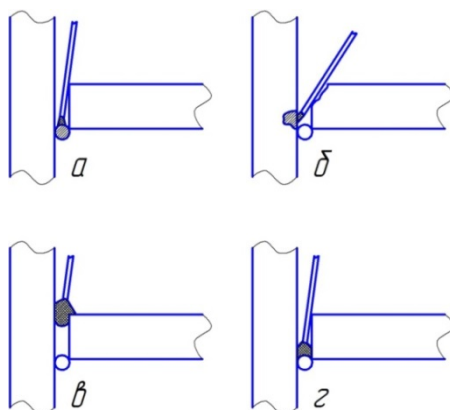


Рис. 1. Сварка с остающейся подкладкой в корне шва
(а – прожог проволоки, б – подрез кромки, в – несплавление, г – идеальное течение процесса)

На рисунке 2 представлен протравленный шлиф корневого шва. Видно, что произошло формирование обратного валика, а также сплавление с кромками по всей толщине зазора. Произошло полное заполнение стыка, при необходимости можно наложить облицовочный валик.



Рис. 2. Шлиф корневого шва таврового соединения толщиной 12 мм

Таким образом, обеспечение полного проплавления возможно при правильном соотношении ширины разделки, скорости подачи электродной проволоки, напряжения дуги, а также углов горелки вдоль шва и угла наклона горелки к вертикальной кромке

Литература.

1. С.-Ф. Гёке. Процесс дуговой сварки с уменьшенной отдачей энергии для чувствительных к теплу материалов. URL: <http://www.ewm-russia.ru/articles/coldarc.php> (дата обращения 15.01.2015)
2. Алёшин Н.П., Гладков Э.А., Бродягин В.Н., Кузнецов П.С., Копотева Е.Н., Шолохов М.А. Импульсные технологии управления каплепереносом при MIG/MAG сварке // Сварка и диагностика – 2014 - №3
3. Процесс MerkleColdMIG. URL: <http://merkle-russia.ru/files/merkle3.pdf> (дата обращения 15.01.2015)

4. Precision Pulse Weld Process Overview. URL: <http://www.lincolnelectric.com/assets/us/en/literature/te12007.pdf> (дата обращения 15.01.2015)
5. Крампит М.А. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ, РАЗРАБОТАННЫЕ ЗА РУБЕЖОМ // "Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований" – 2015 - №5 - 18-21
6. Крампит А.Г., Зернин Е.А., Крампит М.А. Современные способы импульсно-дуговой MIG/MAG сварки // "Технологии и материалы" – 2015 - №1 – 4-11
7. Процесс SpeedArc. URL: <http://www.shtorm-lorch.ru/rus/info/tech/speedarc.php> (дата обращения 15.01.2015)
8. Waveform analysis for MIG / GMAW "Lincoln RapidArc" on steel. URL: http://www.weldsmith.co.uk/dropbox/cranu/110523_waveforms_GMAW_steel/waveforms_GMAW-P_RapidArc.html (дата обращения 15.01.2015)
9. Зернин Е. А. , Крампит А. Г. , Крампит М. А. , Чернов А. С. Исследование процесса формирования сварного шва с полным проплавлением при импульсно-дуговой сварке тавровых соединений // Технологии и материалы. - 2015 - №. 2. - С. 28-33
10. Особенности сварки при различных условиях и материалах. Часть 1. URL: <http://penzaelektrod.ru/articles/art21.htm> (дата обращения 20.06.2015)

ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА КАПЛЮ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ В НИЖНЕМ ПОЛОЖЕНИИ

Р.К. Садыров, Э.К. Габитов, студенты гр. 10А42,

Научный руководитель: Крампит Н.Ю., к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: nkrampit@mail.ru

Технологические преимущества импульсно-дуговой сварки позволяют создавать новые более совершенные способы и разрабатывать эффективное сварочное оборудование, имеющее широкие возможности для управления технологическими процессами, а именно процессами плавления и переноса электродного металла и формирования сварного шва [1].

В статье описаны силы, действующие на каплю электродного металла при импульсно-дуговой сварке в среде углекислого газа в нижнем положении.

При сварке в защитных газах на каплю электродного металла действуют следующие основные силы: сила тяжести F_g ; сила поверхностного натяжения $F_{п.н.}$; электродинамическая сила $F_{эд.}$; реактивное давление испаряющегося с поверхности капли металла и давления газа F_p ; сила давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами $F_{п.}$ [2].

Сила тяжести. Сила F_g оказывает существенное влияние только при больших размерах капель. В зависимости от пространственного расположения шва сила F_g способствует отрыву капли от электрода, если шов расположен в нижнем положении; если шов в потолочном положении, то сила тяжести препятствует отрыву; а если в вертикальном, то сила тяжести отклоняет каплю от электрода.

Сила поверхностного натяжения. Сила $F_{п.н.}$ обычно препятствует переносу капель с электрода в ванну. Местом приложения силы $F_{п.н.}$ может быть принято такое сечение на жидкой капле, в котором эта сила минимальна.

Электродинамическая сила. Сила $F_{эд.}$ возникает при прохождении тока по проводнику из-за взаимодействия тока с собственным магнитным полем. Если сечение проводника постоянно, то эта сила направлена по радиусу к оси проводника и стремится его сжать.

Реактивная сила F_p . Расплавленный металл на электроде и изделии в зоне активных пятен находится при температуре, близкой к температуре кипения. По этой причине с поверхности активных пятен происходит интенсивное испарение, а иногда и выделение различных газов. Из газов, которые могут образовываться на электроде, существенно образование окиси углерода.

Сущность управления плавлением и переносом электродного металла можно рассмотреть при исследовании процесса импульсно-дуговой сварки с помощью скоростной киносъемки. Данная методика описана в работе [3].

Полный цикл процесса плавления и переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении представлен на рисунке 1.

При анализе кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в углекислом газе в нижнем положении выявлено, что весь цикл процесса сварки можно разделить на этап паузы и этап импульса. В свою очередь, этап импульса подразделяется на подэтапы: нарастание тока импульса, отрыв капли электродного металла, переход капли в столбе сварочной дуги, спад тока импульса.

Этап паузы опишем следующим образом: виден «тонкий» столб дуги. На торце электрода находится капля. Под действием давления дуги капля электродного металла вытесняется на боковую поверхность. Столб сварочной дуги практически не виден. Капля начинает приподниматься относительно торца электрода. Электрод со стороны капли оплавляется косо. Далее капля электродного металла начинает выравниваться. Затем наблюдается рост и смещение капли относительно оси электрода. Происходит увеличение столба сварочной дуги. Под действием силы тяжести и поверхностного натяжения капля сформировалась на торце в виде сферы. Капля электродного металла занимает соосное положение с электродом.

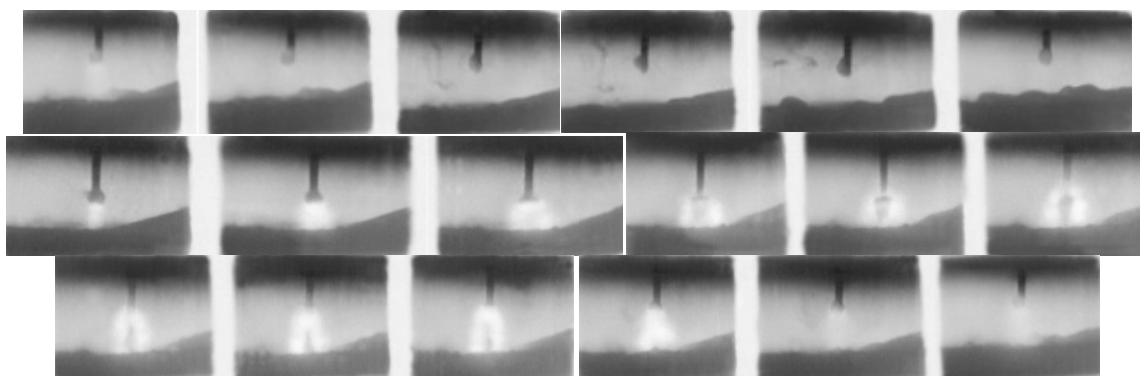


Рис. 1. Кинограммы процесса плавления и переноса электродного металла при импульсно-дуговой сварке в углекислом газе в нижнем положении (скорость съемки 2980 кадр/сек)

Действие сил на каплю электродного металла и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении представлено на рисунке 3. Как видно, на этапе паузы сила тяжести направлена вниз, а все остальные силы, а именно сила поверхностного натяжения, реактивная сила и электродинамическая сила, направлены вверх. Результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла будет равна нулю, т.е. капля находится в равновесном состоянии.

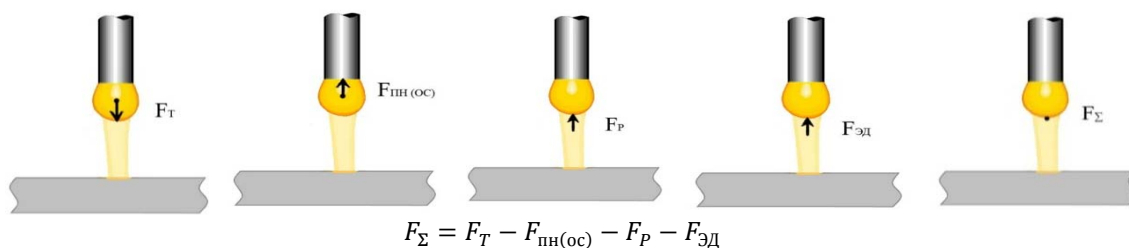


Рис. 2. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе паузы

Этап нарастания тока импульса опишем следующим образом: появилась небольшая дуга. На торце электрода хорошо видна капля, которая занимает соосное положение. Диаметр столба меньше диаметра капли и электрода. За счет увеличения тока импульса и величины сил, действующих на каплю, видно увеличение столба сварочной дуги. Увеличиваясь, столб сварочной дуги принимает бочкообразную форму и постепенно обхватывает каплю электродного металла. Нарастание тока происходит плавно, капля втягивается в столб дуги и, не смещаясь на боковую поверхность электрода, занимает соосное с ним положение.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рисунке 4.

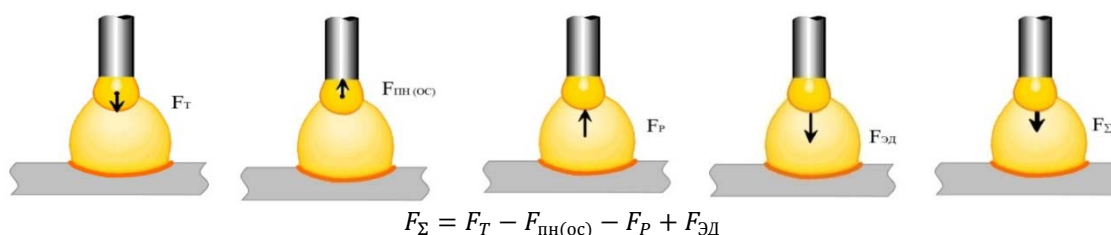


Рис. 3. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе нарастания тока импульса

Как видно, на этапе нарастания тока импульса сила тяжести и электродинамическая сила направлены вниз, а сила поверхностного натяжения и реактивная сила направлены вверх. В этом случае, результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла будет стремиться оторвать каплю электродного металла в сторону сварочной ванны.

Этап отрыва капли электродного металла опишем следующим образом: столб сварочной дуги обхватывает каплю электродного металла. С нарастанием сварочного тока увеличивается и значение электродинамической силы, под действием которой капля втягивается в столб дуги и движется в сторону ванны. Происходит образование шейки между электродом и каплей. Происходит оттягивание капли в направлении ванны. Далее идет отрыв капли и ее ускорение в сторону сварочной ванны. После разрыва перемычки реактивное давление паров очень велико, поэтому оторвавшаяся капля сильно деформирована. При взрыве шейки и отрыве капли, дуга «прыгает» на электрод, обхватывая его, поэтому в этот момент диаметр столба сварочной дуги имеет наибольшие размеры.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рисунке 5. На этапе отрыва капли электродного металла все силы направлены вниз, кроме реактивной силы, которая в данный момент отсутствует. Сила тяжести, сила поверхностного натяжения и электродинамическая сила направлены вниз, причем значение электродинамической силы очень большое. В этом случае, очевидно значение результирующей составляющей действия всех сил на каплю электродного металла, которая направляет каплю электродного металла в сварочную ванну.

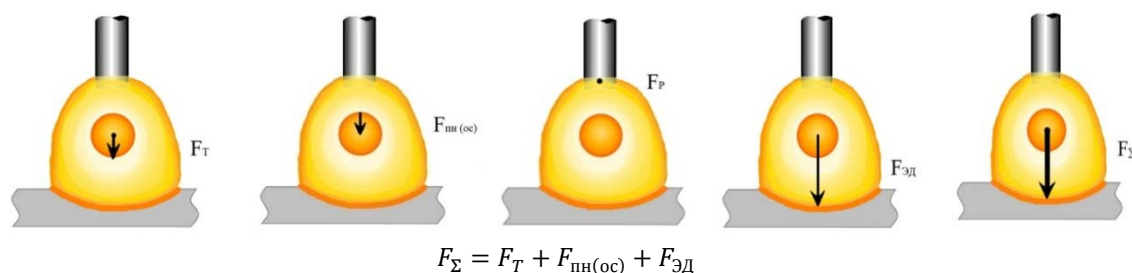
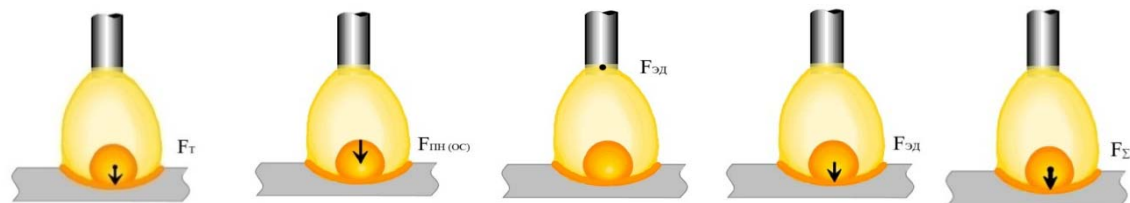


Рис. 4. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе отрыва капли электродного металла

Этап перехода капли электродного металла в сварочную ванну можно описать следующим образом: сильно деформированная капля, парящая в направлении сварочной ванны. Ток уменьшается. Наблюдается сужение столба сварочной дуги.

Действие сил на каплю и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении показано на рис. 6. На этапе перехода капли электродного металла в сварочную ванну сила тяжести, сила поверхностного натяжения и электродинамическая сила направлены вниз. В том же направлении действует результирующая составляющая действия всех сил на каплю электродного металла. Как видно, капля электродного металла входит в сварочную ванну.



$$F_{\Sigma} = F_T + F_{ПН(ос)} + F_{Эд}$$

Рис. 5. Действие сил и результирующее действие сил при импульсно-дуговой сварке в нижнем положении на этапе перехода капли электродного металла в сварочную ванну

Этап спада тока импульса можно описать следующим образом: постепенно уменьшающийся столб сварочной дуги. Капля металла перешла в сварочную ванну. На торце электрода видна вновь образованная капля расплавленного металла.

Таким образом, на основе анализа кинограмм процесса импульсно-дуговой сварки в среде углекислого газа в нижнем положении показаны силы, действующие на каплю электродного металла.

Литература.

1. Крампит Н.Ю., Буракова Е.М., Крампит М.А. Краткий обзор способов управления процессом дуговой сварки в среде защитных газов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: www.science-education.ru/115-12069.
2. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: «Машиностроение», 1974, 240 с.
3. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Исследование процесса переноса электродного металла при импульсном питании сварочной дуги // Технология металлов. – 2005. – №7. – С. 18-21.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

И.Д. Садыков, студент гр.10А52

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: mita8@rambler.ru

Надежность сварных соединений металлоконструкций во всех отраслях промышленности существенно влияет на безопасность и экономическую эффективность производства, поэтому находится в центре внимания, как работников производственной сферы, так и научного сообщества.

Сварка – непрерывный технологический процесс, в результате которого необходимо обеспечить равнопрочность основного металла, металла сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ), а также наиболее полный переход легирующих элементов с электрода в сварочную ванну. Эти требования выполняются путем использования современных материалов и прогрессивных сварочных технологий, а именно:

- применением сварочных материалов, в состав которых входят наноразмерные компоненты (покрытые электроды, порошковые проволоки);
- применением новых инверторных источников питания с различными схемами управления энергетическими параметрами процесса сварки.

Сварочные материалы с нанопорошковыми компонентами способствуют измельчению структуры наплавленного металла [1, 2], повышению механических свойств наплавленного металла, увеличению коэффициента перехода легирующих элементов [3]. Однако применение их может оказать негативное воздействие на здоровье сварщика [4, 5], что является сдерживающим фактором для широкого использования данных материалов в сварочном производстве.

В настоящее время рядом российских и зарубежных фирм-производителей сварочного оборудования выпускается широкий спектр источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, таких как Fronius (Австрия), Lincoln Electric (США), ESAB (Швеция), УКП (Технотрон, Россия), ВКЗ (ИТС, Россия) и т.д. То есть, практически все мировые лидеры в области сварочного произ-

водства ориентированы преимущественно на разработку и производства инверторных сварочных источников питания [6, 7]. Однако на промышленных предприятиях до сих пор широко используются сварочные диодные выпрямители. И хотя новое сварочное оборудование выпускается, но комплексной методики, которая позволила бы объективно оценить изменение тепловложения в свариваемое изделие от различных типов оборудования для РДС (ММА), на данный момент не существует.

Авторами работы [8] было установлено положительное влияние энергетических характеристик инверторного источника питания на полноту перехода легирующих элементов из электрода в наплавленный металл при сварке стали 12Х18Н10Т. Однако при изготовлении сварных конструкций значительно больше распространены чувствительные к термическому циклу среднеуглеродистые стали такие как: сталь 45 (Россия), S45C, JIS (Япония), 1.0503, DIN (Германия); 1.0503, EN (Евросоюз).

Сравнительному комплексному исследованию химического состава, микроструктуры и механических свойств, включая микротвердость, сварных соединений из стали 45, выполненных с использованием инверторного источника и диодного выпрямителя, посвящена данная работа.

Сварку пластин толщиной 10 мм производили (см. рис.1) в 4 слоя, электродами: корень – УОНИ 13/55 ($d = 3$ мм), сварочный ток $I = 80-90$ А; заполнение – УОНИ 13/55 ($d = 4$ мм), сварочный ток $I = 120-130$ А, с предварительным подогревом деталей до 300°C и последующим медленным охлаждением (укрытие теплоизолятором, асбестовое волокно, до полного остывания).

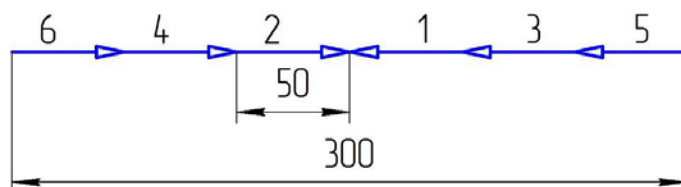


Рис. 1. Схема наложения швов

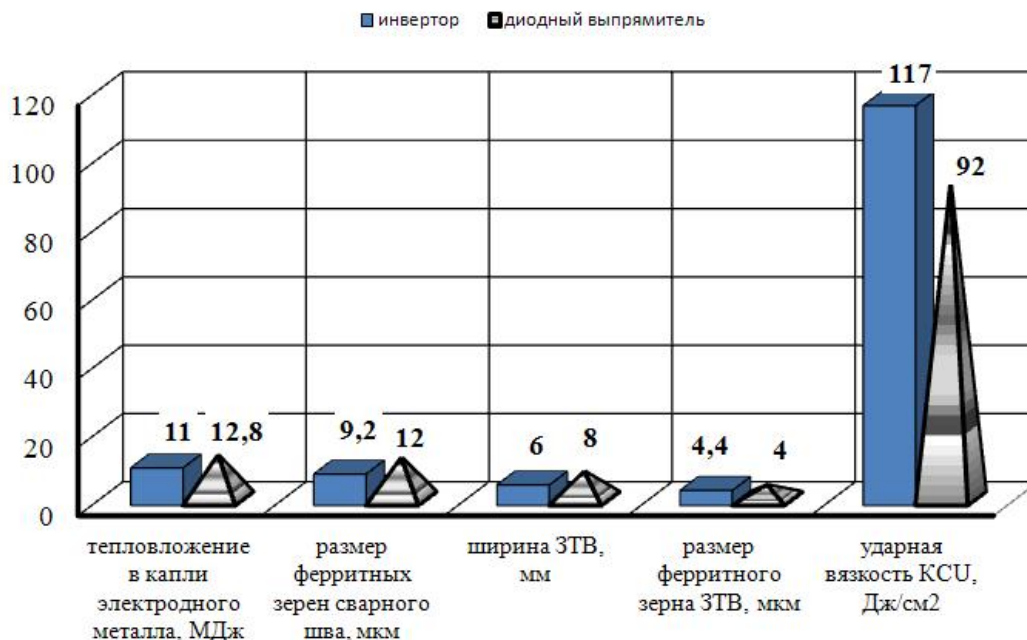


Рис. 2. Гистограмма изменений в сварных соединениях в зависимости от типа источника питания

Анализ результатов представленных на гистограмме изменений в сварных соединениях в зависимости от типа источника питания (см. рис. 2) показывает, что снижение теплосодержания и перегрева капель электродного металла при сварки от инверторного источника питания на 15,1% способствует уменьшению размера ферритных зерен на 24,4%, уменьшению протяженности ЗТВ на 25% повышению ударной вязкости на 27%, особенно при отрицательной температуре.

Литература.

1. Kuznetsov M. A. , Zernin E. A. , Danilov V. I. , Kartsev D. S. Application of nanostructured powders to control characteristic of electrode metal transfer and the process of weld structurization // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 199-203.
2. Kuznetsov M. A. , Zhuravkov S. P. , Zernin E. A. , Kolmogorov D. E. , Yavorovsky N. A. Influence of Nanostructured Powder Modifiers on the Structure of a Welding Bead // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 872. - p. 118-122].
3. Makarov S. V., Sapozhkov S. B. Production of Electrodes for Manual Arc Welding Using Nanodisperse Materials // World Applied Sciences Journal . - 2014 - №. 29(6). - p. 720-723/
4. Zhang M, Jian L, Bin P, et al. Workplace exposure to nanoparticles from gas metal arc welding process. J Nanopart Res 2013. 15, № 11, с. [37/1-14]
5. C. Guerreiro, J. F. Gomes, P. Carvalho, T. J. G. Santos, R. M. Miranda, and P. Albuquerque Characterization of airborne particles generated from metal active gas welding process// Inhal Toxicol, 2014; 26(6): 345–352.
6. Юшин, Алексей Александрович. Разработка критериев оценки сварочных свойств установок для дуговой сварки с управляемым каплепереносом : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.02.10 / Юшин Алексей Александрович; - Москва, 2012.- 16 с.: ил. РГБ ОД, 9 12-1/3053
7. Высокочастотные инверторы для сварки на переменном токе и обеспечение их параллельной работы : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.12 / Земсков Антон Владимирович; [Место защиты: Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А.]. - Саратов, 2013
8. Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12Х18Н10Т/ Фундаментальные исследования № 11-9 / 2013. С. 1794-1797.

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕСУРС РАБОТЫ КОНТАКТНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ
СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК**

К.С. Фадеев, студент,

Научный руководитель: Колмогоров Д.Е., к.т.н.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)7-77-65

E-mail:dek-79@mail.ru

Ресурс работы контактных наконечников сварочных горелок для механизированной сварки плавящимся электродом существенно влияет на стабильность процесса сварки, качество сварного соединения и трудоемкость изготовления сварной конструкции в целом. Факторы, влияющие на ресурс работы контактных наконечников, подразделяются на собственные, внешние и независимые.

Проведем более подробный анализ всех перечисленных факторов.

Конструктивные особенности контактных наконечников

Конструкции устройств для подвода тока к сварочной проволоке применяемые в горелках для сварки плавящимся электродом весьма разнообразны. Однако для механизированной сварки в среде защитных газов тонкими проволоками, вследствие ограничения горелок по габаритам и массе, нашли применение цилиндрические контактные наконечники со сплошным электропроводящим каналом, а также контактные наконечники «сапожкового» типа с одним контактным лепестком. Контактные наконечники «сапожкового» типа не целесообразно использовать при сварке проволоками диаметром более 1,2 мм [1], так как проволока большего диаметра оказывает значительное давление на контактный лепесток, что приводит к его быстрому износу. Еще одним недостатком контактных наконечников «сапожкового» типа является высокая трудоемкость изготовления.

Материалы, применяемые для изготовления контактных наконечников

Ресурс работы контактного наконечника напрямую зависит от свойств материала, из которого он изготовлен. Известно, что износ наконечника возникает в результате действия в контактной паре (сварочная проволока – контактный наконечник) двух процессов: механического и электроэрозионного износа. Также в процессе сварки контактный наконечник подвергается значительным термическим нагрузкам: его температура достигает 500-600⁰С при силе сварочного тока 250-300А. В связи с этим материал контактного наконечника должен обладать высокой тепло- и электропроводностью, а также значительной механической и электроэрозионной стойкостью.

В основном детали скользящих контактов изготавливают из меди различных марок и сплавов на основе меди – латуней и бронз. Контактные наконечники из латуни применять не целесообразно, поскольку они обладают низкой механической стойкостью и склонностью к свариванию с электродной проволокой. Однако латуни можно применять в биметаллических конструкциях наконечников, которые будут рассмотрены далее. Кроме меди и ее сплавов для изготовления деталей скользящих контактов используют графит или металл, связанный с графитом. Контактные наконечники из таких материалов обеспечивают надежный токосъем и наиболее благоприятные условия скольжения электродной проволоки, однако обладают низкой механической стойкостью.

Для повышения стойкости к истиранию (приблизительно в 3-4 раза) в настоящее время наконечники изготавливают из композиционных материалов на основе меди с добавлением вольфрама, молибдена и др., однако электропроводность таких материалов значительно ниже электропроводности меди, что при сравнительно небольшом износе отверстия вызывает прихватывание проволоки к наконечнику.

На практике невозможно подобрать материал для изготовления контактного наконечника, удовлетворяющий всем условиям его эксплуатации (высокая электропроводность и износостойкость). Поэтому находят применение конструкции наконечников сочетающие в себе свойства различных материалов – биметаллические конструкции. Как правило, такой наконечник представляет собой корпус из электропроводного материала (медь или другие) с износостойкой вставкой, армировкой или облицовкой на выходном торце. Ресурс работы такого наконечника в несколько раз выше ресурса работы монометаллического наконечника, однако, данная конструкция обладает высокой трудоемкостью изготовления [2].

Способы формирования контактной поверхности наконечников

Учитывая все вышесказанное, наиболее рациональной конструкцией контактного наконечника является цилиндрический наконечник со сплошным электродопроводящим каналом, изготовленный из металла или композиционных материалов. Существует несколько способов изготовления контактных наконечников: точением, штамповкой, литьем или спеканием (композиционные материалы). Существенного влияния на ресурс работы наконечника способ изготовления не оказывает, однако следует отметить, что торец наконечника и его боковая поверхность должны подвергаться полировке, т.к. это значительно снижает прилипание брызг расплавленного металла, увеличивая тем самым ресурс его работы.

Электродопроводящий канал наконечника так же получают различными способами: сверлением, экструдированием, дорнованием и др. Наиболее рациональным является способ экструдирования, поскольку при пластическом деформировании поверхность канала подвергается упрочнению, что значительно увеличивает ресурс работы наконечника. При дорновании поверхность канала также подвергается упрочнению, увеличивая ресурс работы наконечника приблизительно в 2 раза [3], однако трудоемкость данного способа значительно выше.

Режимы сварки

Режим сварки оказывает непосредственное влияние на работоспособность контактного наконечника. С увеличением силы тока $I_{св}$, напряжения $U_{св}$ и скорости подачи электродной проволоки увеличивается износ электродопроводящего канала наконечника, особенно вблизи торца. Сила тока и напряжение дуги влияют на электроэрозионный износ канала, скорость подачи проволоки влияет на его механический износ.

Кроме износа электродопроводящего канала существенным недостатком, влияющим на работоспособность контактного наконечника, является налипание брызг расплавленного металла на его поверхность, что нарушает равномерность подачи сварочной проволоки и вызывает ее приваривание к наконечнику. При сварке в CO_2 для каждого диаметра проволоки имеется средний диапазон токов, в пределах которого интенсивность разбрызгивания электродного металла примерно в 2 раза больше, чем при сварке на малых и больших токах. Прилипание брызг к контактному наконечнику в значительной степени зависит от его температуры в процессе сварки, на что непосредственное влияние оказывает сила тока и напряжение, а также расход защитного газа и расстояние от изделия до контактного наконечника [4].

Характеристики сварочной проволоки

Наиболее значимыми характеристиками сварочной проволоки, влияющими на ресурс работы контактных наконечников, являются:

- химический состав и механические свойства;

- состояние поверхности до прохождения через механизм подачи (наличие покрытий и технологической смазки) и после прохождения механизма подачи (наличие или отсутствие насечек от роликов подающего механизма);

- давление электродной проволоки на стенки электродопроводящего канала.

На ресурс работы наконечника так же оказывает влияние химический состав сварочной проволоки, поскольку химический состав влияет на твердость проволоки и неравномерность загрузки контактирующей части наконечника. Например, при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т наконечники изнашиваются сильнее, чем при сварке проволокой Св-08Г2С, т.к. при сварке проволокой Св-08Г2С в торцевой части наконечника передается 84% сварочного тока, а при сварке проволокой Св-08Х20Н9Г7Т – 96% [5].

На электроэрозионный и механический износ контактных наконечников большое влияние оказывает состояние поверхности сварочной проволоки, а именно наличие покрытий и технологической смазки. Технологическая смазка на поверхности проволоки, являясь диэлектриком, способствует возникновению электрических разрядов, вызывающих повышенный электроэрозионный износ канала наконечника, однако отсутствие технологической смазки увеличивает механический износ канала. Наименьший износ наконечника наблюдается при сварке омедненной проволокой. Это обусловлено хорошими токопроводящими свойствами медного покрытия, снижающего интенсивность электроэрозионных процессов. Механический износ также невелик, поскольку относительно пластичное медное покрытие не оказывает абразивного воздействия на канал наконечника [2].

Большое влияние на ресурс работы наконечника оказывает состояние поверхности сварочной проволоки прошедшей через механизм подачи. Поскольку механизмы подачи снабжаются подающими роликами с различной поверхностью (с насечкой или без), то на проволоке прошедшей через ролики с насеченной поверхностью образуются неровности, вызывающие повышенный износ наконечника.

Кроме вышеперечисленных факторов на износ наконечника влияет давление сварочной проволоки на стенки электродопроводящего канала. Это давление зависит от радиуса кривизны проволоки проходящей через тракт подачи сварочного полуавтомата или автомата, диаметра проволоки и ее жесткости.

Физико-химические технологии повышения ресурса работы

К физико-химическим технологиям относится нанесение различных термостойких покрытий на поверхность контактных наконечников в целях уменьшения налипания брызг расплавленного металла. Существует два основных вида термостойких покрытий: покрытия, наносимые на контактные наконечники методом ионного осаждения и в последствии не удаляемые с их поверхности (алмазоподобные, нитридоциркониевые и нитридотитановые покрытия) увеличивающие длительность эксплуатации наконечников на 30-80% [6]; покрытия в виде жидкостей и аэрозолей наносимые на контактные наконечники различными способами (окуном, распылением и др.) и в последствии удаляемые с их поверхности снижающие интенсивность забрызгивания в 3-10 раз по сравнению со сваркой без применения защитных покрытий [4].

Способы восстановления работоспособности

В большинстве случаев контактные наконечники после изнашивания электродопроводящего канала в дальнейшем не используются, что приводит к нерациональному расходу цветных металлов. Однако существуют способы восстановления работоспособности контактных наконечников, которые заключаются в увеличении канала наконечника по диаметру для использования с проволоками большего сечения, также изношенный наконечник можно использовать в качестве держателя для наконечника меньших размеров. Контактный наконечник меньших размеров изготавливают из того же материала, что и обычный, однако материал- и трудоемкость его изготовления значительно меньше [7]. Возможно восстановление изношенного наконечника при помощи медного штифта, который помещается в предварительно рассверленный канал и затем формируется новый электродопроводящий канал [8]. Кроме рассмотренных способов существует способ восстановления не требующий дополнительного расхода цветных металлов. Он заключается в изменении размеров электродопроводящего канала путем пластического деформирования цилиндрической части наконечника в специальной пресс-форме, а восстановление первоначального диаметра канала осуществляется сверлением сжатого участка со стороны резьбового участка. Данный способ является эффективным и довольно простым при восстановлении работоспособности контактных наконечников, при этом в процессе деформации металл на цилиндрическом участке подвергается упрочнению, что повышает износостойкость при эксплуатации [9].

Вывод:

Учитывая влияние всех вышеперечисленных факторов на ресурс работы контактных наконечников при механизированной сварке в CO_2 целесообразно применять цилиндрические контактные наконечники со сплошным электропроводящим каналом, полученным способом экструдирования, изготовленные из меди или композиционных материалов на основе меди с полированной поверхностью. Необходимо избегать сварки на средних токах, при которых резко усиливается разбрызгивание, и вести сварку с возможно меньшим напряжением дуги. Не допускать уменьшения расхода защитного газа и выбирать оптимальное расстояние от изделия до контактного наконечника. По возможности использовать проволоку меньшего диаметра с омедненной поверхностью и подающие механизмы с гладкими роликами. Для увеличения ресурса работы наконечника применять термостойкие покрытия для защиты от брызг расплавленного металла, а также применять способы восстановления работоспособности для изношенных контактных наконечников.

Литература.

1. Потапьевский А.Г. Сварка в углекислом газе. – М.: Машиностроение, 1984. – 80с.
2. Федько В.Т., Сапожков С.Б., Колмогоров Д.Е. Сварочные токоподводы, применяемые при автоматической и механизированной сварке плавлением (обзор) // Сварочное производство. 2004. №12. С.23-29
3. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Яшутин А.Г. Дорнование отверстий в токоподводящих наконечниках, применяемых при сварке плавящимся электродом в углекислом газе // Обработка металлов. – 2003. - №2. – С.24.
4. Федько В.Т. Технология, теоретические основы и средства снижения трудоемкости при сварке в углекислом газе: Учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 398с.
5. Бригидин В.Я., Конотоп Д.А. Повышение долговечности токоподводящих наконечников сварочных автоматов и полуавтоматов // Автоматическая сварка. – 1980. - №1. – С.67.
6. Данильченко Б.В., Дмитрик В.В., Притула С.И. Способы уменьшения забрызгивания сопел и токоподводящих мундштуков сварочных горелок // Сварочное производство. – 1995. - №9. – С.22 - 25
7. Черный О.М. Токоподводящие наконечники многократного использования для сварочных горелок // Сварочное производство. – 1990. - №5. – С.22.
8. Бондаренко И.А. Переоборудование шланговых полуавтоматов для сварки в CO_2 с одновременной очисткой проволоки // Автоматическая сварка. – 1967. - №5. – С.57.
9. Федько В.Т., Колмогоров Д.Е., Бегляков В.Ю. Способ восстановления контактных наконечников // Заявка №2005113057/02(015063) от 29.04.2005

**ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ
УПРАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

А.Д. Размышляев, д.т.н., проф., М.В. Агеева, к.т.н., доц., П.А. Выдмыш, аспирант
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина
87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. тел. 38 (0629) -333941*

**Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина
84313, Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, +38 (097) -2174719
E-mail: marinamykyta@rambler.ru*

Общеизвестно, что проблематичным является применение автоматической электродуговой сварки для получения качественно сформированных стыковых соединений. Особенно возрастают трудности при односторонней сварке стыковых соединений типа С4 металла толщиной 4 мм. В ГОСТе 8713-79 указано, что возможна сварка стыковых соединений типа С4 металла толщиной 4 мм при использовании медной, либо флюсомедной подкладки.

Анализ последних публикаций показал, что исследований, посвященных проблеме улучшения формирования швов при односторонней сварке стыковых соединений из малоуглеродистых сталей малых толщин, в частности, толщин 4 мм и менее, незначительно. В то же время имеются публикации [1...4], в которых показано, что при автоматической электродуговой наплавке проволокой под флюсом на изделия из малоуглеродистых сталей использование управляющего продольного магнитного поля позволяет существенно уменьшить глубину проплавления металла. Исследований о влиянии магнитных полей на проплавление и формирование металла шва стыковых соединений при ду-

говой односторонней сварке в настоящее время нет. В связи с этим представлялось целесообразным выполнения исследований в указанном направлении.

Рассматривали возможность применения для сварки конструкции устройства ввода (УВ) продольного магнитного поля (ПРМП), которое размещали над сварочной ванной по схеме, приведенной на рис. 1.

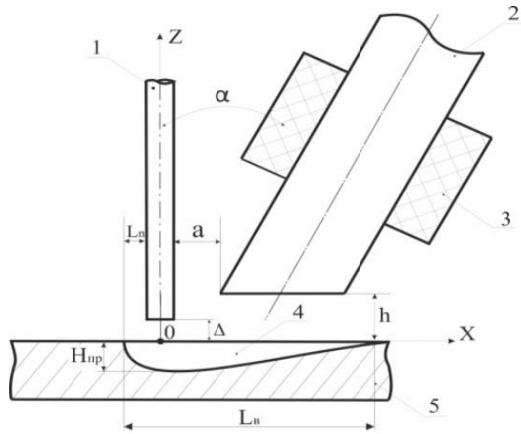


Рис. 1. Схема размещения УВ ПРМП над сварочной ванной: 1 – электрод; 2 – стержень; 3 – обмотка; 4 – сварочная ванна; 5 – пластина

3мм под флюсом АН-348А на обратной полярности. Свариваемые пластины были из стали ВМСт3сп толщиной $S = 4$ мм. Для сварки использовали автомат АДС-1002, источник питания ВДУ-1002, который включали на падающую внешнюю характеристику. Была произведена сварка стыковых соединений указанных пластин на флюсомедной подкладке, тип соединения – С4, АФм, без разделки кромок (ГОСТ 8713-79). Во всех исследованиях при сварке выдерживали неизменными следующие значения параметров: $I_{св} = 350$ А; $U_0 = 30 \dots 32$ В; $V_{св} = 30$ м/ч; расстояние $a = 10$ мм; расстояние $h = 25$ мм (рис. 1). Выполнялась сварка без воздействия магнитного поля, при воздействии постоянного поля, а также с воздействием ПРМП частотой 2 Гц, 12 Гц и 50 Гц; число ампервитков составляло $I \times W = 2240$.

Для исследования глубины проплавления из образцов после сварки вырезали поперечные темплеты шириной 15...20 мм. Из темплетов изготавливали макрошлифы. Данные исследования о влиянии частоты ПРМП на глубину проплавления приведены на рис. 2. Данные показывают, что с ростом частоты ПРМП глубина проплавления возрастает и при частоте 50 Гц достигает величины полного проплавления, которое характерно для сварки без воздействия ПРМП (линия 1 на рис. 2).

Тот факт, что при воздействии ПРМП частотой меньше 50 Гц уменьшается глубина проплавления, можно объяснить более интенсивным движением жидкого металла сварочной ванны, чем при частоте ПРМП 50 Гц.

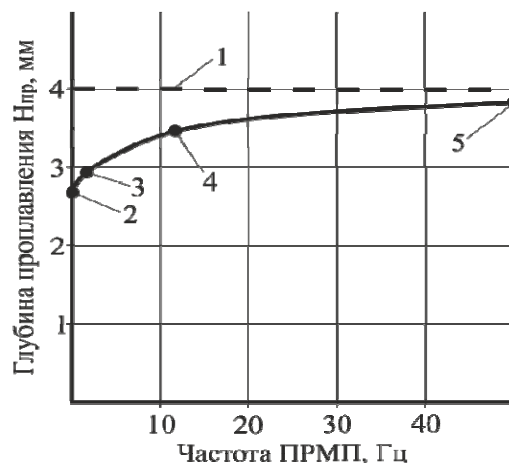


Рис. 2. Влияние частоты ПРМП на глубину проплавления $H_{пр}$: 1 – без поля; 2 – при постоянном поле; 3 – при частоте 2 Гц; 4 – при частоте 12 Гц; 5 – при частоте 50 Гц

При вращении под воздействием ПРМП жидкий металл ванны подтекает под дугу, увеличивает толщину жидкой прослойки под дугой и уменьшает глубину проплавления металла. Эффективность перемешивания жидкого металла сварочной ванны максимальная при воздействии постоянно-го ПРМП, в этом случае образуется максимальная толщина прослойки под дугой, что обеспечивает минимальное проплавление металла. При частоте 50 Гц жидкий металл в ванне из-за её инерционности не успевает перемещаться, поэтому эффективность проплавления металла такая же, как и без воздействия ПРМП. Для односторонней сварки стыковых соединений типа С4 толщиной 4 мм оптимальным является применение ПРМП с продольной компонентой индукции 30...40 мТл, при этом число ампервитков должно составлять не менее 2000.

Поскольку при уменьшении частоты ПРМП глубина проплавления металла уменьшается (рис. 2), то целесообразно использовать ПРМП частотой 2...12 Гц при сварке стыковых соединений металла толщиной менее 4 мм, например 2...3 мм.

Исследовали особенности формирования зоны проплавления при сварке стыковых соединений типа С4 толщиной 4 мм с воздействием управляющего поперечного магнитного поля (ПОМП). Для создания управляющего ПОМП использовали УВ из двух стержней с обмотками. Это устройство при измерениях индукции размещали над полостью (сварочной ванной), получаемой методом выплеска при сварке на соответствующих параметрах режима сварки (рис. 3).

Было установлено, что при числе витков в катушках 100 и токе в катушках $I_k = 60$ А в зоне под торцом электрода уровень индукции B_x составлял 30...40 мТл, а компонента индукции B_z была весьма незначительной, порядка 2...3 мТл.

Исследовали влияние параметров ПОМП на глубину проплавления металла при односторонней стыковой сварке пластин из стали ВМСТЗсп толщиной $S = 4$ мм на флюсомедной подкладке электродной проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом АН-348А (тип соединения – С4 по ГОСТу 8713-79) при параметрах режима: $I_{св} = 330...350$ А; $U_o = 30...32$ В; $V_{св} = 30$ м/ч с размещением стержней УВ ПОМП по рис. 3. При этом у поверхности пластины ($Z = 0$) уровень индукции B_y в зоне сварочной ванны составлял порядка 35...37 мТл, а уровень индукции B_z был незначительным (составлял 2...3 мТл).

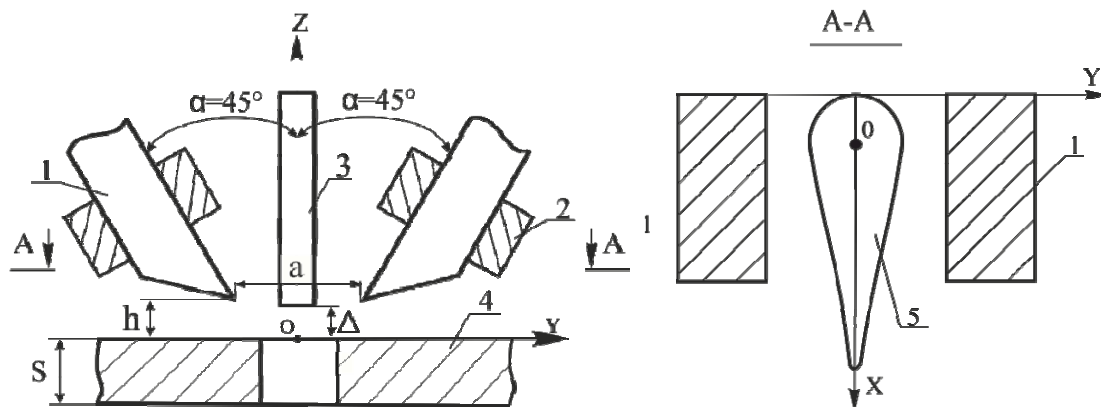


Рис. 3. Схема размещения стержней УВ ПОМП над пластиной с полостью (сварочной ванной):
1 – стержни; 2 – катушки; 3 – электрод; 4 – пластины ($S = 4$ мм); 5 – сварочная ванна

Установлено, что при неизменных значениях тока в катушках УВ ПОМП – $I_{кат} = 40$ А – минимальное проплавление наблюдается в диапазоне частот 2...12 Гц (рис.4). Выполнен эксперимент по односторонней сварке стыкового соединения металла толщиной $S = 3$ мм с воздействием ПОМП частотой 6 Гц. В этом случае получено соединение с полным проплавлением, без прожогов и пор.

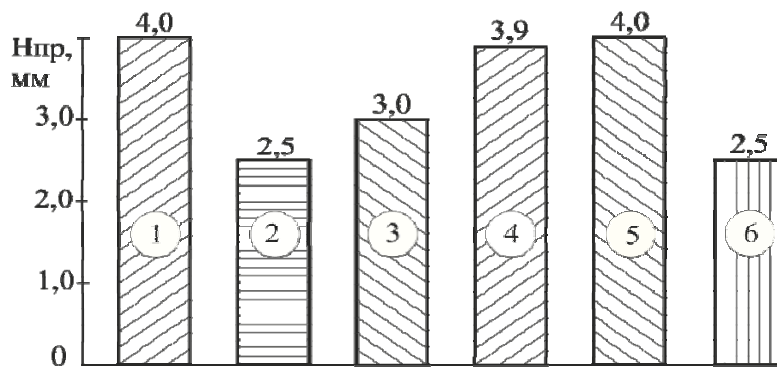


Рис. 4. Зависимость глубины проплавления ($H_{пр}$) металла от параметров ПОМП при сварке стыковых соединений С4 ($S = 4$ мм по ГОСТу 8713-79): 1 – без поля; 2 – 2 Гц; 3 – 12 Гц; 4 – 33 Гц; 5 – 50 Гц; 6 – 50 Гц; пульсации; металл и дуга отклонялись к головной части ванны

Таким образом, воздействие ПОМП при односторонней сварке стыковых соединений позволяет расширить технологические возможности сварки (выполнить сварку меньших толщин).

Выводы:

1. При односторонней сварке стыковых соединений малоуглеродистых сталей с применением УВ ПРМП снижается глубина проплавления металла, что позволяет повысить сварочный ток и увеличить производительность процесса сварки. При этом при сварке металла толщиной 4 мм целесообразно применение ПРМП частотой в пределах 2...12 Гц, а намагничивающая сила обмотки УВ ПРМП должна быть не менее 2000 ампервитков.

2. При односторонней сварке стыковых соединений малоуглеродистых сталей воздействие ПОМП частотой 2...12 Гц позволяет уменьшить глубину проплавления металла и уменьшить толщину свариваемого металла при соблюдении требований ГОСТа 8713-79 к качеству формирования швов.

Литература.

1. Болдырев А. М. Управление глубиной проплавления при дуговой сварке и наплавке с помощью продольного переменного магнитного поля / А. М. Болдырев, В.А. Биржев, А.В. Черных // Сварочное производство. – 1993. – № 6. – С. 30 – 31.
2. Размышляев А.Д. Особенности проплавления основного металла при дуговой наплавке в продольном магнитном поле / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова // Автоматическая сварка. – 2008 – № 8. – С. 24 – 28.
3. Размышляев А.Д. Влияние управляющих магнитных полей на геометрические размеры шва при дуговой сварке под флюсом / А.Д. Размышляев, В.Р. Маевский // Сварочное производство. – 1996. – № 2. – С. 17 – 19.
4. Размышляев А.Д. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова, К.Г. Кузьменко и др. // Автоматическая сварка. – 2011. – № 5. – С. 48 – 51.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ

*В.В. Коноводов, А.В. Валентов**

*Новосибирский Государственный аграрный университет
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147, тел.: (383) 267-35-07*

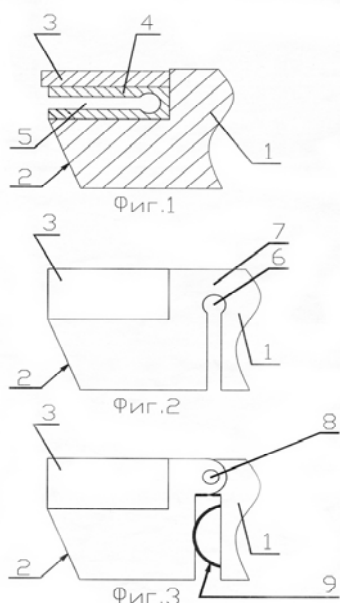
** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-05-37
E-mail: valentov@mail.ru*

Для ремонтного предприятия наиболее характерна группа способов, при которых производится наращивание изношенных поверхностей наплавкой, доля которых составляет 75-80% валового объема и 90-95% по номенклатуре. Наплавка, в сравнении с другими способами восстановления, позволяет получить на поверхности деталей слой необходимой толщины и химического состава, высокой твердости и износостойкости при относительно невысокой стоимости наращивания [1]. Одной из

сложных и актуальных является задача повышения эффективности механической обработки восстановленных деталей наращиванием труднообрабатываемых материалов. Как правило, здесь проблемным вопросом становится обеспечение стойкости и ресурса режущих инструментов, особенно для черновых операций.

Тяжелые условия обработки поверхностей, восстановленных наплавкой, вызывают разрушение режущей части инструмента (68-94%), интенсивный износ, в 2-4 раза превосходящий общемашиностроительные нормы, при этом наблюдается снижение скорости резания на 15-25% [1]. Низкие стойкость резцов и производительность при обработке восстановленной наплавкой деталей обусловлена недостаточной прочностью режущей части инструмента.

Повышение прочности инструмента можно обеспечить двумя способами: адаптивно изменяя геометрию инструмента в процессе обработки, или применяя специальные условия изготовления инструмента.



К первому способу можно отнести резцы (рис.1), способные изменять геометрию непосредственно в процессе резания [2]. При обработке заготовки на режущий элемент 3 воздействует сила резания. При нормальных условиях резания упругости прокладки 4 (фиг.1), перемычки 7 (фиг.2) и пружины 9 (фиг.3) достаточно для обеспечения жесткости системы инструмент-деталь.

В случае попадания в зону резания наплывов, сварных швов, неоднородностей металла заготовки и т.д., сила резания возрастает и уже упругости прокладки 4, перемычки 7 и пружины 9 недостаточно, поэтому происходит их деформация и режущий элемент 3 отклоняется вниз (по вертикали), изменяя тем самым главный передний угол, и процесс резания протекает в более благоприятных условиях. Таким образом, обеспечиваются оптимальные условия обработки наплавленных и неоднородных поверхностей. Проведенные лабораторные испытания предлагаемых инструментов выявили повышение стойкости инструмента на 86% по сравнению с базовыми моделями, однако, применение инструментов на основе WC приводит к быстрому затуплению и износу рабочей поверхности.

При проведении экспериментов с безвольфрамовыми твердыми сплавами износ незначителен, но механическое крепление пластинки к корпусу резца вызывает частые разрушения режущей части.

Рисунок 1. Резцы с адаптивно изменяемой геометрией

Ко второму способу повышения прочности лезвийного инструмента относятся специально подготовленные инструменты. В частности, к таким инструментам можно отнести инструменты, паянные на железоуглеродистый припой [3]. Фактором, определяющим эффективность применения FeC-припоев является их высокая активность взаимодействия по отношению к стали и компонентам твердых сплавов. FeC-припой из-за этого обладает хорошей смачиваемостью по отношению к металлам связки и карбидам твердых сплавов. Известно [4], что железо в жидкой фазе полностью смачивает кристаллы WC, которые являются основой большинства твердых сплавов, краевой угол смачивания θ^0 равен нулю, а также достаточно хорошо смачивает карбиды других элементов (TiC, NbC, NiC и др.), входящих в состав твердых сплавов. FeC-припой характеризуется полной смачиваемостью металлов связки (Co, Ni, Mo) и образует с ними, как правило, непрерывный ряд растворов. Медные припои при этом взаимодействуют только со связкой, в системе WC-Cu смачиваемость и растворимость весьма ограничены, а в системе (TiC-WC)-Cu смачиваемость и растворимость отсутствуют, чем и объясняется плохая паяемость твердых сплавов с пониженным содержанием Co и безвольфрамовых твердых сплавов.

Следовательно, при пайке FeC-припоем будет иметь место активный объемно-диффузионный характер взаимодействия припоя со сталью и твердым сплавом [5]. Данное обстоятельство обеспечивает хорошую паяемость FeC-припоями различных твердых сплавов, в частности безвольфрамовых твердых сплавов (ТН20, КНТ16).

Действительно, при металлографическом исследовании образцов в нетравленном состоянии (рис. 2) наблюдается хорошая адгезия FeC –припоя как с материалом державки, так и с материалом режущей части.

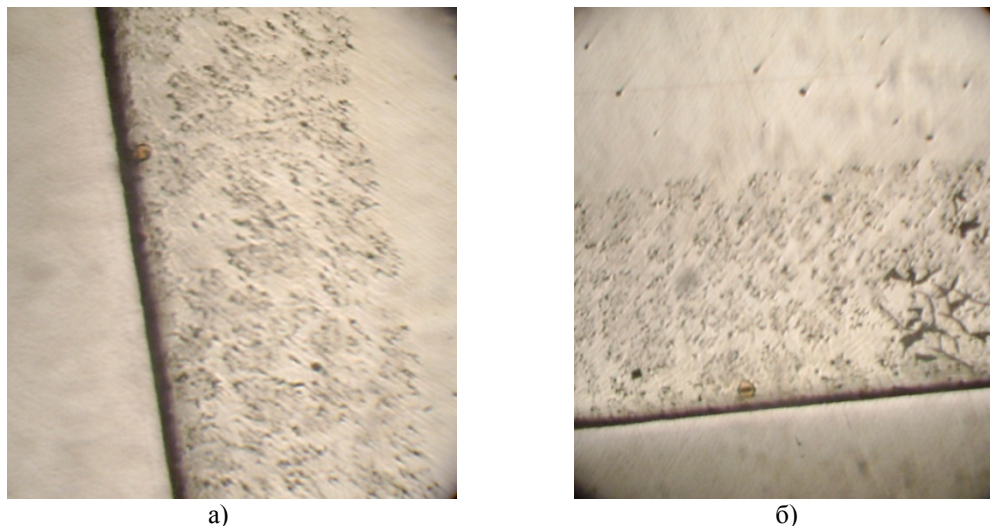


Рис. 2. Фотографии микрошлифов x100
а) безвольфрамовый твердый сплав КНТ 16 – FeC-припой – державка.
б) безвольфрамовый твердый сплав ТН 20 – FeC-припой – державка.

Повышение износостойкости определяется более высокой интенсивностью теплоотвода через паяное соединение в сравнении с механическим контактом, высокой жесткостью и сопротивлением ползучести режущей части, паяной FeC-припоем, благоприятным характером напряжений в режущем элементе.

Лабораторные испытания резцов, изготовленных на базе FeC-припоя по разработанной технологии, проводили относительным методом, основанном на сравнении их режущих свойств со стандартными резцами, паяными Si-припоями. Испытания проводили в соответствии с методикой, предусматривающей определение относительных показателей прочности и износостойкости. Оценка показателей произведена расчетом коэффициентов прочности ($K_{пр}$) и стойкости ($K_{ст}$). Режущие свойства инструментов определены при обработке точением поверхности, наплавленной электродом Нп-30ХГСА под слоем флюса АН-348А. Результаты лабораторных испытаний резцов приведены в таблице 1.

Анализ проведенного сравнительного эксперимента позволяет заключить, что стойкость резцов из Т15К6 и КНТ16, паяных FeC-припоем составляет более 60 мин при скорости резания соответственно 65-100 м/мин и 95-110 м/мин. Стойкость стандартных резцов находится на уровне до 30 мин, что достаточно хорошо согласуется с известными данными и практикой ремонтного производства.

Таблица 1

Результаты сравнительных лабораторных испытаний резцов
при точении наплавленной поверхности

Марка инст- рументально- го материала	Резцы паяные АНМц 06-4-2		Резцы паяные FeC-припоем					
	Режущая пластина, формы							
	01391 (I)		01391		01651 (2)		02631 (3)	
	Т, мин	S _p , мм/об	K _{ст}	K _{пр}	K _{ст}	K _{пр}	K _{ст}	K _{пр}
ВК8	9,2	1,64	1,0	1,4	1,0	1,5	1,1	1,3
T5K10	12,4	1,50	1,0	1,5	1,1	1,6	1,2	1,4
T15K6	21,0	0,86	1,1	1,8	1,2	2,1	1,3	1,5
T30K4	18,6	0,56	1,0	2,0	1,1	1,9	1,3	1,6
КНТ16	22,7	0,69	1,0	2,2	1,2	1,8	—	—
ТН20	19,6	0,72	1,1	1,9	1,2	1,7	—	—

Следует отметить, что наибольший рост стойкости отмечен у резцов с твердыми сплавами, имеющими пониженную прочность, но высокие потенциальные режущие свойства (Т15К6 и КНТ16). Для резцов из Т5К10 стойкость повышается незначительно. Это объясняется тем, что отказы резцов из Т15К6 и КНТ16 вызваны в первую очередь разрушением режущей части, а Т5К10 износом.

После проведения лабораторных испытаний резцов, полученных в условиях обработки наплавленной поверхности, можно сделать ряд выводов.

1. Износостойкость резцов, изготовленных на базе FeC-припоя находится на уровне или в 1,1-1,3 раза выше стандартных, паяных Cu-припоем.
2. Прочность режущей части твердосплавных резцов, паяных разработанным припоем в 1,4-2,2 раза выше стандартных. Данные результаты подтверждают предположение, что прочность режущей части инструмента в целом в значительной мере определяется жесткостью и прочностью соединения, образованного FeC-припоем.
3. Существенное повышение прочности режущей части и сохранение высокого уровня износостойкости позволит использовать для обработки наплавленных поверхностей резцы, оснащенные наиболее износостойкими твердыми сплавами Т15К6, КНТ16 при черновом и ТН20 и Т30К4 при чистовом точении.

Таким образом, обработка восстановленных наплавкой поверхностей твердосплавными резцами на базе FeC-припоя позволяет повысить производительность обработки, сократить расход режущих инструментов и обеспечивать заданные техническими условиями параметры качества обработанной поверхности, а в комбинации со способом адаптивного изменения геометрии значительно увеличить стойкость инструмента.

Литература.

1. Коноводов В.В. Повышение ресурса технических изделий агропромышленного комплекса технологическими методами: монография/ НГАУ.–Новосибирск, 2010. – 378с.
2. Валентов А.В., Ретюнский О.Ю. Патент на полезную модель № 42000 по заявке № 2004109359/22 29.03.2004 Опубликовано 20.11.2004 Бюллетень № 32
3. Коноводов В.В., Глазачев С. У. Малышко А.А. Припой для пайки инструмента. Патент РФ № 2076795, 1997.
4. Каленчян К.О. Структура и свойства соединений твердый сплав-сталь при контактной сварке твердосплавного инструмента. Авто-реф. Канд. Техн. Наук. – М., 1984. – 19 с.
5. Коноводов В.В., Малышко А.А., Глазачев С.У., Каллойд Ю.В. Совершенствование технологии изготовления паяного твердосплавного инструмента/Новые модели и технические решения в аграрном производстве.: Сб. науч. Тр. / НГАУ. – Новосибирск, 1995.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОСТОВОЙ СТАЛИ 15ХСНД, ВЫПОЛНЕННЫХ НА СТЕКЛО-СТАЛЬНОЙ ПОДКЛАДКЕ

В.Н. Музалев¹, Б.С. Семухин, д.ф.-м.н., проф.^{1,2}, В.И. Данилов, д.ф.-м.н., проф.^{2,3}

¹*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

634021, г. Томск, пр. Академический 2/4

³*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: bss@ispms.tsc.ru

Введение

Большинство особо ответственных стальных конструкций и сооружений обладают целым набором неразъемных соединений, получающихся методом электродуговой сварки. Поэтому в России широкое распространение имеет «монтажная сварка конструкций автомобильно-дорожных, городских, совмещенных и пешеходных мостов (включая путепроводы, виадуки, эстакады), сооружаемых в любых климатических зонах» [СТП 005-97 «Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов»]. При строительстве пролетных автодорожных мостов, чтобы обеспечить высокую производительность труда, в настоящее время сварку проката толщиной до 16 мм предпочитают производить на подкладке без разделки кромок. Наиболее широко распространены медные и стекло-медные под-

кладки. При автоматической сварке больших по протяженности швов мостовых конструкций использование дорогостоящей меди зачастую не рационально. Кроме того, быстрое отведение тепла при использовании медной подкладки не всегда оправдано в строительстве при экстремально низких температурах Крайнего Севера и Сибири. Поэтому поиск возможности замены медной подкладки на более дешевую и менее теплопроводную стекло-стальную являлось актуальной производственной задачей. Однако, как свидетельствуют литературные источники, даже применение стекло-медной подкладки не обеспечивает необходимого теплоотвода от сварочной ванны, чтобы сформировать однородную структуру наплавленного металла сварного соединения. Так в работе [1] утверждается, что из-за недостаточного теплоотвода в формирующую стекло-медную подкладку незначителен, поэтому в наплавленном металле формируются в основном кристаллиты, направленные перпендикулярно к стенкам сварочной ванны, а их длина достигает 10 мм. Кристаллиты, направленные нормально к подкладке имеют значительно меньшую длину и количество их несоизмеримо меньше. С этим несовершенством структуры сварных соединений связывается большое число дефектов в виде трещин, которые наиболее часто появляются в поперечных швах ортотропных плит вблизи их пересечения с продольными швами. Часто это происходит при продольной надвижке пролетных строений. Мостостроителям известен факт, что после надвижки трехпролетного путепровода длиной до 30 м в 50% мест пересечений швов были обнаружены трещины, хотя напряжения в листах при надвижке не превышали 150 МПа. Этот негативный опыт потребовал проведения комплексных исследований структуры и механических свойств сварных соединений, выполненных автоматической сваркой на стекло-стальной подкладке.

Материал и методика эксперимента

Для проведения исследований образцы модельных сварных швов на листах толщиной 12 мм стали 15ХСНД были выполнены автоматической сваркой в горизонтальном положении на стекло-стальной подкладке. Разделка кромок не проводилась. Зазор между листами составлял 8 мм. Вначале осуществлялись ручной дуговой сваркой электродами Э50 УОНИ-13/55 (ГОСТ 9467–75) прихватки длиной 50 мм. Расстояние между прихватами 200 мм. Затем зазор заполнялся металлической крупкой из проволоки Св-10НМА диаметром 2 мм. Химические присадки для инициирования кристаллизации наплавленного металла не использовались. Сварка проводилась сварочной проволоки Св-10НМА (ГОСТ 2246–70) диаметром 3 мм под флюсом АН-47, который предварительно прокаливался при температуре 350–400⁰С. Сварочный пост был укомплектован трактором АДФ-1202 и выпрямителем ВДУ-1202. Следует особо отметить, что сварка производилась в один проход. Параметры сварочного режима: сила тока 800 А, напряжение дуги 36 В, скорость сварки 18 м/ч., вылет электродной проволоки 12 мм.

Модельные пробы сварных соединений имели размеры 500×400 мм². Сварной шов располагался посередине параллельно длинной стороне. Из пробы согласно ГОСТ 6996–66 фрезерованием были изготовлены:

- а) плоские образцы для статического одноосного растяжения размерами 400×20×6 мм³ без головок, в которых сварной шов располагался посередине нормально к оси нагружения;
- б) образцы прямоугольного сечения для статического изгиба длиной 170 мм, толщиной равной толщине свариваемых листов и шириной = 1,5 толщины, с расположенным посередине сварным швом; валик сварного шва был удален;
- в) образцы типа 1 для испытания на ударную вязкость по ГОСТ 9454–08, где шов также был перпендикулярен продольной оси и располагался посередине образца; U-образный надрез был выполнен по оси сварного шва.

Испытания на растяжение и на статический трехточечный изгиб проводились на испытательной машине Instron 1185. Скорость перемещения подвижной траверсы при испытании на растяжение составляла 1мм/мин. При расчетной рабочей длине образцов 300 мм это обеспечивало скорость деформации $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

При испытаниях на статический изгиб образцы располагались так, что корень шва находился снизу в растягиваемой области. Скорость перемещения оправки диаметром 25 мм составляла 5 мм/мин. Расстояние между опорами (рабочая длина образца была равна 110 мм). Испытание прекращалось либо после возникновения наружной трещины в растянутой области, либо после загиба на 90°.

Определение ударной вязкости КСУ⁻⁶⁰ проводилось на маятниковом копре МК-30А с максимальной энергией удара 300 Дж.

Макроструктура сварного соединения выявлялась методом глубокого травления реактивом, состоящим из равных частей азотной и плавиковой кислот. Микроструктуру наплавленного металла и окружающих зон исследовали на полированных и травленных в 4% спиртовом растворе азотной кислоты микрошлифах с использованием микроскопа Neophot-21.

Результаты эксперимента и их обсуждение

На образцах для статического изгиба были приготовлены поперечные шлифы для исследования макроструктуры сварного соединения. На этих шлифах можно рассмотреть шов по всей толщине за исключением облицовочных валиков (рис. 1а). Видно, что ширина зоны наплавленного металла велика и превышает толщину свариваемых листов. Данный факт свидетельствует о том, что объем сварочной ванны был велик, а скорость охлаждения, наоборот, низкая.

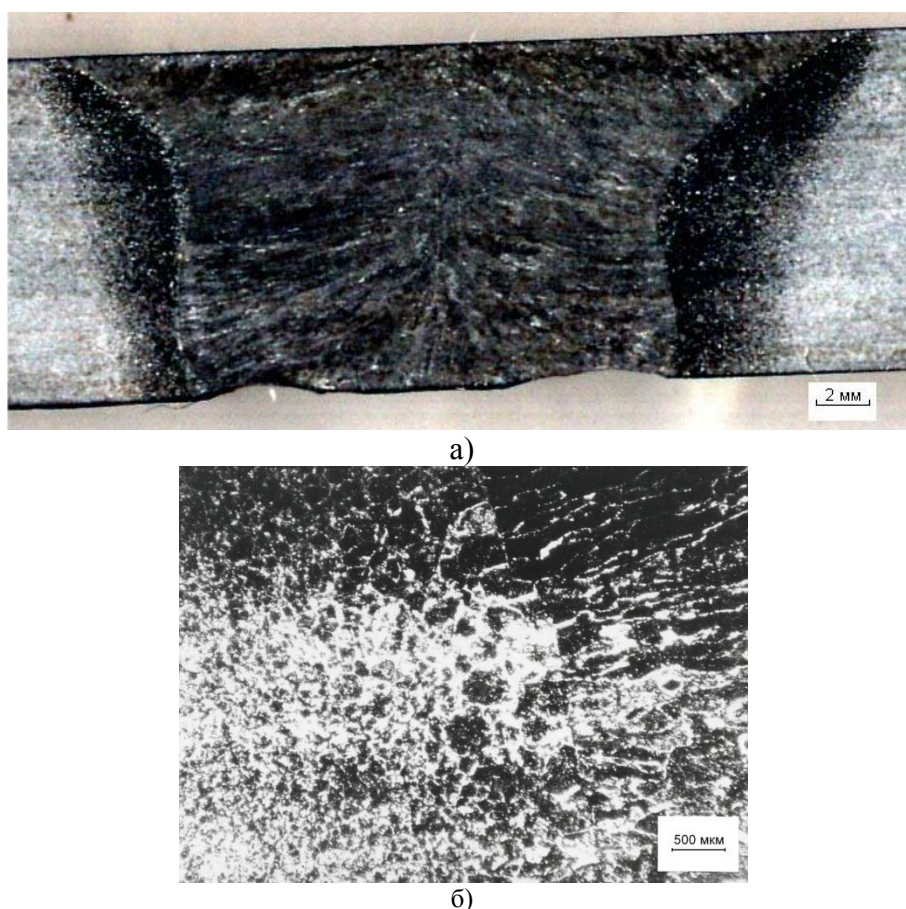


Рис. 1. Макроструктура сварного соединения, выполненного на стекло-стальной подкладке

Наплавленный металл имеет грубую литую структуру. Расположение крупных дендритов преимущественно горизонтальное от основного металла к оси шва. Это означает, что теплоотвод происходил в основном через свариваемый металл. Из-за незначительного теплоотвода рост кристаллитов со стороны стеклянной подкладки был небольшим. То есть, все признаки неблагоприятной макроструктуры, отмеченные в [1], наблюдались и в исследованных сварных соединениях. Следовало выяснить, обеспечивает ли технология сварки на стекло-стальной подкладке необходимую по используемым в практике мостостроения техническим условиям конструктивную прочность.

Основные механические свойства сварных соединений определялись в ходе испытаний на растяжение. Деформационные кривые растяжения были характерными для стали 15ХСНД в состоянии поставки, имели зуб и площадку текучести. Были определены физический предел текучести $\sigma_T = 368,9 \pm 6,8$ МПа и временное сопротивление разрушению $\sigma_B = 537,3 \pm 2,9$ МПа. Эти значения превышают требования ГОСТ 19282–73 для стали 15ХСНД в состоянии поставки ($\sigma_{0,2} \geq 345$ МПа, $\sigma_B \geq 490$ МПа) [2]. Пластичность металла оказалась заметно ниже. По ГОСТ 19282–73 $\delta \geq 21$ %, а испытанные

образцы сварных соединений показали лишь $\delta = 17,6 \pm 1 \%$. Возможно это обусловлено тем, что поперечный сварной шов в середине образца и околошовная зона не деформировались совершенно, а разрушение происходило по основному металлу. В то же время эти участки входили в расчетную длину.

Все образцы прошли испытание на статический изгиб, так как трещины в растянутой области при загибе до 90° не образовывались ни в наплавленном металле, ни в зоне термического влияния, ни тем более, в основном металле.

Испытания на ударную вязкость проводились при температуре -60°C . Полученное значение $KCU^{-60} = 101,1 \pm 19,2$ Дж/см², что значительно выше требуемого по ГОСТ 19282–73 для стали 15ХСНД (не менее 34 Дж/см²). Излом вязко-хрупкий, волокнистый с крупными фасетками сколов. Так как надрез был сделан в наплавленном металле, а эта зона превышает толщину свариваемых листов, то указанное различие неудивительно, потому что химический состав присадочной проволоки не идентичен химическому составу основного металла. Таким образом, судя по механическим испытаниям, сварные швы, полученные на стекло-стальной подкладке, удовлетворяют требованиям ГОСТ и ТУ, но макроструктура их далека от идеальной. Все это предопределило необходимость подробного исследования микроструктуры сварного соединения во всех зонах традиционно выделяемых в металловедении сварки [3].

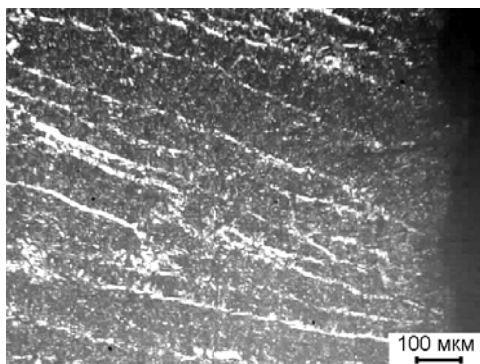
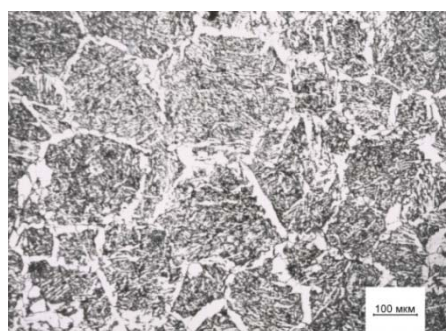


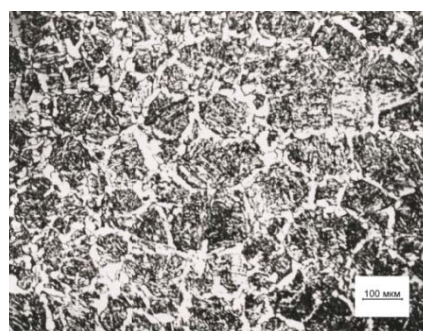
Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла (зона I)

На макрошлифе ясно выделяется линия сплавления, которая отделяет закристаллизовавшийся металл сварочной ванны от основного металла свариваемого листа. На рис. 1 б изображен участок макрошлифа, где хорошо видны, как различия в структуре наплавленного (справа) и основного (слева) металла, так и переход по мере удаления от линии сплавления к неискаженной

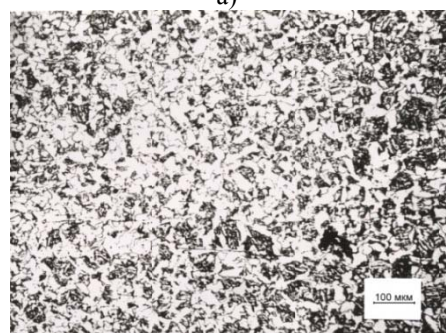
структуре основного металла. Исследование микроструктуры наплавленного металла (зона I по классификации [3]) показало, что видимые на макрошлифе столбчатые кристаллиты представляют собой длинные ферритные пластины (рис. 2). Пространство между этими пластинами заполнено мелкодисперсной феррито-цементитной смесью. По-видимому, в процессе кристаллизации имело место сильное расслоение по углероду.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Микроструктура зон V – VIII сварного соединения

Ширина зоны термического влияния достигает 4,5 мм, а сама зона имеет сложное и крайне неоднородное строение. Вблизи линии сплавления, где температура превышала точку A_4 (рис. 1 а), сформировался узкий участок где старые зерна аустенита имеют сравнительно небольшие размеры и вытянутую в направлении градиента температур форму. Эта область соответствует зонам II, III и IV по классификации [3]. Известно, что в этих зонах в результате высокотемпературного нагрева происходит превращение аустенита в δ -феррит, и частичное подплавление. Причем, подплавляются границы зерен аустенита, участки сегрегаций легирующих элементов и сульфидные неметаллические включения. При охлаждении расплавленные участки кристаллизуются самостоятельно, образуя, первичные границы, а при дальнейшем охлаждении возникают вторичные границы. В настоящем случае наблюдаются выделения феррита по границам старого аустенитного зерна и карбидные частицы внутри зерен. Хотя авторы [3] считают, что этот участок может существенно снижать служебные свойства сварного соединения, в нем каких-либо несовершенств в рассматриваемом случае не обнаружено.

Следующий участок имеет грубую крупнозернистую структуру. По классификации металловедения сварки это зона V или зона перегрева, где происходит интенсивный рост зерна аустенита (рис. 3 а). Основными деталями этой структуры являются выделения пластинчатого видманштеттова феррита, которые окаймляют старые аустенитные зерна. Средний размер аустенитного зерна достигает 300 мкм, а ширина пластин феррита ~ 20 мкм. Внутри старого аустенитного зерна феррит тоже имеет пластинчатое строение, пластины более тонкие и произвольно ориентированные. Ширина этой зоны достигает 1,25 мм. В ней в незначительном количестве присутствуют газовые микропоры, размер которых составляет 20...30 мкм.

По мере продвижения от линии сплавления вглубь основного металла на расстоянии $\approx 1,9$ мм (рис. 3 б) находится зона, где температура превышала A_3 , но была ниже температуры интенсивного роста зерна аустенита (зона VI). Здесь тоже происходила аустенизация основного металла, но зерно аустенита относительно небольшое. Оно также окаймленное видманштеттовым ферритом. Но средний размер аустенитного зерна не превышал 150 мкм, а пластины феррита на границах часто разорваны и представляют собой совокупность полиэдрических зерен. Структура внутри старого аустенитного зерна подобна описанной выше, но более дисперсна. В отдельных местах, по-видимому, произошло нормальное диффузионное $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение с выделением перлитного эвтектоида. В данной зоне тоже встречаются поры, но более мелкие.

Описанная зона плавно переходит в зону, где температуры не превышали A_1 , и поэтому аустенизация не происходила (зона VIII, рис. 3 в). Участок неполной перекристаллизации (зона VII) не выделяется. Зона VIII находится на среднем расстоянии 4,5 мм от линии сплавления и имеет феррито-перлитную структуру, подобную структуре основного металла (рис. 3 г). Соотношение феррита и перлита в зоне VIII такое же как и в основном металле, но размеры ферритного зерна в два раза больше. По-видимому, в зоне VIII, развивалась интенсивная рекристаллизация, и возникали максимальные термические напряжения. Поэтому здесь обнаружены длинные и тонкие микротрещины, расположенные в основном нормально к линии сплавления.

Заключение

Исследования механических свойств сварных соединений из стали 15ХСНД, выполненных на стеклянной подложке, показали, что в целом требования ГОСТ и отраслевых технических условий выполняются. Однако наплавленный металл имеет неоптимальную макроструктуру, а зона термического влияния слишком большую ширину, что может отрицательно сказаться и, как видно из литературных источников, сказывается на поведении изделий в процессе монтажа и эксплуатации. Указанные структурные несовершенства, по-видимому, являются следствием плохого теплоотвода в стекло-стальную подложку, когда основной отток энергии происходит через свариваемый металл. Улучшить ситуацию может снижение погонной энергии сватки и ужесточение требований технологической дисциплины, строгое соблюдение режимов сварки. Кроме того, методика испытаний по СТП 005-97 недостаточно хорошо аттестует сварное соединение. В частности ударные испытания с надрезом по оси сварного шва дают информацию о вязкости разрушения наплавленного металла, а по результатам настоящих исследований микроструктуры наиболее опасной является зона термического влияния.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке и гранта РФФИ № 14-08-00299 с использованием оборудования ЦКП «Нанотех».

Литература.

1. Агеев В.С., Морозов С.В., Шурыгин М.П., Никонов Г.И., Щелкунов С.А. О причинах возникновения трещин в сварных швах листа настила ортотропных плит // Транспортное строительство. 2002. № 11. С. 18-20.
2. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. / В.Г. Сорокин и др.; Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Геврасьев. М.: «Интермет Инжиниринг», 2001, 608 с.
3. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. М.: Машиностроение. 1989, 336 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

С.А. Солодский, к.т.н., доцент, И.С. Борисов, студент гр. 10600

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 777-64

E-mail: Serdgio80@inbox.ru

Исключительно большие технологические возможности плазменных устройств привели к ним огромное внимание исследователей и производителей. В связи с этим в технической литературе с каждым годом увеличивается количество публикаций по различным теоретическим и практическим вопросам плазменной обработки.

Независимое регулирование общего потока энергии и его плотности открывает новые возможности в технологии плазменной сварки и резки металлов. Способность плазматронов строго локализовать область интенсивного тепловыделения и повысить в ней значение удельных тепловых потоков до величины $10^2 - 10^3$ кВт/см² явилась основной предпосылкой при использовании их для резки металлов [1].

В настоящее время отечественная практика обогатилась опытом использования воздушно - плазменной резки малоуглеродистых сталей.

Тепловое воздействие плазменной резки на металл у кромок и вызванные им изменения свойств металла в зоне термического влияния могут быть уменьшены применением рациональных режимов резки. Так, глубина литого участка зоны влияния может быть уменьшена повышением напряжения режущей дуги, а глубина участка с измененной структурой - увеличением скорости резки. В то же время увеличение скорости сопровождается увеличением глубины литого участка [2].

Главным показателем производительности труда при плазменной резке является скорость резки. Для того чтобы осуществить плазменную разделительную резку металла, необходимо расплавить определенный объем материала вдоль предполагаемой линии реза и удалить его из полости реза скоростным потоком плазмы.

Для выплавления зоны металла вдоль линии реза нужно подвести определенное количество теплоты. Это количество поступает в металл из столба сжатой дуги и носит название тепловой мощности дуги q_u . Требуемая величина q_u , Вт, зависит от многих параметров и определяется по формуле [1]:

$$q_u = V_p \cdot F \cdot \gamma \cdot c \cdot [(T_{пл} - T_0) + q] \cdot 4,19$$

где V_p - скорость резки, см/с; F - площадь поперечного сечения зоны выплавляемого металла, см²; γ - удельный вес разрезаемого металла, г/см³; c - теплоемкость металла, Дж/(г*°C); $T_{пл}$ - температура плавления металла, °C; T_0 - температура металла до начала реза, °C, q - скрытая теплота плавления металла, °C.

Здесь произведение $V_p \cdot F \cdot \gamma$ определяет массу выплавляемого металла за единицу времени и имеет размерность г/с.

Эффективная тепловая мощность q_u для заданной толщины металла имеет определенное числовое значение, ниже которого процесс резки невозможен.

Во всех известных работах указывается влияние на скорость резки таких известных параметров как ток дуги, диаметр сопла, тип и давление плазмообразующего газа [1-3]. Поэтому в работе проведено исследование влияния напряжения дуги на скорость резки для стали Ст3. Для этого были

взяты два разных источника питания с различными напряжениями холостого хода. СUT - 70 : 240 В, УПР - 51: 270 В. Резка производилась в автоматическом режиме.

Данные исследований для Ст3 приведены на рисунке 1 и 2.

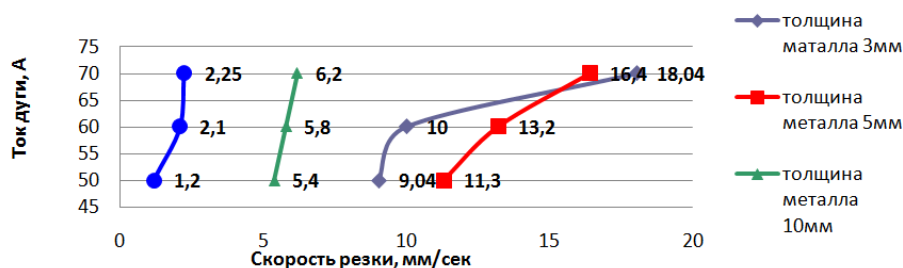


Рис. 1. Влияние тока дуги на скорость резки (Автоматическая резка, давление плазмообразующего газа (воздух) 6 кгс/см)

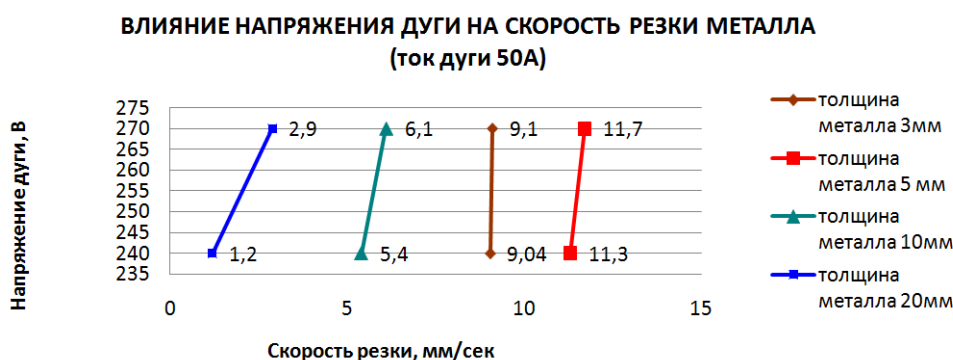


Рис. 2. Влияние напряжения на скорость резки металла (ток дуги 50А, давление плазмообразующего (воздух) газа 6 кгс/см)

Как видно из экспериментальных данных напряжение сильнее влияет на скорость резки по сравнению с током дуги, особенно заметно при резке более толстой стали.

В работе также проведены исследование влияния напряжения на ширину ЗТВ

ЗТВ, возникающая при плазменной резке, состоит из двух основных участков: 1-ый состоит из не удаленного с твердых поверхностей литого металла, и 2-ой участок формируется в зоне, где в металле произошли структурные изменения в результате быстрого нагрева и охлаждения. Увеличение роста зерна в ЗТВ, приводит к необходимости удаления слоя металла на ширину ЗТВ при использовании разрезанного металла под сварку в ответственных сварных конструкциях, в связи с этим снижение ширины ЗТВ приводит к существенному снижению трудоемкости изготовления металлоконструкций.

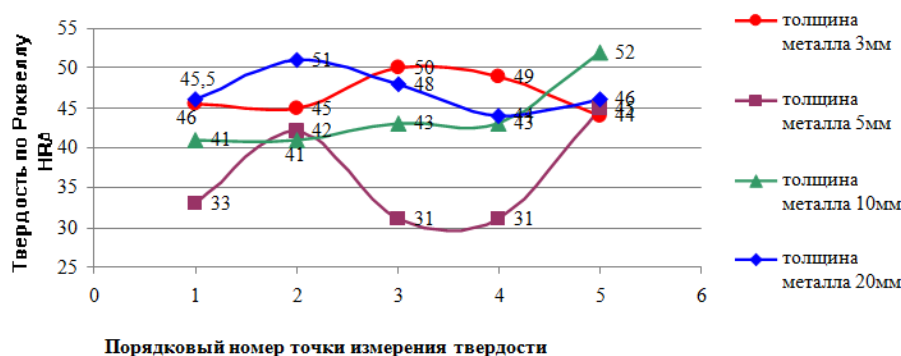


Рис. 3. Результаты измерения твердости при напряжении источника 240 В (ток дуги 50А, давление плазмообразующего (воздух) газа 6 кгс/см)

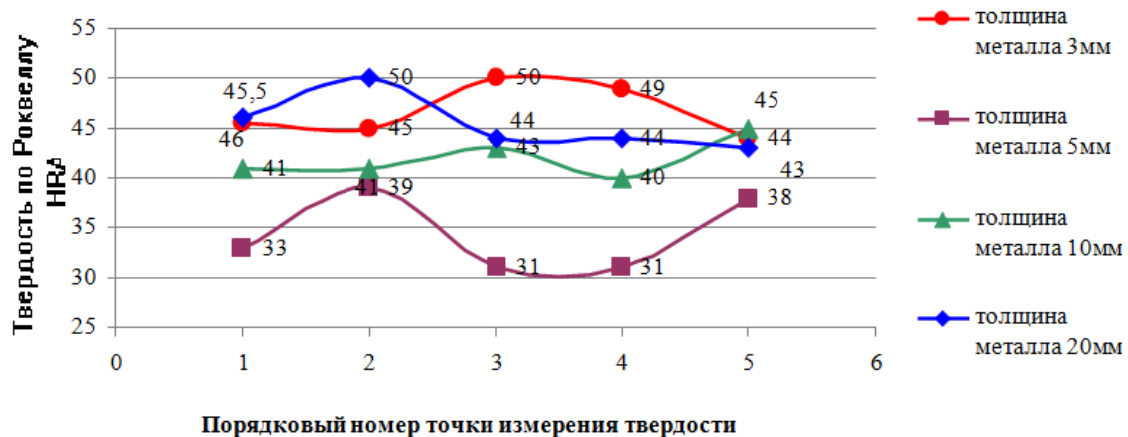


Рис. 4. Результаты измерения твердости при напряжении источника 270 В (ток дуги 50А, давление плазмообразующего (воздух) газа 6 кгс/см)

Из графиков видно, что в случае использования более высокого напряжения дуги твердость при прочих равных условиях снижается. Это объясняется снижением времени термического цикла при резке.

Это утверждение подтверждается макроструктурным анализом, с помощью которого в работе было выявлено, что ширина ЗТВ при автоматической резке снижается в среднем на 25%. Макроструктуры представлены на рисунке 5 а-з.

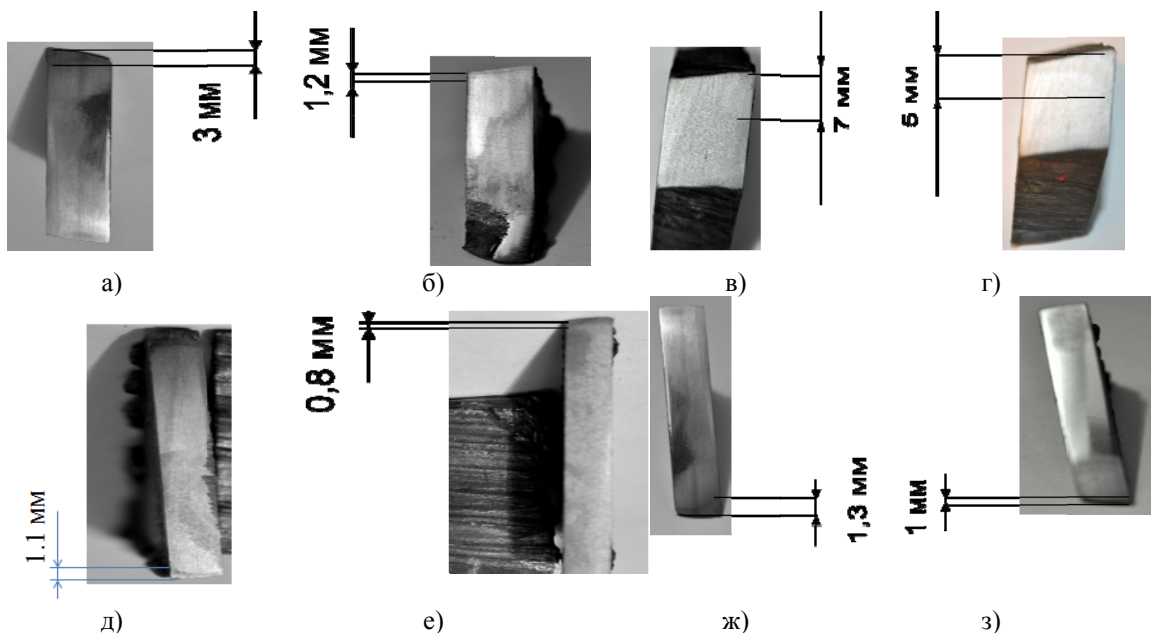


Рис. 5. Макрошлифы образцов после плазменной резки: а- толщина металла 10мм, CUT - 70, б- толщина металла 10мм УПР - 51, в- толщина металла 20мм, CUT - 70, г- толщина металла 20мм, УПР - 51, д- толщина металла 3мм CUT - 70, е- толщина металла 3мм УПР - 51, ж- толщина металла 5мм CUT - 70, з - толщина металла 5мм УПР - 51.

Такое довольно существенное изменение ширины ЗТВ объясняется двумя причинами:

1. Разница в скорости резки, что приводит к меньшему нагреву кромки детали
2. Бороздки, образующиеся при плазменной резке, возникающие вследствие неравномерной скорости резки в направлении реза, которые в случае использования источника питания с меньшим напряжением на дуге более глубокие. Это объясняется тем, что при меньшем напряжении перемещение анодного пятна более интенсивно.

Исследования процесса резки в автоматическом режиме позволило сделать следующие выводы:

1. Обе составляющих мощности режущей дуги (сила тока и напряжение) - не равноценны по интенсивности влияния на скорость резки. Установлено на основании экспериментальных исследований, что увеличение напряжения более эффективно влияет на скорость резки, чем увеличение силы тока. К тому же увеличению тока дуги приводит к ускоренному износу деталей плазмотрона. Величина напряжения на дуге предопределяет глубину ее погружения в разрезаемый металл, что способствует повышению скорости и качества резки.

2. Увеличение напряжения повышает стабильность анодного пятна внутри полости реза, что влияет не только на форму фронтальной поверхности, но и боковых стенок полости реза.

Литература.

1. Сварка и резка материалов/под ред. Казакова Ю.В.- М.: Издательский центр «Академия», 2006, 391 с.
2. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах/Под общ. Ред. С24 Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова.-М.: Машиностроение, 2004.
3. Кимияки Нисигуси, Киньити Мацуяма. Фундаментальное исследование плазменно-дуговой резки (ч.2)//Есэцу Факкайси. 1977 Т. 46. №8. С . 35 - 42.

ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВУХДУГОВОЙ СВАРКИ НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

М.А. Шолохов, к.т.н., А.Ю. Мельников, инж., А.М. Фивейский*, к.т.н., доц.*

ООО «ШТОРМ»

**ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет*

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

624093, Свердловская обл., г. Верхняя Пышма, ул. Бажова, д. 28, 3 ОПС, а/я 1, тел. (343)283-00-50

E-mail: au_melnikov@mail.ru

При изготовлении специальной техники нового поколения наиболее затратным и трудоемким является производство толстостенных корпусных изделий, в которых операция сварки занимает до 50% всего объема работ [1]. К повышению трудоемкости изготовления корпусов специальной техники приводят значительные толщины свариваемых элементов и использование соединений с разделкой кромок. Применение для корпусов специальной техники высокопрочных среднелегированных сталей с ухудшенными характеристиками свариваемости требует разработки специальной технологии сварки, формирующей прочные сварные соединения. При этом важно отметить, что часто имеют место значительная протяженность прямолинейных швов и угловые или двутавровые схемы сварного соединения в конструкциях. Это предопределяет целесообразность автоматической сварки. Повышение производительности процесса и уменьшение дефектности сварных соединений, совершенствование методов их создания могут быть достигнуты посредством многодуговой сварки в защитных газах [1-5].

Механические, физико-химические и эксплуатационные характеристики металла сварного шва и околошовной зоны термического влияния (ЗТВ) определяются целым рядом факторов, в том числе структурно-фазовым составом всех слоев металла сварного соединения, поэтому комплексное исследование особенностей их формирования при различных технологиях сварки является актуальной научно-практической задачей.

Для выявления особенностей влияния многодуговой сварки на свойства сварных соединений был проведен ряд экспериментов. Сварку выполняли методами одно- или двухдуговой сварки в защитном газе ($\text{Ar}+\text{CO}_2$) сварочными проволоками: Св-08Г2С- для первой дуги, Св-08Х20Н9Г7Т для второй дуги. Угол V-образной разделки кромок (раскрытия кромок) свариваемых пластин толщиной 20 мм составлял 60° (площадь разделки 231 мм^2) или 12° (площадь разделки 122 мм^2). В качестве материала образцов была взята высокопрочная сталь 30ХГСА, которая находит широкое применение при изготовлении корпусных конструкций специальной техники.

После сварки из образцов были вырезаны темплеты для проведения микроструктурного анализа (рис. 1). Исследование выполняли методами растровой электронной микроскопии на микроскопе высокого разрешения Quanta-200 (производства FEI Company, Голландия, США) дополнительно оборудованного системой Pegasus, включающей устройство для анализа структуры и текстуры материалов методом дифракции обратно отраженных электронов (EBSD) и энергодисперсионный рентгеновский спектрометр (EDS).

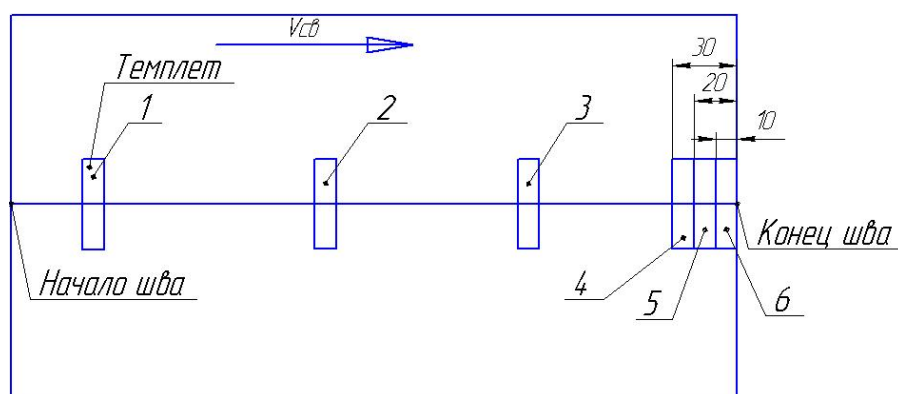


Рис. 1. Схема вырезки темплетов из образца сварного шва

При регистрации спектрометром фирмы "EDAX" возбуждаемого характеристического рентгеновского излучения химических элементов и измерении их массовой (и атомной) доли в исследуемом веществе определяются элементы в диапазоне от бора до урана; разрешение по энергии на линии $K_{\alpha}Mn$ не хуже 160 эВ.

Режимы сварки указаны в таблице 1. Регулирование термоцикла двухдуговой сварки выполнялось автоматически за счет варьирования расстояния между дугами от 50 до 200 мм. Во время сварки температуру нагрева образцов фиксировали с помощью 6 термопар, 3 из которых были установлены в середине образца в зоне термического влияния (ЗТВ) на различном расстоянии от оси сварного шва (4, 6, 8 мм) и в конце образца на одинаковом расстоянии от оси шва, таком же как и в точке 1 (4 мм) в позициях темплетов 4, 5, 6. Пример термических циклов нагрева и охлаждения после второго прохода в исследуемых точках размещения термопар при двухдуговой сварке образца 07 (расстояние 100 мм между дугами) приведен на рисунке 2. Характерные макрошлифы сварных соединений представлены на рисунке 3.

Таблица 1

Режимы сварки образцов		
Параметр	Однодуговой процесс	Двухдуговой процесс
Сварочный ток на первой/второй дуге, А	300	300/300
Напряжение на первой/второй дуге, В	33	31/33
Скорость сварки, м/ч	20	40
Скорость подачи проволоки на первой/второй дуге, мм	11,0	10,4/11,0
Диаметр сварочной проволоки на первой/второй дуге, мм	1,2	1,2/1,2
Вылет электрода на первой/второй дуге, мм	20	20/20

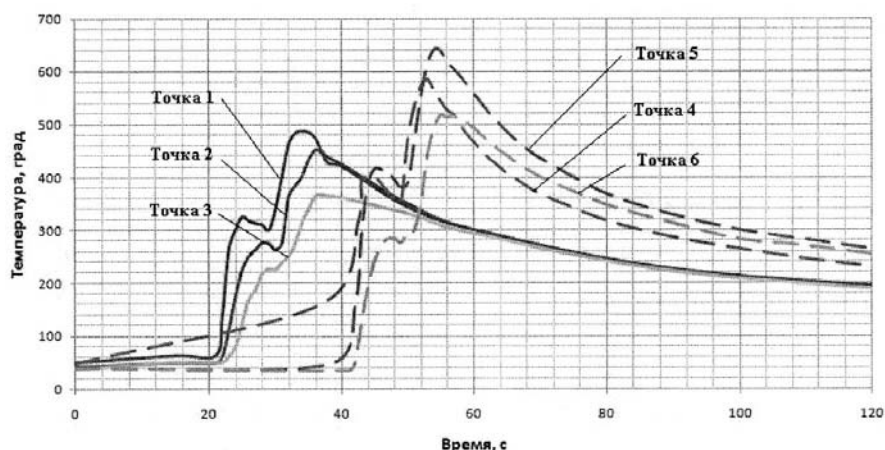


Рис. 2. Характерные термические циклы в исследуемых точках при двухдуговой сварке (расстояние между дугами 100 мм), второй проход



Рис. 3. Макрошлифы сварных соединений при двухдуговой сварки с расстоянием между дугами 100 мм: а) угол скоса кромок 30 градусов; б) угол скоса кромок 6 градусов

Для анализа влияния двухдуговой сварки на свойства сварных соединений была измерена микротвердость по сечению шва. Характерное распределение микротвердости представлено на рисунке 4.

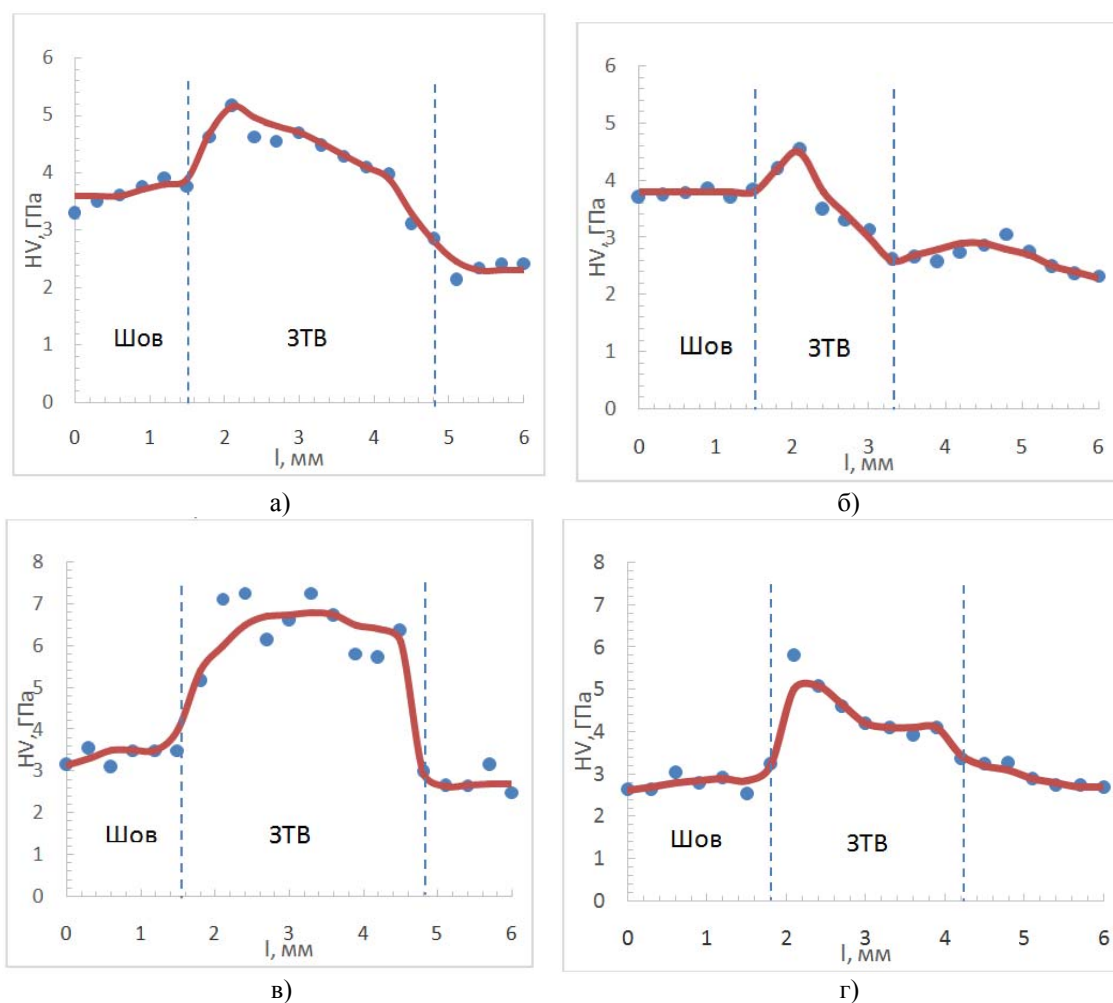


Рис. 4. Распределение микротвердости по сечению шлифа при двухдуговой сварке:
а) угол скоса кромок 6 градусов, вблизи верхней поверхности шва; б) угол скоса кромок 6 градусов, вблизи дна шва; в) угол скоса кромок 30 градусов, вблизи верхней поверхности шва; г) угол скоса кромок 30 градусов, вблизи дна шва.

Обобщая полученные результаты измерения микротвердости, необходимо отметить следующее:

- 1) Околошовная ЗТВ имеет большую микротвердость как по сравнению с твердостью металла сварного шва, так и матричной стали плиты вне ЗТВ.

2) Околошовная ЗТВ во всех изученных случаях более выражена по ширине (достигая примерно 3 мм) для верхней части сварного шва по сравнению с ЗТВ, примыкающей к нижней корневой части шва, которые в 1,2 – 1,5 раз уже.

3) Более высокие значения имеет микротвердость верхней части околошовной ЗТВ по сравнению с нижней областью ЗТВ, примыкающей к корневому сварному шву.

4) В известном смысле сканы микротвердости подобны в случае однодуговой и двухдуговой сварки.

5) Менее выражены по микротвердости околошовные ЗТВ при использовании зауженных разделок при угле разделки 12° .

Помимо измерения микротвердости на микрошлифах был проведен анализ микроструктур в шве, зоне термического влияния и основном металле. Характерная микроструктура в различных участках шлифов представлена на рисунках 5 и 6.

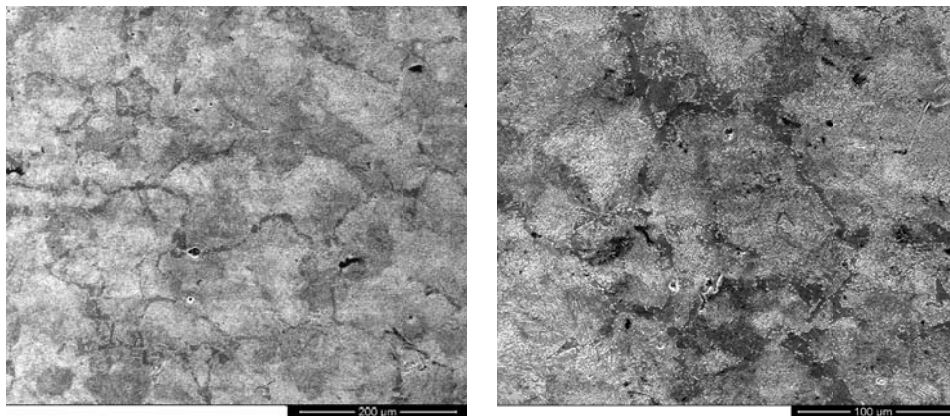


Рис. 5. Типичная микроструктура основного металла образцов на расстоянии 5 мм от шва

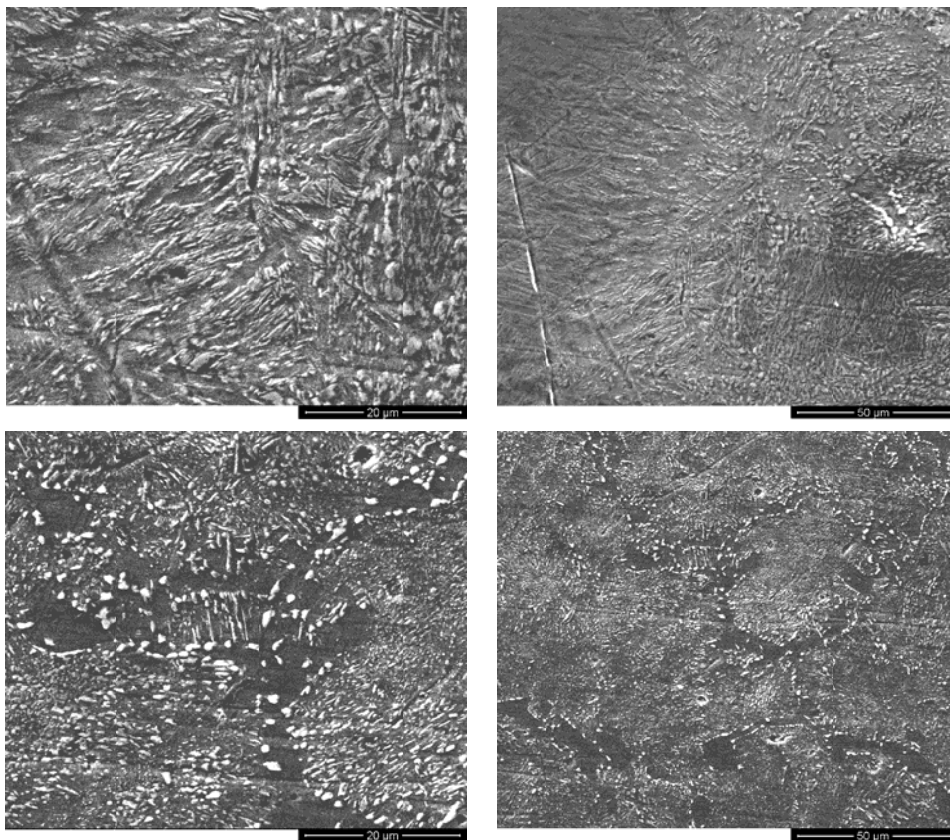


Рис. 6. Типичная микроструктура образца в ЗТВ при двухдуговой сварке
(расстояние между дугами 100 мм)

По результатам анализа микроструктур можно сделать следующие выводы:

1) В ближайших, примыкающих к сварному шву, областях ЗТВ во всех случаях внутри бывших аустенитных зерен наблюдались колонии пластинчатой морфологии, но по границам практически отсутствовали глобулярные кристаллиты α -фазы, типичные для исходной стали плиты (ср. с рисунками 20, 21). Данная структура может быть отнесена к бейнитной фазе и обусловлена сильным перегревом стали вблизи сварного шва, обеспечившим обратное превращение перлита в аустенит и его закалкой на бейнит.

2) В микроструктуре ЗТВ, расположенной между бейнитной и основной глобулярной перлитной (матричной) вдали от сварного шва преобладает тонкопластинчатый перлит при наличии лишь некоторого количества перлитных областей с глобуляризированным тонкодисперсным цементитом. Эта микроструктура, соседствующая с бейнитом, возникла в результате растворения исходной при нагреве и при последующем охлаждении в процессе распада на тонкопластинчатый перлит.

3) По глубине ЗТВ (от поверхности шлифа – первая линия, к дну, где расположен корневой сварной шов – третья линия) тонкая структура бейнита и соседнего промежуточного перлита меняется: растет толщина бейнитных пластин, как и толщина пластин и равноосных частиц цементита в перлитных колониях. На границах зерен появляются области α -феррита (на снимках широкие черные прослойки). В целом такая морфология типична скорее для основного состояния перлита стали.

4) В случае двухдуговой сварки при угле разделки 60° микроструктура и бейнита и промежуточного перлита в области ЗТВ более упорядочена (ср. рисунки 28-35, 36-39, 40-50).

5) В случае одно- и двухдуговой сварки при угле разделки 12° в ЗТВ также присутствовали бейнитный слой и затем тонкодисперсный перлитный. Вместе с тем, перлитный участок практически малоотличался от соседней матрицы стали вне ЗТВ (см. рисунки 51-56, 57-65, 66-71, 72-89), абейнитная морфология в виде пакетов была более упорядоченной, содержала частицы дисперсного цементита, в целом по контрасту свидетельствуя о меньших искажениях и внутренних напряжениях микроструктуры. Это соответствует данным измерений микротвердости.

6) В целом ЗТВ с зауженной разделкой сварного шва отличалась большей микроструктурной и фазовой однородностью, приближающей ее к основному металлу стали плиты. Это следует и из измерений микротвердости.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод о благоприятном влиянии применения зауженных разделок и двухдуговой сварки на микроструктуру и свойства сварных соединений из высокопрочных сталей.

Литература.

1. Рахматуллин Т.А. Проблемы внедрения зауженных разделок при сварке корпусных конструкций специальной техники / Т.А. Рахматуллин, М.А. Шолохов, Д.С. Бузорина // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2012. №4. С.64-66.
2. ISO 13847,2000. Промышленность нефтяная и газовая. Системы транспортировки по трубопроводам. Сварка трубопроводов.
3. СТО Газпром 2.2.3-137-2007. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промысловых и магистральных газопроводов. Часть II.
4. РД 153-006-02. Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.
5. Ефименко Л.А. Формирование структуры сварных соединений высокопрочных сталей при автоматической сварке в защитных газах / Л.А.Ефименко, О.Е. Капустин, А.А. Шкапенко, М.В. Карасев, Д.Н. Работинский // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. 2012. №4 (32). С. 34-42.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ПРИ ДВУХДУГОВОЙ СВАРКЕ УГЛОВЫХ ШВОВ

А.Ю. Мельников, инж., А.М. Фивейский, к.т.н., доц., М.А. Шолохов, к.т.н.*

*ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
ООО «ШТОРМ»

*624093, Свердловская обл., г. Верхняя Пышма, ул. Бажова, д. 28, 3 ОПС, а/я 1, тел. (343)283-00-50
E-mail: au_melnikov@mail.ru*

Применение двухдуговой сварки позволяет значительно повысить производительность процесса, а также расширить технологические возможности сварки. В работе [1] была предложена технология двухдуговой сварки под флюсом в отдельные ванны наклонным электродом поясных швов двутавровых балок, которая позволяет устранять основные недостатки сварки «в лодочку», а именно: низкую производительность, недопустимые деформации, трудность обеспечения сквозного проплавления стенки балки.

Применение предложенной методики предъявляет жесткие требования к точному выбору режимов сварки и обеспечению точного положения электрода относительно стыка. В настоящее время в литературе практически отсутствуют данные по расчету режимов двухдуговой сварки в отдельные ванны наклонным электродом.

На данный момент известно лишь несколько методик расчета режимов двухдуговой сварки [2-4]. При этом они направлены на расчет режимов двухдуговой сварки в общую ванну, а также не учитывают особенности сварки наклонным электродом.

В данной работе рассмотрены отличительные моменты при выборе параметров режима двухдуговой сварки в отдельные ванны наклонным электродом угловых швов.

На первом этапе выполняют расчет параметров режима первой дуги с учетом обеспечения требуемой глубины проплавления. Для этого:

1) Вычерчиваем эскиз сварного соединения. На эскизе по предложенному алгоритму определяем расстояние смещения электрода от полки.

Геометрическое построение величины смещения электрода должно быть выполнено в следующей последовательности:

1) Откладываем катеты шва на полке и стенке. Проводим линию АБ, образуя поверхность плоского шва.

2) Проводим прямую ГЖ перпендикулярно отрезку АБ. При этом отрезок АГ должен быть равен отрезку ГБ.

3) Из точки А проводим линию АОД под углом α к плоскости стенки.

4) Через пересечение прямой ГЖ и линии АОД проводят отрезок ОЕ перпендикулярный линии АОД. Получившийся отрезок является осью шва.

5) Точка пересечения отрезка ОЕ и плоскости стенки определяет расстояние a , на которое необходимо сместить электрод для получения требуемых размеров шва.

6) Для получения гарантированного перекрытия швов глубину проплавления полки необходимо принимать равной $0,7\delta_c$.

7) Принимая форму проплавления – полуэллипс, можно вычертить линию сплавления. При этом оси полуэллипса равны длинам отрезков АО и ОЕ.

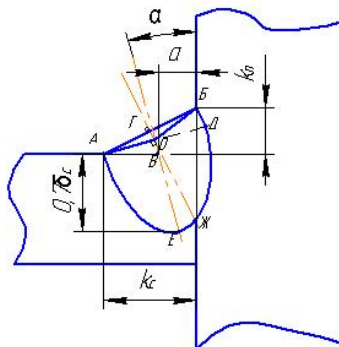


Рис. 1. Схема для определения расстояния «а»

В соответствии с рисунком 2 и формулой 1 определяем площадь металла в усилении и измеряем общую высоту шва и его ширину.

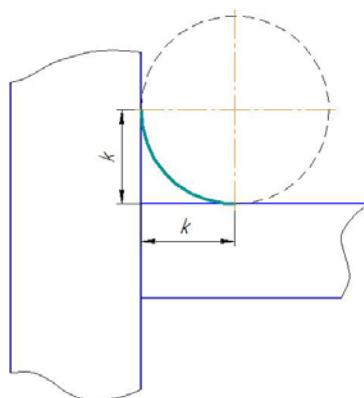


Рис. 2. Схема для определения критической площади металла в усилии

Площадь металла в усилии для шва с неравными катетами может быть определена по формуле:

$$F_y^{kp} = k_1 \cdot k_2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right), \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – катеты углового шва, мм

3 Определяем расчетную глубину проплавления в соответствии со следующим уравнением:

$$h_p = H - \frac{F_n}{0,73 \cdot e}, \quad (2)$$

где F_n – площадь наплавленного металла, мм²;

H – общая высота шва, мм;

e – ширина шва, мм.

При расчете соединений с разделкой кромок или зазором площадь наплавленного металла включает в себя не только площадь металла в усилии, но и площадь разделки или площадь зазора.

4 Определяем диапазон сварочного тока

$$I_{cv} = (80 \dots 100) h_p \quad (3)$$

Из полученного диапазона выбираем ориентировочное значение силы тока.

5 При выбранном значении силы тока определяем по следующему уравнению напряжение на дуге, необходимое для удовлетворительного формирования шва

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{cv}}{\sqrt{d_s}}, \quad (4)$$

где d_s – диаметр электрода, мм

6 Затем рассчитывают скорость сварки по следующей зависимости:

$$V_{cv} = \frac{A}{I_{cv}}, \quad (5)$$

где A – коэффициент, зависящий от диаметра проволоки, $A \cdot \text{м}/\text{ч}$

Значения коэффициента A приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициента A	
Диаметр электрода d_s , мм	Значение коэффициента A , $A \cdot \text{м}/\text{ч}$
1,2	от $2 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^3$
1,6	от $5 \cdot 10^3$ до $8 \cdot 10^3$
2,0	от $8 \cdot 10^3$ до $12 \cdot 10^3$
3,0	от $12 \cdot 10^3$ до $16 \cdot 10^3$
4,0	от $16 \cdot 10^3$ до $20 \cdot 10^3$
5,0	от $20 \cdot 10^3$ до $25 \cdot 10^3$
6,0	от $25 \cdot 10^3$ до $30 \cdot 10^3$

7 Далее определяется величина погонной энергии по уравнению:

$$q_{\text{п}} = \frac{36 \cdot I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{э}}}{V_{\text{св}}}, \quad (6)$$

где $\eta_{\text{э}}$ - эффективный КПД нагрева изделия дугой ($\eta_{\text{э}} = 0,8 \dots 0,85$);

8 Затем рассчитываем коэффициент формы проплавления:

$$\varphi_{\text{np}} = k' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{э}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (7)$$

где k' - коэффициент, зависящий от рода, полярности тока и его плотности в электроде;

φ_{np} - коэффициент формы проплавления.

При плотности тока $j < 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе обратной полярности коэффициент k' определяют по формуле:

$$k' = 0,367 \cdot j^{0,1925} \quad (8)$$

При плотности тока $j < 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе прямой полярности коэффициент k' определяют по формуле:

$$k' = 2,82 / j^{0,1925} \quad (9)$$

При сварке на переменном токе во всем диапазоне плотности тока коэффициент k' равен 1.

При плотности тока $j > 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе обратной полярности $k' = 0,92$, на прямой полярности $k' = 1,12$.

Плотность тока можно определить по формуле:

$$j = \frac{4 \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{э}}^2} \quad (10)$$

9 Фактическая глубина проплавления на выбранных параметрах режима сварки определяется по формуле:

$$h'_p = 0,076 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\varphi_{\text{np}}}} \quad (11)$$

10 Определяем ширину шва по уравнению:

$$e_p' = \varphi_{\text{np}} \cdot h'_p \quad (12)$$

Значение фактической глубины проплавления и фактической ширины шва не должны отличаться от заданных значений более чем на 5%. При большем расхождении корректируют значение параметров режима сварки и расчет повторяют заново.

11 Определяем скорость подачи проволоки исходя из условия теплового баланса дуги по следующей зависимости:

$$V_{\text{пп}} = \frac{(I_{\text{св}} \cdot (U_{\text{а}} + \varphi) + I_{\text{св}}^2 \cdot \rho \cdot \frac{l_{\text{эл}}}{F_{\text{эл}}}) \cdot 36}{F_{\text{эл}} \cdot \gamma_{\text{эл}} \cdot \Delta h_{\text{эл}}}, \quad (13)$$

где $U_{\text{а}}$ - падение напряжения на аноде, В;

φ - работа выхода электронов, В;

ρ - удельное электрическое сопротивление металла при температуре 300 °С, $\text{мкОм} \cdot \text{см}^2 / \text{мм}$;

$F_{\text{эл}}$ - площадь поперечного сечения электрода, см^2 ;

$\gamma_{\text{эл}}$ - плотность металла электрода, г/см^3 ;

$\Delta h_{эл}$ - изменение энтальпии металла электрода при температуре 300 °С, Дж/г.

12 Далее рассчитывается площадь наплавленного металла

$$F'_H = \frac{F_{эл} \cdot V_{nn}}{V_{св}}, \quad (14)$$

Получившееся фактическое значение площади наплавленного металла не должно отличаться от заданного более чем на 10%. При расхождении больше 10% корректируют значения параметров режима сварки.

13 Определяем фактическую высоту усиления шва

$$g' = \frac{1,375 \cdot (F'_H - F_{\Delta})}{e_p'}, \quad (15)$$

где F_{Δ} - площадь разделки, мм²

14 Затем определяется приведенная глубина проплавления по следующему уравнению:

$$h_p'' = h_p' + \frac{F_{\Delta}}{0,735 \cdot e_p'}, \quad (16)$$

15 Рассчитываем высоту шва

$$H = h_p'' + g' \quad (17)$$

16 Вычерчиваем линию сплавления. Форма проплавления при этом имеет форму полуэллипса. Большая полуось равна высоте шва, а малая полуось равна половине ширины шва.

Следующий этап необходимо определить температуру нагрева металла под второй дугой.

При этом расстояние между дугами принимаем в диапазоне от 100 до 120 мм.

Начальную температуру металла под второй дугой определяем по уравнениям Н.Н. Рыкалина.

Для расчета температуры от прохождения первой дуги принимаем следующую модель нагрева тела (рисунок 3):

а) рассматриваем нагрев как сумму двух процессов:

1) нагрев края пластины сосредоточенным точечным источником с мощностью $q_{ст}$;

2) нагрев полки сосредоточенным точечным источником с мощностью $q_{п}$.

Значения $q_{ст}$ и $q_{п}$ зависят от угла наклона электрода и соотношения толщин стенки и полки.

Долю погонной энергии, вводимую в полку, в соответствии с рекомендациями работы [5] необходимо определять по следующей формуле:

$$k_n = 0,374 \cdot \sqrt{\frac{\delta_c}{\delta_n}}, \quad (18)$$

Тогда долю погонной энергии, вводимую в стенку можно определить по следующему уравнению:

$$k_c = 1 - k_n, \quad (19)$$

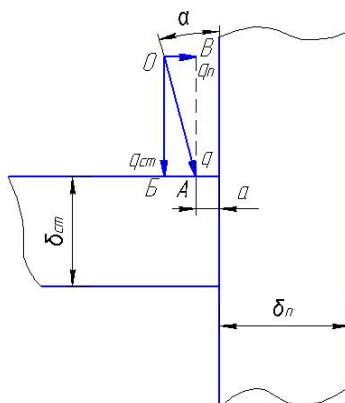


Рис. 3. Схема ввода тепла от первой дуги

После определения температуры металла под второй дугой производим расчет параметров режима второй дуги.

Вторая дуга должна обеспечивать требуемые катеты шва и его формирование с плавным переходом к основному металлу.

Для расчета параметров режима второй дуги необходимо на эскизе сварного соединения с вычерченным швом от первой дуги отложить требуемый катет на полке и по схеме, описанной выше, определить величину смещения электрода на стенку для второй дуги.

Расчет режимов сварки и параметров шва следует вести по той же схеме, что и для первой дуги с учетом подогрева металла первой дугой. Для этого силу тока определяют по следующей формуле:

$$I_{св} = B \cdot (80 \dots 100) h_p \quad (20)$$

где B – коэффициент учитывающий влияние подогрева от первой дуги - $B = \sqrt{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$

Для определения глубины проплавления необходимо использовать следующую формулу:

$$h = \sqrt{\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \cdot 0,076 \cdot \sqrt{\frac{q_{п}}{\varphi_{np}}} \quad (21)$$

Проведенная экспериментальная проверка точности расчета режимов с учетом представленных рекомендаций показала удовлетворительную сходимость (в пределах 10%) результатов расчета и параметров реальных сварных швов. Таким образом, рекомендации, представленные в данной статье, могут быть использованы при расчете режимов двухдуговой сварки наклонным электродом угловых швов.

Литература.

1. Чечулин Ю.Б. Совершенствование технологии сварки поясных швов двутавровых балок [Текст] / Ю.Б. Чечулин, А.Ю. Мельников, Г.М. Сюкасов, А.Ф. Кожухарь, В.И. Шумяков // СВАРКА И ДИАГНОСТИКА: сборник докладов научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2011. С. 145-150
2. Попков А.М. Расчет параметров режима двухдуговой сварки угловых и стыковых швов / А.М. Попков // Сварочное производство. №7, 1998. С. 3-5.
3. Мельник С.С. Многодуговая автоматическая сварка стальных корпусных конструкций под флюсом АН-66 / С.С. Мельник, Н.Д. Ксенз, В.В. Кухаренко // Сварочное производство. №8, 1984. С. 37-38
4. Попков А.М. Методика расчета параметров режима сварки тавровых соединений с неравнокатетными угловыми швами / А.М. Попков // Сварочное производство. № 12, 2002. С. 3-4
5. Бельчук Г.А. Распределение тепла между элементами таврового соединения при дуговой сварке / Г.А. Бельчук // Сварочное производство. №5, 1959. С. 13-15

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ПРЯМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ: ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

К.Д. Бабкин, вед. инж., Е.В. Земляков, к.т.н., доц., В.В. Сомонов, вед. инж.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, тел. (812)5529843

E-mail: vlad@lrc.ru

Введение

Внедрение высокоэффективных аддитивных технологий, в том числе высокоскоростного прямого лазерного выращивания в производственный цикл позволяет значительно снизить стоимость изготовления высокотехнологичных изделий. Снижение себестоимости изделия за счет экономии материала и уменьшения времени изготовления это одно из его основных преимуществ по сравнению с обработкой на станках с ЧПУ или технологиями литья с последующей мехобработкой. Оно получается благодаря тому, что изделие создается за один прием, а исходными данными для него служит, непосредственно, компьютерная модель детали. При этом отпадает необходимость в проектировании технологических процессов, специальной технологической оснастки, использовании специального инструмента, а также исключается ручной труд и уменьшается продолжительность трудоемкого процесса объемного фрезерования рабочего профиля штамповой оснастки на станках с ЧПУ. Обладая одновременно высокой гибкостью, этот способ позволяет рассматривать многовариантные

технологические и конструкторские решения. Он позволяет комбинировать его с другими технологиями, в том числе и аддитивными, например, с селективным лазерным спеканием (сплавлением). Еще одной важной особенностью таких технологий является близость получаемой формы изделия к заданной. Это существенно сокращает расходы материала и отходы производства. Благодаря всем этим качествам, процесс высокоскоростного прямого лазерного выращивания, в сравнении с традиционными производственными технологиями, обладает значительным потенциалом в том, что касается сокращения затрат, энергосбережения и снижения вредных выбросов в атмосферу. Процесс находит свое применение в различных отраслях промышленности [1,2], в основном за счет высокой производительности (0,5-2 кг/ч), также работы в области высокопроизводительной лазерной порошковой наплавки [3-5] позволяют прогнозировать дальнейшее увеличение производительности процесса выращивания, вплоть до 15 кг/ч.

В данной работе приведены результаты исследований процесса высокоскоростного прямого лазерного выращивания металлических изделий с помощью излучения волоконного лазера.

Технология высокоскоростного прямого лазерного выращивания

Технология высокоскоростного прямого лазерного выращивания это метод формирования металлического изделия, основанный на транспортировке порошков сжатой газопорошковой струей к поверхности подложки, коаксиально или под углом к лазерному лучу, который обеспечивает нагрев, частичное оплавление порошка и подложки [6]. При этом подложка, расплавляясь, образует жидкую ванну минимальной глубины, в которую, подается металлический порошок, частично в ней переплавляется и формирует наплавленный валик. При наложении валиков друг на друга формируется объемное изделие, геометрия которого задается траекторией перемещения технологической головки относительно изделия. Существует возможность в ходе процесса изменять состав смеси подаваемых порошков. За счет этого обеспечивается формирование изделий с градиентными свойствами.

Во время технологических экспериментов изменялись следующие параметры: мощность лазерного излучения, скорость выращивания слоя, зависящая от скорости вращения подложки и скорости постепенного подъема фокусирующей головки, размер пятна лазерного излучения, интенсивность подачи и дисперсность порошка, угол его ввода. Исследования позволили определить параметры процесса, при которых достигается максимальный коэффициент использования порошка и наблюдается гетерофазный механизм создания слоя, с частичным плавлением металлических частиц приводя к повышению механических свойств изделия по сравнению с технологиями литья и селективного лазерного спекания или сплавления.

Оборудования для исследования процесса

Эксперименты проводились в Институте лазерных и сварочных технологий СПбПУ на специально созданном лабораторном стенде на базе волоконного итербиевого лазера ЛС-5 мощностью 5кВт (см. рисунок 1). Экспериментальный стенд имел пять осей для перемещения в процессе выращивания изделия. Газопорошковая смесь формировалась с помощью дискового порошкового питателя Sultzer Metco Twin 10-с. При создании образцов применялась защитная камера и вращатель. Газовая защита наплавленного металла осуществлялась аргоном, подаваемым в защитную камеру.



Рис. 1. Изображение экспериментального стенда для исследования технологического процесса высокоскоростного прямого лазерного выращивания изделий на базе лазера ЛС-5

Основным рабочим органом машин для прямого лазерного выращивания является технологический инструмент, представляющий собой сложный агрегат, в котором расположены лазерная головка, включающая систему фокусировки лазерного луча и систему охлаждения головки, система подачи порошкового материала (сопло), а также элементы системы контроля и управления процессом выращивания (датчики, видеокамеры и т. д.) [7,8].

Самой важной частью является сопло для подачи порошкового материала, так как оно обеспечивает необходимое распределение порошка в газовой струе. Были проведены исследования формирования газопорошковой струи и газодинамических процессов переноса порошка в ней. Благодаря им разработаны и опробованы разные конструкции сопел (см. рисунок 2).

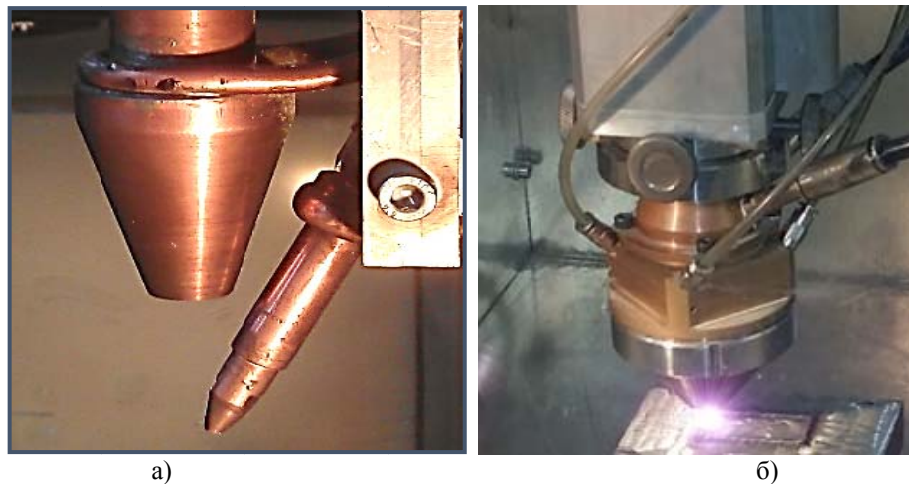


Рис. 2. Сопла для подачи порошка в зону лазерного воздействия:

- а) некоаксиальное сопло круглого сечения с диаметром выходного отверстия: 1 мм, 1,2 мм, 2 мм;
б) коаксиальное кольцевое сопло с диаметром кольца 14 мм, толщина щели - 0,4 мм

Использование сопел, представленных на рисунке 2а, приводит к зависимости процесса выращивания от направления движения ввиду несимметричности сопла относительно направления движения инструмента. Поэтому процесс необходимо вести в одном направлении движения относительно изделия. Создаваемая газопорошковая является простой по своей структуре и симметрична относительно оси канала. Выяснилось, что с их помощью целесообразно выращивание изделий сложной геометрии с осевой симметрией, либо тел вращения с минимальным диаметром в 6мм. При этом получаемая толщина стенки выращенного изделия варьируется в пределах от 0.6 до 3 мм с шероховатостью поверхности не более 50 мкм.

Когда поток порошка доставляется соосно с лазерным лучом, все направления движения под-

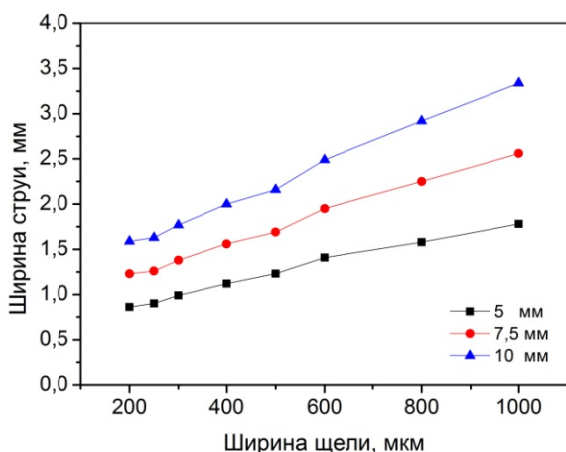


Рис. 3. Зависимость ширины струи от ширины щели сопла, фракция порошка 50-150 мкм

ложки находятся в плоскости, перпендикулярной направлению потока порошка, поэтому сопла с коаксиальной подачей (рисунок 2б) являются независимыми от направления движения. В этом случае возможно создание изделий более сложной геометрии. Геометрия газопорошковой струи зависит не только от конструкции сопла, но и от его геометрии. Основное влияние на производительность и устойчивость процесса при использовании коаксиального сопла оказывают: угол сходимости, ширина перетяжки, равномерность распределения порошка относительно оси лазерного луча. В ходе исследований обнаружилось, что главным фактором, определяющим ширину газопорошковой струи на выходе из сопла, являет-

ся ширина щели сопла. По экспериментальным данным видно, что струя имеет нормальное распределение в поперечном сечении при расстоянии больше чем двойная ширина сопла (рисунок 3).

Для реализации процесса возможно применение следующего ряда технологических машин:

Комплексы, использующие линейные направляющие (рисунок 4а) или робот (рисунок 4б) для перемещения технологического инструмента и вращатель, установленный в рабочей камере для управления движением подложки;

Оборудование, выполненное на базе ЧПУ комплексов для механообработки, с заменой рабочего инструмента на технологический и обеспечением заполнения рабочей камеры защитным газом (рисунок 4в);

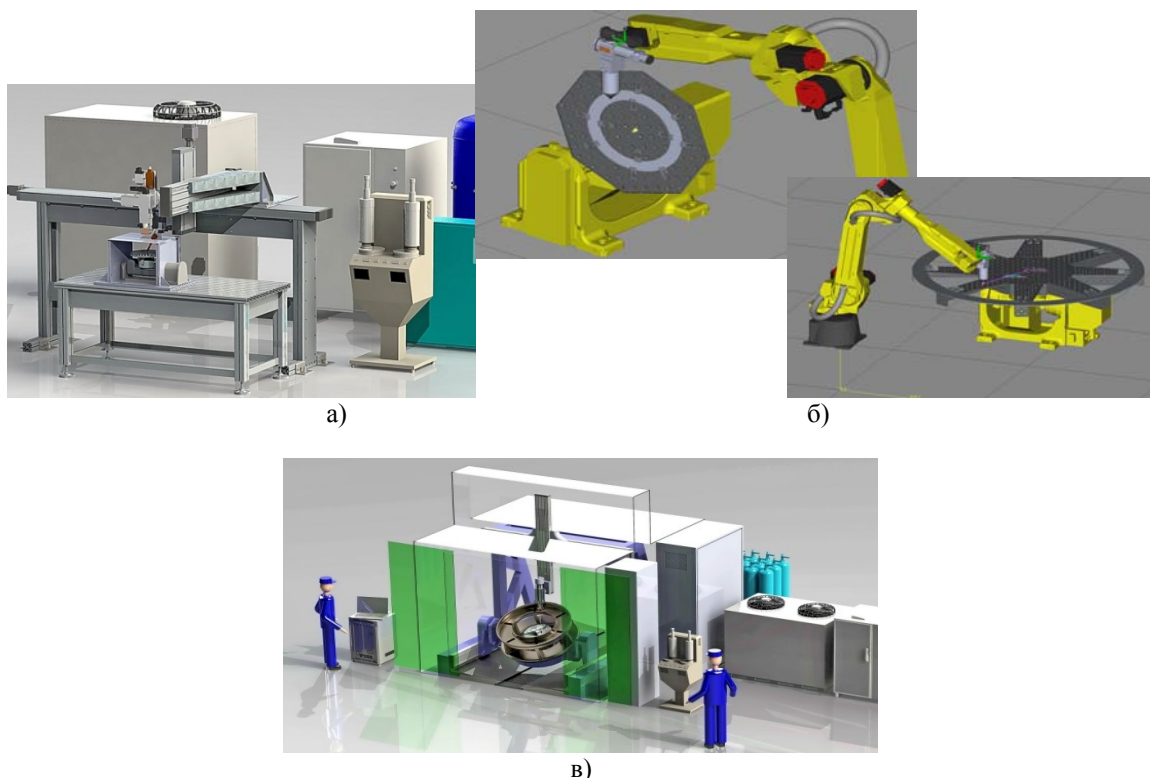


Рис. 4. Изображения ряда применяемых технологических машин для реализации процесса высокоскоростного прямого лазерного выращивания изделий

Первые два типа создаются сотрудниками Института лазерных и сварочных технологий СПбПУ для исследований процесса высокоскоростного прямого лазерного выращивания изделий.

Используемые материалы

Экспериментальные исследования процесса проводились с использованием металлического порошка из сплавов на основе никеля, в том числе жаропрочных (типа Inconel 625), кобальта, в том числе высокопрочных (типа Stellite 6), хрома, железа, меди и титана. В дальнейшем планируется реализация исследований с порошками на основе алюминиевых сплавов. Порошки имели сферическую форму частиц. Это связано, во-первых, с тем, что такие частицы более компактно укладываются в определенный объем. И, во-вторых, необходимо обеспечить “текучесть” порошковой композиции в системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Исходный порошок разделялся с помощью виброгрохота ГР 30 на отдельные фракции, путем просеивания исходного порошка через набор сит с соответствующими размерами ячеек. Распределение частиц порошка по размерам контролировалось с помощью лазерного анализатора микрочастиц ЛАСКА-1К. Применяемый для исследования данного процесса порошок имел дисперсность 50-150 мкм. Этот выбор был вызван экономической целесообразностью его применения для выращивания крупногабаритных изделий, применяемых в таких отраслях как газотурбинное двигателестроение и авиация. Использование порошка с более мелкой дисперсностью позволяет получать изделия с меньшей шероховатостью поверхности,

но при этом это увеличивает стоимость самих порошков и вызывает трудности при формировании устойчивой газопорошковой струи из-за массы летящих частиц.

В зависимости от сочетания параметров построения коэффициент использования материала может варьироваться от 20 до 90%. Примеры образцов выращенных изделий представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Образцы выращенных изделий:

- а) Сплав на основе Fe: EuTroloy 16316.04; б) Сплав на основе Co: EuTroloy 16006.04;
в) Сплав на основе Ni : EuTroloy 16496.04; г) Экспериментальный сплав ОДК на основе Ni;
д) Сплав на основе Ni: EuTroloy 16625.04; е) Сплав на основе Cu: BronzeTec 19868 (80Cu-15Al-5Ni)

Закключение:

В ходе проведенных исследований выяснено, что технология высокоскоростного прямого лазерного выращивания изделий способна заменить применяемые на данный момент технологии давая многократный выигрыш по производительности и экономии материала. Изделия, полученные таким методом, не нуждаются в последующем изостатическом прессовании или термической обработке, в сравнении с технологиями селективного лазерного спекания (сплавления) или технологиями литья с последующей термической и механической обработкой. При этом данный процесс возможно комбинировать с другими технологиями, еще больше снижая затраты на производство, уменьшая время на изготовление, создавая изделия, которые невозможно получить, применяя только этот метод. Подтверждена возможность создавать с помощью данной технологии сопла различной конфигурации, формировать ребра как на телах вращения, так и на изделиях сложного профиля, выращивать объекты переменного сечения и с контролируемой толщиной стенки в пределах от 0.6 до 3 мм и шероховатостью поверхности не более 50 мкм. В случае, когда этого недостаточно, для уменьшения шероховатости в 10 и более раз возможно применение лазерного излучения для поверхностного оплавления стенок выращенного изделия. Габариты получаемого изделия ограничены размером используемой защитной камеры.

Литература.

1. Additive manufacturing: opportunities and constraints. A summary of a roundtable forum held on 23 May 2013 hosted by the Royal Academy of Engineering, Royal Academy of Engineering, November 2013, 21p;
2. Scott M. Thompson, Linkan Bian, Nima Shamsaei, Aref Yadollahi “An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part I: Transport phenomena, modeling and diagnostics” Additive Manufacturing, Issue 8, 2015, 36-62 pp;

3. G.A. Turichin, V.V. Somonov, O.G. Klimova "Investigation and modeling of the process of formation of the pad weld and its microstructure during laser cladding by radiation of high power fiber laser" Applied Mechanics and Materials;
4. DengZhi Wang, QianWu Hu, YinLan Zheng, Yong Xie, XiaoYan Zeng "Study on deposition rate and laser energy efficiency of Laser-Induction Hybrid Cladding" Optics & Laser Technology, , Issue 77, 2015, 16-22 pp;
5. J.C. Pereira, J.C. Zambrano, M.J. Tobar, A. Yañez, V. Amigó "High temperature oxidation behavior of laser cladding MCrAlY coatings on austenitic stainless steel" Surface & Coatings Technology 270 (2015) 243–248 pp;
6. G. Turichin, O. Klimova, E. Zemlyakov, K.Babkin, V. Somonov, F Shamray "Technological bases of high-speed laser direct growth of products by heterophase powder metallurgy method" Photonika, Issue4, 2015,68-83 pp;
7. Boisselier, D., Sankaré, S. "Optimization of the laser direct metal deposition process in 5-axis configuration", 32nd International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, ICALEO 2013, 2013, 326-333 pp;
8. Didier Boisselier, Simon Sankaré, Thierry Engel "Improvement of the laser direct metal deposition process in 5-axis configuration" Physics Procedia, Volume 56, Issue C, 2014, 239-249 pp.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Д.С. Карцев, студент гр. 17ВМ51

Научный руководитель: Зернин Е.А., к.т.н, доц.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: dmitkarcev@mail.ru

На сегодняшний день перспективным видом механизированной сварки, позволяющим значительно повысить производительность труда по сравнению не только с ручной дуговой сваркой, но и с механизированной сваркой в среде защитных газов, является сварка порошковой проволокой.

Отличительной ее чертой по сравнению с другими способами механизированной сварки является то, что она сочетает в себе достоинства и преимущества и ручной дуговой сварки — простоту и мобильность, и механизированной сварки в углекислом газе — высокую производительность и высокое качество получаемых сварных соединений [1].

Новым шагом в технологии сварки явилось использование порошковых проволок в строительстве и машиностроительном производстве. Применение порошковой проволоки позволило решить проблемы механизации сварочных и наплавочных работ на монтаже в открытых цехах и в полевых условиях, повысить производительность процессов от двух до пяти раз при высоком качестве сварных швов, а также снизить количество трудоемких ручных операций по очистке конструкций от брызг [1].

Целью работы является изучение области применения порошковых проволок и рассмотрение влияния порошковых проволок с добавлением наноразмерных частиц тугоплавких соединений на результат сварки или наплавки.

Порошковые проволоки по способу защиты сварочной ванны от воздействия атмосферы делятся на два типа - это порошковая газозащитная проволока и порошковая самозащитная проволока.

Несмотря на относительно высокую стоимость, порошковые проволоки все больше востребованы на мировом рынке сварочных материалов. В виду широкой области применения технологий сварки и наплавки порошковыми проволоками и в экономически развитых странах их потребление в промышленном производстве и строительстве ежегодно увеличивается, несмотря на кратковременные спады в периоды кризисных явлений в мировой экономике [2].

Порошковые проволоки имеют ряд особенностей, обуславливающих повышение спроса на них:

1. Повышенная производительность:

— более высокая скорость сварки и наплавки;

2. Удобство пользования:

— широкие пределы допусков сварочных параметров;

— возможность достижения струйного переноса электродного металла;

3. Снижение риска ошибок при выполнении сварочных работ:

- шлак и защитный газ обеспечивают двойную защиту сварочной ванны;
- минимальный риск образования пористости шва, даже при монтажных сварочных работах;
- гарантированный провар, сниженный риск недостаточной глубины проплавления;

4. Снижение общих расходов на производство:

- снижение времени сварки и простоев;

5. Область применения

- возможность использования для подводной сварки [3].

Также использование порошковых проволок приводит к более плавному переходу между валиками при многослойной сварке или наплавке. При правильном использовании сварочной технологии практически не имеется таких дефектов, как несплошности перекрытия между валиками, поры или шлаковые включения [2].

Сварка порошковой проволокой использовалась при строительстве стадиона футбольного клуба Шахтер в Донецке на Украине. При его изготовлении применяли дымные способы сварки: полуавтоматическую сварку порошковой проволокой в среде защитного газа; сварку под слоем флюса порошковой проволокой; ручную дуговую сварку и контактную сварку шпилек.

С использованием порошковой проволоки были изготовлены и смонтированы такие сооружения, как мост через бухту Золотой Рог в городе Владивостоке, мост на острове Русский, все мостовые металлоконструкции в городе Сочи на Олимпийских объектах. Суммарный объем использования порошковой проволоки в строительстве мостов России составляет более 200 т/год [2].

Использование при наплавке порошковой проволоки с шихтой, содержащей определенные компоненты, позволяет модифицировать наплавляемый металл компонентами, содержащимися в шихте проволоки и позволяет получить наплавленный металл с мелкозернистой структурой и равномерным распределением избыточных фаз, что обеспечивает его повышенную износостойкость. При легировании наплавляемого металла за счет компонентов шихты порошковой проволоки образуется перенасыщенный легирующими элементами твердый раствор алюминия, благодаря которому эксплуатационные характеристики наплавленного слоя металла выше, чем у основного [4].

Создание новых сварочных материалов с высокопрочной структурой, обеспечивающей их работу в экстремальных условиях при силовых и термических воздействиях, является актуальной задачей машиностроения в наше время. Известно, что модифицирование наплавленного металла и литых сплавов наночастицами тугоплавких химических соединений способствует повышению их эксплуатационных и технологических свойств. Поэтому все большее развитие получает технология сварки и наплавки с внедрением в сварочную ванну наночастиц тугоплавких соединений [5].

Введение наноразмерных частиц тугоплавких соединений при механизированной или автоматической сварке или наплавке можно осуществлять несколькими путями:

- введение наночастиц через защитный газ;
- введение наночастиц в состав порошковой проволоки;
- нанесение наночастиц на поверхность проволоки.

В исследованиях влияния наноразмерных частиц тугоплавких соединений ученые достигли определенных результатов.

Так, например, в работе Г.Н.Соколова в качестве наноразмерных компонентов, вводимых в состав наполнителей порошковых и композиционных проволок при наплавке, были применены порошки карбонитрида титана TiCN и монокрибида вольфрама WC с размером частиц от 80 до 500 и от 20 до 100 нм соответственно. Для транспортировки наночастиц в сварочную ванну служили микро-частицы порошка никеля (99,9%) размером до 60 мкм, входящие в состав шихты порошковой проволоки. Внедрение наночастиц TiCN и WC 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. С применением полученных порошков были изготовлены порошковые и композиционные проволоки диаметром 3 мм с оболочкой из стали 08кп и с содержанием тугоплавких наночастиц равным 0,1 - 0,6 масс.%. Изготовленными проволоками методами электрошлаковой наплавки с использованием фторидного флюса АНФ-6 и аргонодуговой наплавки был получен слой наплавленного металла на основе железа: — термостойкий азотосодержащий сплав 15X15H4AM3; [5]

Электронно-микроскопические исследования показали, что в аустенитно-мартенситной структуре сплава 15X15H4AM3, полученного аргонодуговой наплавкой с применением порошковой проволоки

с добавлением тугоплавких наночастиц TiCN, значительно возрастает количество и повышается однородность распределения интерметаллидов сферической формы размером от 0,5 до 1,5 мкм. При этом средний размер зерна в металле уменьшается в 2,5 раза по сравнению с исходной структурой, а его стойкость к деформации и растрескиванию при термоусталостных испытаниях повышается [5].

Целью работы А.А. Артемьева и Г.Н. Соколова являлось исследование влияния наночастиц TiCN, добавленных в порошковую проволоку, на формирование структуры искусственного композита и изучение свойств наплавленного электрошлаковым способом износостойкого слоя металла. Порошковую проволоку подавали в шлак АНФ-6 через полый электрод. Для модифицирования наплавленного металла в шихту экспериментальных порошковых проволок вводили до 2%(масс.) композиционного порошка, состоящего из микропорошка никеля с размером частиц не более 60 мкм в количестве 70%(масс.) с внедренными в них ультрадисперсными тугоплавкими частицами TiCN с размерами не более 80 нм в количестве 30%(масс.) [6].

Установлено, что в процессе электрошлаковой наплавки происходит растворение и коагуляция определенного количества наноразмерных частиц TiCN с дальнейшим образованием колоний укрупненных до 1-3 мкм частиц неправильной формы. С использованием атомно-силовой микроскопии было выявлено, что в слое наплавленного металла находятся включения размером 15 - 50 нм. Некоторое количество частиц TiCN не подвергается растворению в расплаве и они служат центрами кристаллизации для других соединений титана. Также выявлено повышение относительной износостойкости более чем в 2 раза по сравнению с исходным сплавом и ее значение составило 12,6, что практически в 5 раз превышает соответствующий показатель одного из лучших промышленных износостойких сплавов, наплавленного стандартной проволокой ИП Нп-170М (15Х15РЗТ2) [6].

Перед авторами работы А.М. Левченко, С.Г. Паршиным, И.С. Антиповым стояла цель разработки порошковой проволоки для механизированной подводной сварки сталей. Изготовление данной порошковой проволоки производили способом пластического деформирования ленты из стали 08кп по ГОСТ 3560–73 с заполнением шихтой и с последующим волочением порошковой проволоки до необходимого диаметра 1,6 мм. В состав шихты проволоки входили рудоминеральные и химически чистые компоненты с однородным гранулометрическим составом с коэффициентом заполнения порошковой проволоки 30–35%. Нанокпозиционное покрытие наносилось электрохимическим способом из коллоидных сульфатных электролитов, с содержанием нанодисперсных частиц галогенидных солей и оксидов.

Исследования сварочно-технологических свойств порошковых проволок показали, что проволока марки ПП-ПС характеризуется равномерным плавлением оболочки и сердечника, мелкокапельным переносом электродного металла, обеспечивает хорошее качество формирования сварных швов при подводной сварке в нижнем, горизонтальном и вертикальном положениях [7].

Таким образом, по результатам изучения соответствующей литературы, установлено, что введение в сварочную ванну при сварке или наплавке наноструктурированных частиц тугоплавких соединений способствует созданию мелкозернистой структуры металла вследствие образования центров кристаллизации наночастицами тугоплавких соединений.

Также введение тугоплавких частиц при наплавке обеспечивает повышение стойкости наплавленного слоя к абразивному изнашиванию.

Порошковые проволоки с добавлением наночастиц тугоплавких соединений обладают хорошими технологическими свойствами.

На ряду со всеми преимуществами сварка и наплавка порошковой проволокой имеет ряд недостатков. Для применения порошковой проволоки из-за недостаточной жесткости ее трубчатой конструкции необходимо применение подающих механизмов с ограниченным усилием сжатия проволоки в подающих роликах. Стандартная порошковая проволока, имеющая диаметр 2,6 и более миллиметра, требует применение дуги с повышенным значением сварочного тока с целью непрерывного горения дуги. Этот факт позволяет использовать данные проволоки только в нижнем положении или крайне редко – в вертикальном. Также порошковые проволоки имеют относительно высокую стоимость, по сравнению с проволоками сплошного сечения.

Литература.

1. И.С. Иоффе, М.В. Ханпетов Сварка порошковой проволокой. ВИСШАЯ ШКОЛА. -М. 1986 г., 95 стр. Ил.
2. А.А. Мазур, О.К. Маковецкая, С.В. Пустовойт, Н.С. Бровченко Порошковые проволоки на мировом и региональных рынках сварочных материалов. Автоматическая сварка 5 - 6 2015., с. 68 – 74.
3. В.М. Виноградов, А.А. Черепашин, Н.Ф. Шпунькин Основы сварочного производства– М.: Издательский центр «Академия», 2007г.

4. Зусин В.Я. Исследование модифицирования металла, наплавленного порошковой проволокой с алюминиевой оболочкой. // Вісникприазовського державного технічного університету №2 2011г., с. 180 – 183.
5. 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 свойства наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений //Физика и химия обработки материалов №22014, с.38 – 47.
6. А.А. Артемьев, Г.Н. Соколов, В.И. Лысак Влияние микрочастиц диборида титана и наночастиц карбонитрида титана на структуру и свойства наплавленного металла // Металловедение и термическая обработка металлов №12 2011 г., с 32 – 37.
7. А.М. Левченко, С.Г. Паршин, И.С. АнтиповСварочная порошковая проволока с нанокремниевым покрытием для подводной механизированной сварки //Материалы лучших докладов Недели науки СПбГПУ 2 – 7 декабря 2013 г., с. 169 – 175.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО ПОРОШКА
СЛОЖНОГО СОСТАВА (Ti, Zr, Cs) НА ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
ИОНИЗАЦИИ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПРИ СВАРКЕ ММА**

Е.М. Буракова, А.С. Сапожков, гр.10А32

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел.:(38451)5-09-06

E-mail: burakovakaterinka@mail.ru

Революционным началом развития наноматериалов и нанотехнологий стал 21 век. Становится все более очевидно что, в ближайшее время технологические границы будут открыты не за счет лучшего понимания и применения сочетания привычных нам материалов и их функций, а вследствие использования наноразмерных материалов. Наноматериалы, и связанные с ними нанонауки и технологии, обеспечивают уникальные возможности для создания революционных комбинации материалов [1]. Новейшие технологии используются в наиболее значимых областях человеческой деятельности (промышленности, обороне, радиоэлектронике, медицине, энергетике, информационной сфере, транспорте, биотехнологии), при производстве солнечных батарей, сверхпроводников, композиционных и керамических материалов, магнитных и красящих пигментов, припоев, присадок к смазочным материалам и др.

В настоящее время уделяется большое внимание технологиям повышения качества металлоконструкций, ведь в процессе эксплуатации они испытывают максимальные нагрузки. В сварочном производстве, прочность является одной из важнейших характеристик сварного соединения [2].

Механические свойства металла шва можно повысить различными способами. Одним из способов повысить прочностные и эксплуатационные свойства металла сварного шва является добавление в него наноразмерного материала.

Информации в литературе, связанной с использованием наноразмерных материалов в сварочном производстве не так много. Но за последние годы число исследований на эту тему выросло [2,3,4].

Эксплуатационные характеристики и физико-механические свойства металлоконструкций могут зависеть не только от химического состава сплавов, из которых изготавливаются, но и от степени измельчения структурных составляющих. Чем мельче структура, тем выше механические свойства металлоизделий. Самый распространенный способ измельчения структурных составляющих – модифицирование на стадии кристаллизации. Эффективный способ измельчения структуры и повышение свойств металла – модифицирование наноразмерными порошками (или нанопорошками) тугоплавких химических соединений (нитридов, карбидов, боридов, оксидов и др.). Однако кроме модифицирующего действия данные порошки оказывают влияние на физико-химические характеристики самого процесса сварки.

Существуют различные методы внесения нанопорошка в сварочную ванну (через флюс, распыление в составе защитного газа, окунание электрода в состав из наноразмерных материалов, сварка по тонкому слою нанопорошка, насыпанного на металл), однако, по нашему мнению, эффективным считается добавление нанопорошка в жидкое стекло на этапе изготовления электродов. Связано это, прежде всего с тем, что:

- потери нанопорошка минимальны (нанопорошок не попадает в сварочную ванну из-за разбрызгивания, а его величина при РДС не велика);
- предлагаемый способ введения наноразмерных модификаторов безопасен для здоровья сварщика и окружающих (частицы нанопорошка не попадают в органы дыхания и не оседают в лёгких);

- обеспечивается равномерное распределение нанопорошка по всему сварному соединению;
- технология изготовления электродов не претерпевает усложнения и добавления большого количества технологических операций.

Вещества, используемые в производстве электродного покрытия, играют фундаментальную роль в сварке [5].

Нанопорошки – это порошки с характерными наноразмерами. Их отличие от компактных образцов – сверхмалые элементы структуры. Размерные характеристики наноматериалов позволяют их выделить в отдельный класс материалов. Как следует из самого определения, диаметр наночастицы должны быть менее 100 нм. Почти половина из существующих нанопорошков имеет диаметр менее 30 нм. 9% от порошков, которые относятся к группе «нано», имеют диаметр более чем 100 нм. Большинство из производителей предлагают свои порошки диаметром от 5 до 100 нм. В процессе определения цены значимую роль играет не столько размер частиц, сколько чистота порошка и его однородность. Кристаллическая решетка наночастиц искажена, это оказывает влияние на энергию активации многих процессов, в которых участвуют, меняя их привычный ход и последовательность. Существует важная особенность системы: возрастает потенциальное быстроедействие объектов, т.е. с уменьшением размера объектов уменьшается и длительность протекания процессов с их участием.

Оксиды металлов составляют не менее 80% всех производимых промышленностью нанопорошков. Нанопорошки чистых металлов представляют собой значительную и постоянно растущую долю от общего объема производства. Практически все твердые металлические элементы серийно выпускаются в виде нанопорошков чистых металлов [6].

Более широкое распространение получают технологии модифицирования в процессах наплавки, используемые для повышения механических и эксплуатационных свойств наплавленного слоя, основанные на введении тугоплавких частиц. При этом применение модификаторов с размерами частиц 60-100 нм позволяет снизить размеры зерна структуры сплава за счёт минимального начального радиуса центра кристаллизации и равномерного распределения частиц модификатора в расплавленном сплаве при относительно малом содержании их по массовой доле.

В данной работе было произведено теоретическое исследование влияния наноразмерного порошка Ti, Zr, Cs на эффективный потенциал ионизации ($U_{эф}$) сварного дугового разряда.

Под эффективным потенциалом ионизации следует принять потенциал однородного газа, дающего то же количество заряженных частиц, что образуется в смеси.

Поскольку в атмосфере дуги присутствует несколько элементов, известна формула [7] для $U_{эф}$:

$$U_{эф} = -\frac{T}{5800} \ln \sum_{i=1}^{i=k} C_i^{1/2} e^{-\frac{5800}{T} U_i}$$

где C_i – газовые концентрации i -го газа; U_i – потенциал ионизации каждого газа.

Подсчитав эффективный потенциал ионизации смеси паров железа (Fe), кальция (Ca), натрия (Na), калия (K), магния (Mg) с добавкой титана Ti (рисунок 1), циркония Zr (рисунок 2), цезия Cs (рисунок 3) получили графики зависимостей.

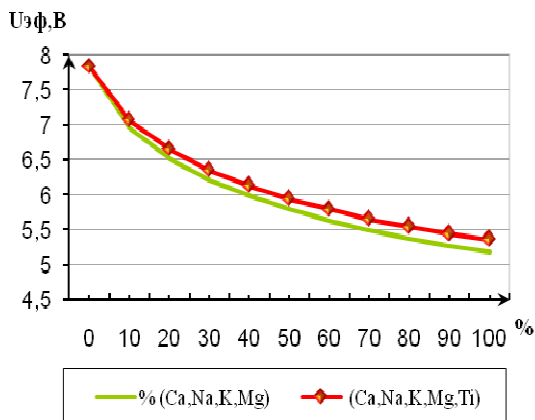


Рис. 1. Изменение эффективного потенциала ионизации для смеси паров Fe, Ca, Na, K, Mg и Fe, Ca, Na, K, Mg с добавкой Ti

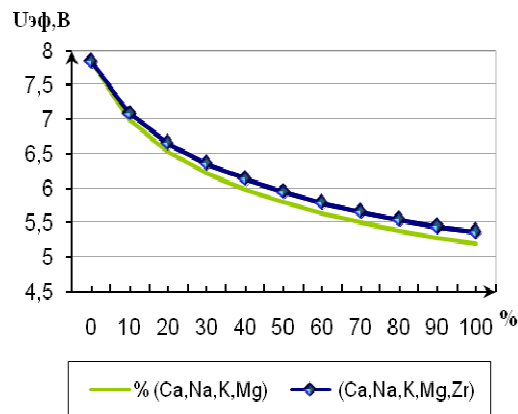


Рис. 2. Изменение эффективного потенциала ионизации для смеси паров Fe, Ca, Na, K, Mg и Fe, Ca, Na, K, Mg с добавкой Zr

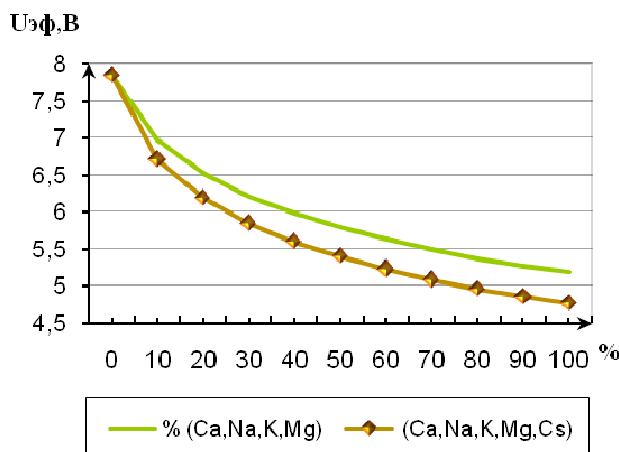


Рис. 3. Изменение эффективного потенциала ионизации для смеси паров Fe, Ca, Na, K, Mg и Fe, Ca, Na, K, Mg с добавкой Cs

Как видно из графиков, добавка Ti, Zr незначительно влияет на эффективный потенциал ионизации, а содержание в смеси Cs в составе 20% значительно снижает его с 6,52 до 6,18 эВ.

Добавив нанопорошок (Ti, Zr, Cs) в равных долях мы получили график зависимости (рисунок 4).

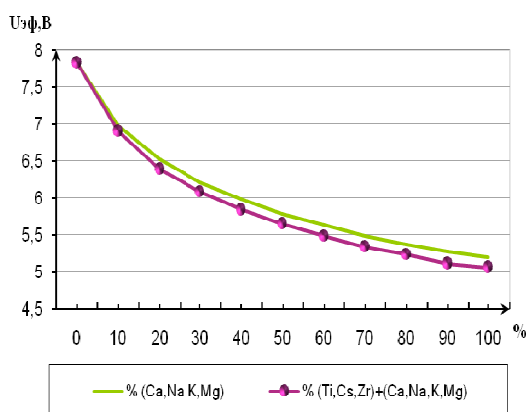


Рис. 4. Эффективный потенциал ионизации

В общей смеси было получено снижение эффективного потенциала ионизации на 1%. Для снижения потенциала ионизации смеси и облегчения горения дуги достаточно небольшой добавки компонента с низким потенциалом ионизации. В том числе, известны работы [3,4] в которых показано положительное влияние наноразмерного порошка сложного состава на эксплуатационные свойства сварных соединений.

Заключение

Теоретические исследования показали что наноструктурированный порошок снижает общий эффективный потенциал ионизации. Что позволяет добиться более стабильного процесса сварки. Дальнейшие эксперименты должны быть направлены на исследование влияния на качество сварного соединения.

Литература

1. Richard A. Vaia, H. Daniel Wagner. Materials today, "Frame work for nanocomposites." November 2004, С. 32-37.
2. Крушенко, Г.Г. Нанотехнологии упрочнения поверхности металлоизделий / Г.Г. Крушенко, С.Н. Решетникова // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. Науч. Конф. Красноярск: СибГАУ, 2008. – С.213–214.
3. Sapozhkov, S.B. Use of complex nanopowder (Al₂O₃, Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding [Текст] / S.V. Makarov, S.B. Sapozhkov // World Applied Sciences Journal (Special Issue on techniques and Technologies). – т. 22. – 2013. – С. 87-90. ISSN 1818-4952, DOI: 10.5829/idosi.wasj/2013.22.tt.2214

4. Макаров, С.В. Изготовление электродов с применением нанопорошка сложного состава (Zr, Si, Ni, Ti, Cr) / С.В. Макаров, С.Б. Сапожков. – Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Становление современной науки–2012». –Прага : Изд-во «Образование и наука», 2012. –С.88–91
5. Alejandro Garcia Rodriguez, Carlos Rene Gomez Perez. “Criteria for some methodologies of operative characterization of coated electrodes in welding in short-circuit metallic transference mode”. Welding International, Vol. 23, No. 4, April 2009, 282–290.
6. С. В. Макаров, С. Б. Сапожков. Способы изготовления наноматериалов / Глобальный научный потенциал. – 2013. - № 11(32). – С. 67-71.
7. Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва»//В.П. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др.; Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. –С.44-45.

НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.В. Перемитько, д.т.н., Д.Г. Носов, к.т.н.

*Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск
51918, г. Днепродзержинск, Украина, ул. Днепростроевская, 2, тел. (+380569) 55-18-91*

E-mail: welding@dstu.dp.ua

Введение. Более 60% случаев износа деталей гусеничного движителя дорожных машин (опорные катки, звенья гусеничного полотна, направляющие и натяжные колеса) носит абразивный характер. Для указанных деталей одним из определяющих факторов процесса износа выступает износная способность почвы. Указанный показатель определяется твердостью и формой абразива, степенью закрепления его частиц. Твердость и форма последних определяют характер разрушения поверхностного слоя деталей – микрорезание или усталость [1, 2].

Характер и интенсивность износа изменяются также в зависимости от типовых режимов эксплуатации дорожных машин (транспортирующий, бульдозирование, с горы, на гору, с уклоном и т.д.). Следует, однако, подчеркнуть, что доныне отсутствуют рекомендации относительно учета абразивного состава почв и преобладающего режима работы машин для увеличения ресурса работы их деталей [3-5].

Исходя из вышеизложенного, актуальным выглядит создание адаптационного подхода к разработке технологии восстановления, выбору химического и фазового состава металла, наносимого с учетом конкретных условий последующей эксплуатации дорожных машин.

Постановка задачи. Объектом исследования является процесс износа контактирующих поверхностей деталей в присутствии абразивного потока различных фракций. Предметом исследования является влияние типов и марок наплавочных материалов на интенсивность износа поверхностных слоев наплавленных в различных их сочетаниях.

Основными задачами являются: определение свойств металла поверхностных слоев обеспечивающих максимальное сопротивление износу при различном гранулометрическом составе частиц абразива; определение сочетаний групп наплавочных материалов (проволока, флюсы) обеспечивающих необходимые свойства металла поверхностных слоев в условиях максимально приближенных к эксплуатационным.

Целью работы ставилась разработка рекомендаций относительно адаптивного подхода к созданию износостойких слоев и определения оптимального состава наносимого металла.

Материалы и методы. Для серийного изготовления опорных катков используется сталь на уровне марки 40Г, твердость изделий из которой составляет HB220...230. Звенья гусеничного полотна изготавливаются преимущественно из стали 45, которой соответствует твердость HB225...235. Исходя из этого, подбирались материал образцов, на которых отрабатывалась технология дуговой наплавки.

В исследованиях использовались проволоки стальные сварочные Св-08, Св-08ГА, Св-08Г2С (ГОСТ 2246-70) и наплавочные Нп-65 и Нп-30ХГСА (ГОСТ 10543-75). Выбор этих материалов основывался на их предназначении для сварки и наплавки подобных по условиям работы деталей типа поддерживающих и опорных катков, шпинделей и валов, крановых колес.

Выбранные наплавочные материалы использовались для нанесения слоев под флюсами АН-348А, АНК-18, а также их смесью на режимах, сведенных в табл.1.

Образцы для испытаний на износ изготавливали наплавкой цилиндрической заготовки внешним диаметром 36мм, внутренним диаметром 16мм и длиной 200мм. Смещение электродной проволоки с зенита в противоположное вращению заготовки направление составило 8...10мм. Наплавку производили по винтовой линии со смещением шага наплавки на 3...4мм каждого последующего слоя. После каждого наплавленного слоя образцы остуживали. Наплавку вели в 3...4 слоя до достижения заготовкой внешнего диаметра 50мм. После наплавки заготовки шлифовали на токарном станке под охлаждающей жидкостью.

Таблица 1

Режимы наплавки под смесью флюсов

Марка проволоки	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Частота вращения заготовки, мин ⁻¹ (скорость наплавки, м/час)	Шаг наплавки, мм
Св-08, Св-08ГА	1,2	160...180	27...28	3,5 (24...33)	3,0
Св-08Г2С, Нп-65				4,0 (27...38)	
Св-08Г2С, Нп-65	3,0	400...410	32...34	5,0 (34...47)	7,0
Нп-30ХГСА	1,6	200...220	28...30		3,5

Износ определяли по отношению к образцу из стали 45, принятого за эталон большинством исследователей. Твердость измеряли на твердомере ТК-2. Износные испытания проводили по схеме «ролик-плоскость» на машине МИ-1М с приближением лабораторных условий к реальным. Абразивом служил кварцевый песок, который по фракциям разного гранулометрического состава подавался через лейку, с возможностью регулирования расхода. При испытаниях на трение скольжением использовали образцы размерами 10×10×50мм, а на трение качением – диаметром 45мм и толщиной 10мм.

Образцы взвешивали до и после испытаний, которые длились 2 часа, на точных лабораторных весах с погрешностью 0,0001 г. Анализ структур проводили по стандартным методикам оптической металлографии.

Результаты работы. Зависимость удельного износа слоев, наплавленных проволоками Нп-65 и Св-08Г2С, при испытаниях с абразивом приведена на рис. 1.

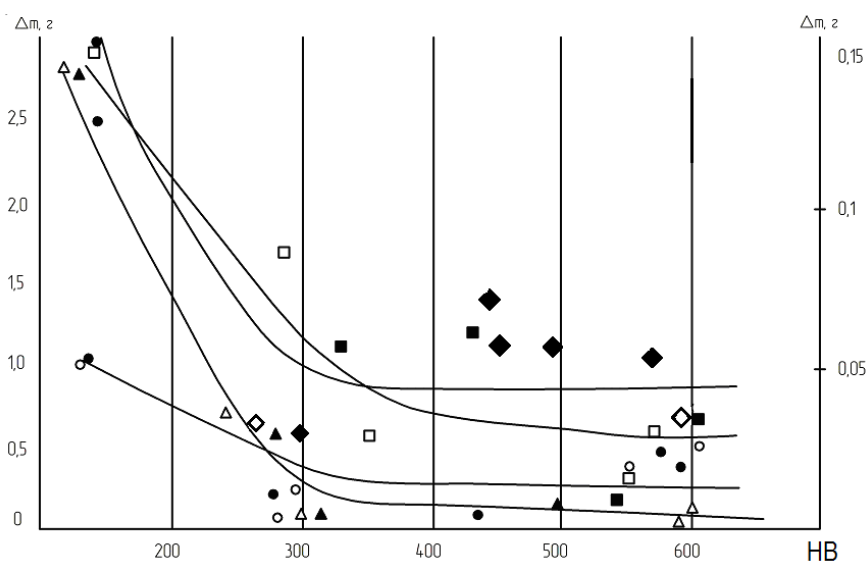


Рис. 1. Зависимость потери массы Δm при износе наплавленных образцов в присутствии абразива разных фракций d : $\circ, \bullet$ – Δm (по шкале слева) нижнего и верхнего роликов соответственно при $d = 0,315$ мм; $\Delta, \blacktriangle$ – Δm (по шкале слева) роликов при $d = 0,4$ мм; $\square, \blacksquare$ – Δm (по шкале справа) при $d = 0,63$ мм; $\diamond, \blacklozenge$ – Δm (по шкале справа) при $d = 1,0$ мм.

Установлено, что верхний и нижний ролики, наплавленные проволокой Нп-65, в зависимости от состава смеси флюсов изнашиваются качественно одинаково. С увеличением содержания флюса АН-348А (и уменьшением степени легирования) износ обоих роликов растет и достигает максимума при его доле в смеси 50% (состав наплавленного металла – 0,29%С; 1,87%Mn; 0,37%Si; 1,19%Cr; 0,07%Ni).

При большем присутствии флюса АН-348А в смеси износ роликов существенно снижается и достигает минимума при наплавке под флюсом АНК-18 (0,63%С; 1,20%Mn; 0,29%Si; 2,57%Cr; 0,8%Ni). Снижение износа в экстремальных точках для верхнего и нижнего роликов соответственно 4-х и 26-ти кратное. Отношение значений максимального износа нижнего и верхнего роликов при 50%АНК-18 составляет 1,45. При использовании исключительно флюса АНК-18 наблюдается инверсия изнашивания: верхний ролик имеет износ в 4,3 раза больший, чем нижний.

Износ роликов, наплавленных проволокой Св-08Г2С, качественно не согласовывается. Нижний ролик, который имеет наибольший износ при наплавке под флюсом АН-348А (состав наплавленного металла 0,06%С; 2,11%Mn; 0,93%Si; 0,04%Cr; 0,07%Ni), с увеличением доли флюса АНК-18 от 25 до 100% резко уменьшается почти в семь раз. Кинетика износа верхнего ролика характеризуется резким ростом при доле флюса АНК-18 в смеси свыше 50%. Показательно, что минимальное изнашивание обоих роликов соответствует наплавке металла под смесью 50%АН-348А + 50%АНК-18 (состав наплавленного металла 0,17%С; 2,35%Mn; 0,63%Si; 1,49%Cr; 0,09%Ni).

Таким образом, наименьший износ роликов и пары трения в целом с прослойкой абразивных частиц фракции 0,315мм достигается при разном соотношении флюсов. Для наплавки проволокой Нп-65 целесообразно использовать флюс АНК-18, а проволокой Св-08Г2С – смесь 50%АН-348А+50%АНК-18.

При испытаниях с абразивом фракции 0,4мм наименьший износ роликов наблюдается при наплавке под флюсом АНК-18 обеими проволоками. Существенный или возрастающий износ проявляется при наплавке под флюсом АН-348А или под смесью с долей флюса АНК-18 в ней до половины.

Испытания с абразивом фракции 0,63мм показали, что все пары роликов изнашиваются качественно одинаково. Однако износ металла, наплавленного проволокой Нп-65, имеет два максимума – при доле присутствия в смеси флюса АН-348А 25% и 100%. Минимальный износ роликов и пары в целом соответствует наплавке под чистым флюсом АНК-18 и максимальной степени легирования нанесенных слоев.

Наплавка проволокой Св-08Г2С дает минимальное изнашивание при использовании смеси 75%АН-348А +25%АНК-18 (0,12%С; 2,37%Mn; 0,77%Si; 0,70%Cr; 0,13%Ni). Результаты испытаний с абразивом фракции 1,0мм свидетельствует про идентичность характера изнашивания обоих составов наплавленного металла. В этих условиях четко прослеживается тенденция к снижению износа по мере увеличения присутствия флюса АНК-18 в смеси. Наименьшая потеря массы образцов установлена при наплавке под упомянутым флюсом.

Обобщая результаты испытаний с абразивной прослойкой, можно сделать следующие выводы.

1. Качественная схожесть зависимостей удельного износа роликов и пар качения от содержания флюсов в смеси стает более определенной с увеличением фракции абразива.

2. Несогласованность приведенных кривых можно объяснить влиянием дисперсности абразивных частиц на поверхностный слой, который имеет неравномерную микротопографию и микротвердость. Конкретизацию указанного влияния возможно реализовать путем согласования износа роликов с показателями шероховатости поверхностей трения.

3. Нижние (приводные, ведущие) ролики имеют износ больше, чем верхние. Этот факт можно объяснить большим проскальзыванием приводного ролика. Поскольку опорные катки по кинематике работы схожи с ведомыми роликами, то механизм изнашивания последних можно считать приближенным к механизму изнашивания опорных катков.

4. Рабочая поверхность роликов, наплавленных проволокой Нп-65 под смесью флюсов, в присутствии абразивных частиц скалывается; при испытаниях без абразива сколы не наблюдаются. Причиной скалывания можно считать низкую работу развития трещины. Абразивные кварцевые частицы, имеющие микротвердость на уровне 10000МПа, внедряются в поверхностный слой роликов, вызывая зарождение концентраторов напряжений в виде лунок, рисков и царапин. При продолжающейся силовой нагрузке развитие трещины, вызванной указанными концентраторами напряжений, происходит довольно быстро.

5. При использовании абразива фракцией менее 0,315мм происходило забивание подводящих трубок и налипание абразивной пыли на поверхность роликов, что снижало их износ.

6. При возрастании зазора между деталями свыше 5...7мм зависимость интенсивности износа от размеров абразивных частиц ослабевает.

Исходя из проведенных исследований, для упрочнения и восстановления деталей гусеничного движителя приведенные составы могут быть получены механизированной наплавкой проволоками Св-08Г2С или Нп-65 под смесью флюсов АН-348А и АНК-18, что обеспечивает твердость наплавленного металла на уровне $HB297...552$.

В рамках поставленной цели разработаны способы наплавки, которые позволяют значительно снизить себестоимость процесса путем уменьшения производственных и материальных расходов при их использовании (рис.2). Системный подход к решению проблемы позволил уменьшить долю участия основного металла в наплавленном на 30...60%, повысить производительность наплавки в 1,3...1,8 раза; уменьшить расходы на механическую обработку на 35...40% и повысить служебные характеристики изделий за счет управления конфигурацией и геометрическими размерами сечения наплавленного валика [6-9]. Реализовывать процесс наплавки валика с управляемой его конфигурацией предложено в рамках одновременного действия при дуговой наплавке трех разнонаправленных, т.е. комбинированных магнитных полей (КМП).

РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

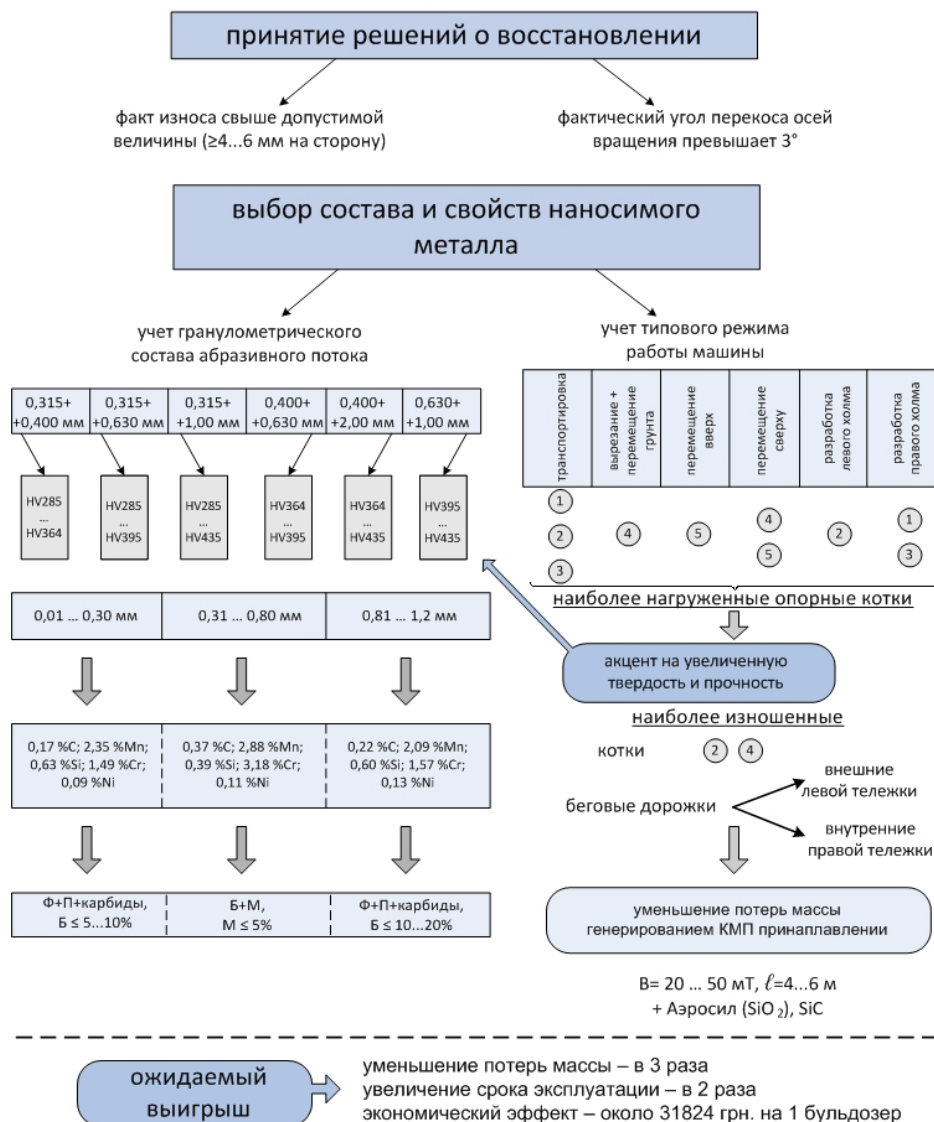


Рис. 2. Учет условий эксплуатации деталей ходовой части при определении состава и свойств наносимых при восстановлении слоев

Выводы:

1. Определена связь интенсивности износа от действия абразива разного фракционного состава с твердостью и химическим составом слоев, наносимых дуговой наплавкой.

2. Предложен к реализации принцип адаптивности при разработке технологии восстановления деталей ходовой части. Исходя из проведенных исследований, для упрочнения и восстановления деталей гусеничного движителя приведенные составы могут быть получены механизированной наплавкой проволоками Св-08Г2С или Нп-65 под смесью флюсов АН-348А и АНК-18, что обеспечивает твердость наплавленного металла на уровне *HB297...552*.

Литература.

1. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание/ В.Н.Виноградов, Г.М.Сорокин, М.Г.Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Львов П.Н. Основы абразивной износостойкости деталей дорожных машин / Львов П.Н. – М.: Стройиздат, 1970. – 71 с.
3. Мазель Ю.А. Классификация сплавов на основе железа для восстановительной и упрочняющей наплавки/ Мазель Ю.А., Кусков Ю.В., Полишук Г.Н. // Сварочное производство. – 1999. – №4. – С.35-38.
4. Васильев Б.С. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов : учебник / Васильев Б.С., Долгополов Б.П., Г.Н.Доценко Г.Н. ; под ред. В.А.Зорина. –М.: Мастерство, 2001. – 512 с.
5. Наплавочные материалы для упрочнения деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания/ А.Н.Балин, А.В.Березовский, А.А.Вишневский [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. – №2. – С.46–47.
6. Peremitko V.V. Influenza sag parti del telaio indossare macchine stradali / V.V.Peremit'ko, V.D.Kuznetsov, I.O.Cherednyk // Italian Science Review. – 2014. – №8 (17). – P. 93– 96.
7. Носов Д.Г. Про використання магнітних полів для керування формоутворенням валиків при дуговому зварюванні та наплавленні / Д.Г.Носов, В.В.Перемітько // Збірник наукових праць ДДТУ: (технічні науки).- Дніпродзержинськ, 2006. – С. 60-63.
8. Носов Д.Г. Використання асиметричного магнітного поля для керування формою проплавлення основного металу /Д.Г.Носов, В.В.Перемітько //Збірник наукових праць : (технічні науки). – ДДТУ, 2008. – С.73 – 78.
9. Перемітько В.В. Разработка и исследование технологии восстановительной наплавки катков ходовой части гусеничных машин/ В.В.Перемітько// Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика : сборник трудов 15-й Международной научно-практической конференции в 2 ч. Часть 1. – СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2013. – С.168–172.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ РЕГИСТРАЦИИ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ ШВОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА МОНТАЖЕ

А.А. Мякишев, студент 4 курса

Юргинский Техникум Машиностроения и Информационных Технологий

652050, г.Юрга, ул. Ленинградская, 10

E-mail: lucky6513@yandex.ru

На сегодняшний день в мире есть множество способов для обнаружения внутренних дефектов сварных соединений. Одним из таких способов является радиографический контроль. Данный вид контроля широко используется для проверки качества технологических трубопроводов, металлоконструкций, технологического оборудования. Радиографический метод контроля сварных соединений осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-86.

Но сейчас мы хотелось бы заострить внимание на разнице гамма и рентген контроле.

Начнем с Гамма контроля. Гамма-лучи излучаются радиоактивными веществами — радиоактивным кобальтом, иридием, цезием и другими веществами и представляют собой электромагнитные колебания с длиной волны 10 -11 см. Гамма-лучи имеют меньшую длину волны, чем рентгеновские, поэтому их проникающая способность выше. Если при просвечивании рентгеновскими лучами можно обнаружить дефекты в литых деталях или сварных швах при толщинах до 100 мм, то с помощью гамма-лучей можно просвечивать сталь толщиной до 300 мм. Кроме того, источник гамма-излучения действует во все стороны, а не в одну, что дает возможность произвести проверку сразу нескольких

изделий за один раз. Еще одно преимущество перед рентгеновской трубкой – длительный срок службы радиоактивных источников, от 30 дней до 30 лет.

Но, не смотря на все плюсы контроля гамма-излучением, он имеет свои минусы:

1. Чувствительность просвечивания гамма-излучением понижается при толщине свариваемых элементов менее 50 мм, время выдержки при съемке увеличивается по сравнению с рентгенографией.

2. В капсулах, используемых для этого метода, применяются следующие радиоактивные материалы, которые в случае длительного не использования начинают распадаться и доза радиации уменьшается в разы.

Рентген контроль в свою очередь, по способу проведения обследования мало чем отличается от просвечивания гамма-излучением. Данный метод распространен в промышленности, так как дает очень полную картину того, в каком состоянии находится место сварки двух или более деталей. Еще одно преимущество – возможность автоматизации (в частности только просветка, проявки нет возможности автоматизации) и механизации процесса. Но за частую используют переносные аппараты.

В радиационных методах контроля используются флуорисцентные и свинцово-оловянистые экраны. Усиливающее действие флуоресцентных экранов основано на конвертировании ими части рентгеновского излучения в оптическое слое люминофора. В то время как свинцовооловянистые экраны применяются для сокращения времени уменьшения влияния рассеянного излучения. Помимо сокращения времени экспозиции, свинцовые усиливающие экраны заметно снижают отрицательное действие рассеянного излучения на качество снимков.

И в заключение моего доклада хотелось бы сделать вывод, что не смотря на то какой способ регистрации внутренних дефектов мы выберем, во всем будут свои недостатки как способов, но и как человеческий фактор тоже.

Литература.

1. ГОСТ 7512-86
2. Учебник «Радиографический контроль сварных соединений» В.И. Горбачев, А.П. Семенов.

ГИБРИДНАЯ ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА БРОНЕВЫХ СТАЛЕЙ

Г.А. Туричин, д.т.н., проф., И.А. Цибульский, к.т.н., доц., М.В. Кузнецов, м.н.с.

Институт лазерных и сварочных технологий СПбПУ

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, тел. (812)552-98-43

E-mail: kuznetsov_mich@lrc.ru

Введение

В настоящее время высокопрочные стали широко применяются при создании ответственных инженерных конструкций. Это становится возможным благодаря свойствам данных сталей, сочетающих в себе высокую прочность и твердость при достаточной пластичности и вязкости. Внедрение современных сталей позволяет повысить жизненный цикл конструкций, работающих в сложных условиях, несущую и пропускную способность при сохранении массы конструкции или динамические характеристики транспортных средств при снижении массы конструкции, но с сохранением её прочностных характеристик [1].

В тяжелом машиностроении более половины валового продукта создается с помощью сварки и родственных технологий. До двух третей мирового потребления стального проката идет на производство сварных конструкций и сооружений. Однако большая часть используемых в России сварочных технологий не является полностью пригодной для сварки новых материалов из-за низкой производительности и высокой себестоимости. Поэтому ключевым вопросом технологического развития РФ является внедрение новых технологий сварки.

Перспективной для решения этой задачи является технология гибридной лазерно-дуговой сварки (ГЛДС), основными преимуществами которой являются высокая производительность, низкие сварочные деформации, возможность сварки по зазору, возможность варьирования химическим составом и механическими свойствами сварного соединения за счёт плавящегося электрода [2,3]. Благодаря преимуществам ГЛДС актуальна при изготовлении сварных конструкций из металлов больших толщин в трубостроении [4,5], судостроении [6], мостостроении [7], вагоностроении [8], автомобилестроении [9] и т.д.

Технико-экономический расчёт внедрения ГЛДС при корневом проходе, на примере изготовления сварных труб большого диаметра на Челябинском трубопрокатном заводе, показал повышение

производительности сварки в 2-5 раз, снижение энергопотребления в 2 раза, расхода защитных газов в 5 раз, расхода сварочной проволоки в 3 раза при повышении качества сварного соединения и итоговой производительности изготовления труб большого диаметра на 7% [10].

Одной из важных задач при разработке технологии ГЛДС высокопрочных сталей является обеспечение равнопрочности сварного соединения и основного металла, при достижении которой следует учитывать не только скорость охлаждения сварного соединения [11], но химический состав и тип сварочной проволоки [12]. Также на распределение легирующих элементов сварочной проволоки в металле шва оказывает влияние тип дуги [13,14], ширина зазора [15] и пространственное положение сварки [16].

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию технологической возможности ГЛДС высокопрочных сталей Hardox 400, Hardox 450, Arмох 600Т и АБ с толщинами от 7 мм до 20 мм в различных пространственных положениях за один проход с использованием различных марок сварочных проволок.

2 Проведение эксперимента

ГЛДС сталей осуществляли с использованием лазерно-дугового технологического комплекса на базе мощного волоконного иттербиевого лазера ЛС-15 и выпрямителя дугового ВДУ – 1500 DC.

В рамках исследования использовали шведские стали Hardox 450 (толщина 12мм), Hardox 400 (15мм), Arмох 600Т (7 мм) и отечественную сталь АБ (48мм), механические свойства сталей представлены в таблице 1. В качестве плавящегося электрода использовали металлпорошковые сварочные проволоки и проволоки сплошного сечения POWER BRIDGE 60M (Рb 60M), Св-10Х19Н11М4Ф и Св-08ГСМТ соответственно, химический состав проволок приведён в таблице 2.

ГЛДС шведских сталей осуществляли без разделки кромок. Пластины из стали АБ толщиной 48мм имели Х-образную разделку кромок: притупление 20 мм, угол скоса кромок 20°. Для обеспечения стабильного сквозного проплавления Hardox 450 и Arмох 600Т сваривали в нижнем пространственном положении (НПП), Hardox 400 и АБ - в вертикальном пространственном положении (ВПП). Изображение экспериментальной установки представлено на рисунке 1.

Таблица 1

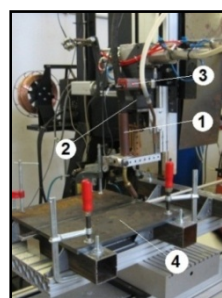
Механические свойства свариваемых сталей.

Марка стали	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Твёрдость, HBW	KCV, Дж (-20°С)
Hardox 400	1000	1250	370-430	45
Hardox 450	1100-1300	1400-1600	425-475	27
Arмох 600Т	1500	2000	570-640	12
АБ	-	1000	-	-

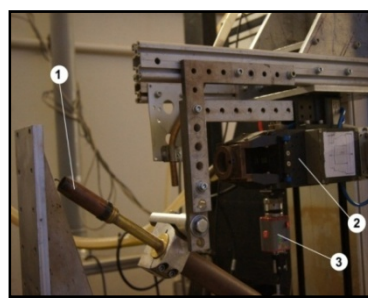
Таблица 2

Химический состав сварочных проволок

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	N ₂	As	Ti	Al	V
POWER BRIDGE 60M	0,04-0,08	0,4-0,8	1,3-1,6	<0,015	<0,015	-	0,4-0,6	-	-	-	-	-	-	-
Св-08ГСМТ	0,09	0,47	1,07	0,013	0,016	0,22	0,15	0,17	0,23	0,01	0,008	0,06	0,043	0,005
Св-10Х19Н11М4Ф	0,1	1,0-1,5	1,0-2,0	<0,025	<0,02	18,0-20,0	10,0-11,0	-	3,5-4,5	-	-	-	-	1,0-1,6



а)



б)

Рис. 1. Расположение лазерной головки и горелки при ГЛДС: а – НПП; б – ВПП:
1- сварочная горелка, 2- лазерная головка, 3- камера, 4- свариваемые образцы

Поверхности пластин перед сваркой зачищали до металлического блеска с помощью углошлифовальной машины и обезжировали ацетоном. Пластины предварительно прихватывали с торцов. Сварку осуществляли прямолинейными стыковыми швами. Для защиты ванны расплава от окисления с лицевой и обратной стороны шва использовали смесь защитных газов 80%Ar-20%CO₂ и Ar высокой чистоты в количестве 25л/мин соответственно.

3 Результаты и обсуждение

3.1 ГЛДС высокопрочных сталей Hardox 450 и Hardox 400

В качестве плавящегося электрода при сварке Hardox 450 использовали металлпорошковую проволоку Power Bridge 60M, диаметром 1,6 мм. При ГЛДС стали Hardox 400 - Св-08ГСМТ, диаметром 1,2 мм. ГЛДС осуществляли при следующих значениях параметров режимов: Рл=14кВт, Id=396А, Ud=25,2В, Vсв=35мм/сек, Vпп=6,6 м/мин (Hardox 450) и Рл=15кВт, Id=276А, Ud=25,2В, Vсв=35мм/сек, Vпп=9,12 м/мин (Hardox 400). Внешний вид и поперечные микрошлифы сварных соединений представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

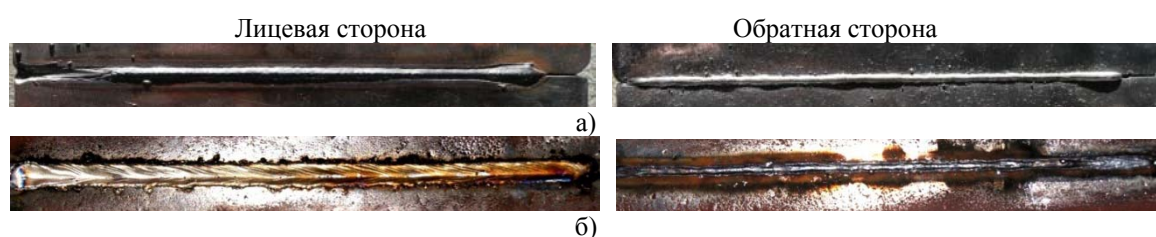


Рис. 2. Внешний вид сварных соединений: а - Hardox 450; б - Hardox 400

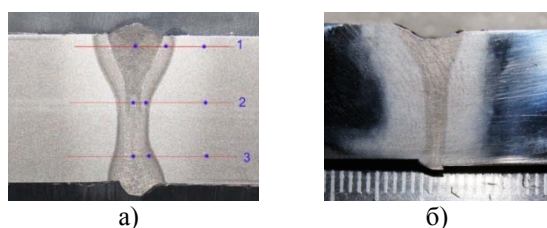


Рис. 3. Поперечный микрошлиф сварного соединения: а - Hardox 450; б - Hardox 400

Визуальный контроль сварных соединений и поперечных микрошлифов показал отсутствие внешних и внутренних дефектов. ГЛДС стали Hardox 400 была реализована при смещении кромок пластин на 1 мм (рисунок 3б). Результаты измерения твёрдости (HV10) сварного соединения Hardox 450 показали несоответствие твёрдости основного металла (ОМ) заявленной в спецификации, а также приблизительно одинаковую твёрдость металла шва (МШ) и ОМ, таблица 3.

Таблица 3

Результаты измерения твердости для Hardox 450

Место измерения	Твердость (HV10)			
	1	2	3	Ср.зн.
МШ	354	362	378	364,7
ЗТВ	386	420	324	377
ОМ	367	359	374	366,7

Средняя твёрдость зоны термического влияния (ЗТВ) имела значение выше приблизительно на 10 единиц HV по сравнению со значениями твёрдости ОМ и МШ. Необходимо отметить, что ширина ЗТВ в обоих случаях составляет 1-1,5 мм, что несопоставимо меньше ширины ЗТВ сварных соединений, образованных при дуговых способах сварки.

3.2 ГЛДС высокопрочных сталей Arctox 600T

Пластины из стали Arctox 600T толщиной 7 мм сваривали за один проход в НПП с использованием сварочных электродов марок Рb 60M, Св-10Х19Н11М4Ф и Св-08ГСМТ.

ГЛДС осуществляли при следующих параметрах: Рл=7кВт, Id=250А, Ud=20В, Vсв=40мм/сек. В результате сварки получены сварные соединения без видимых дефектов. Внешний вид и попереч-

ный микрошлиф сварного соединения, образованного при ГЛДС со сварочным электродом Св-10Х19Н11М4Ф представлен на рисунке 4.

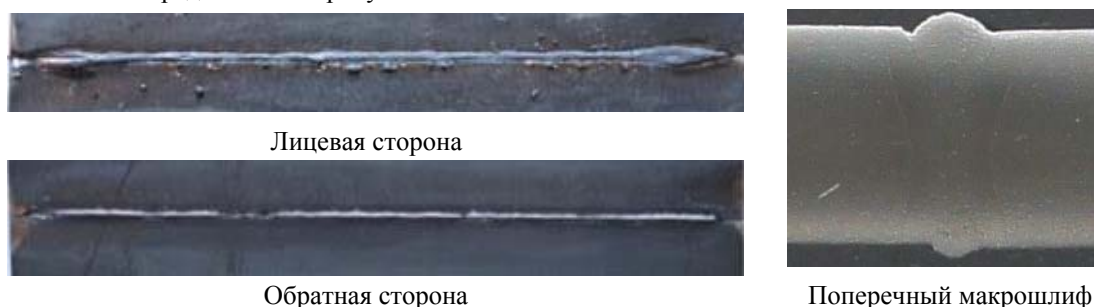


Рис. 4. Внешний вид сварного соединения (Св-10Х19Н11М4Ф)

Визуальный контроль и металлографические исследования сварных соединений не выявили внутренних или внешних дефектов. Результаты измерения твёрдости сварных соединений, образованных при ГЛДС и лазерной сварке представлены на рисунок 5.

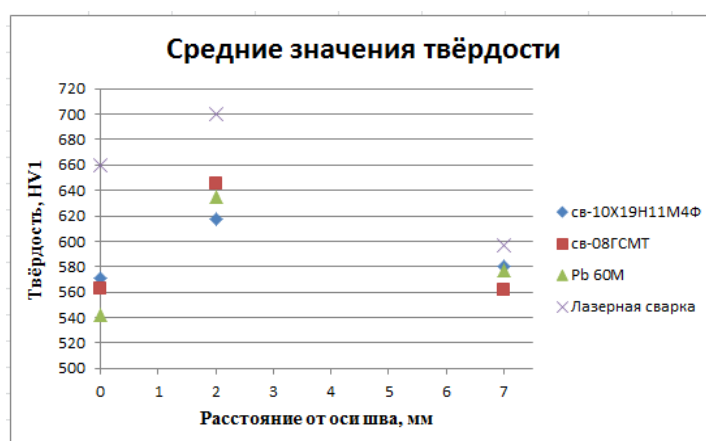


Рис. 5. Результаты измерения твёрдости: 0 – МШ; 2 – ЗТВ; 7 – ОМ

Максимальные значения твёрдости сварных соединений обнаружены в области ЗТВ. Значения твёрдости МШ в случае лазерной сварки выше значений твёрдости ОМ, в случае ГЛДС – обратная картина. Максимальные значения твёрдости МШ и ЗТВ обнаружены у сварного соединения, образованного при лазерной сварке, что объясняется более высокой скоростью охлаждения и формированием мартенситной структуры.

По результатам измерения твёрдости сварных соединений, образованных при ГЛДС, максимальное значение обнаружено при использовании сварочного электрода марки св-10Х19Н11М4Ф (570,5 HV1), что можно объяснить наличием никеля в количестве, достаточном для полного или частичного подавления диффузии углерода при $\gamma\text{Fe} \rightarrow \alpha\text{Fe}$ переходе с образованием мартенситной или бейнитно-мартенситной структуры МШ. При ГЛДС с электродом Рb 60М – минимальное значение твёрдости (542 HV1). Ширина ЗТВ не превышает 1 мм.

Из сварного соединения, образованного при ГЛДС со сварочным электродом св-10Х19Н11М4Ф были изготовлены образцы на статическое разрушение. Разрушение сварного соединения при испытаниях произошло по МШ при значениях приблизительно на 15% ниже по сравнению с прочностью основного металла. Результаты испытаний на растяжение представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытаний на статическое растяжение					
Маркировка образца	Размер а, мм	Размер b, мм	Место разрушения	Максимальная нагрузка, кН	Временное сопротивление, МПа
1–1	5,22	14,95	МШ	139,26	1784,5
1–2	5,29	14,97	МШ	137,02	1730,3

3.3 Сварка высокопрочной стали АБ

ГЛДС стали АБ осуществляли за один проход в ВПП. В качестве плавящегося электрода использовали сварочную проволоку Св-08ГСМТ. ГЛДС выполняли при следующих значениях параметров режима: $R_{\text{л}}=15\text{кВт}$, $V_{\text{св}}=18\text{мм/сек}$, $V_{\text{пп}}=18\text{м/мин}$, $I=410\text{А}$, $U=40\text{В}$. Внешний вид и поперечный макрошлиф сварного соединения представлены на рисунке 5.



Внешний вид сварного соединения



Поперечный макрошлиф

Рис. 5. Сварное соединение (сталь АБ)

Сварное соединение имело стабильное сквозное проплавление без видимых внешних и внутренних дефектов. Металл шва имел серебристый оттенок, свидетельствующий о качественной защите. Сварное соединение было подвергнуто механическим испытаниям.

Средние значения результатов испытаний на статическое растяжение сварного соединения и ОМ приведены в таблице 5. Все образцы, изготовленные из сварного соединения, разорвались по МШ при допустимых значениях предела прочности.

Таблица 5

Средние результаты испытаний на статическое растяжение.

№	Образец	Разрыв	Толщина образца, мм	Ширина образца, мм	Максимальная нагрузка, кН	Предел прочности, МПа
1	СС	МШ	9,97	20,57	203,7	993,3
2	ОМ	ОМ	диаметр – 5,95		28,72	1000

3.4 Металлографическое исследование сварных швов

Металлографические исследования, для определения влияния процесса ГЛДС на микроструктуру сварного соединения, были проведены с использованием микрошлифов, изготовленных из сварного соединения, образованного при сварке стали Hardox 450, рисунок 6.

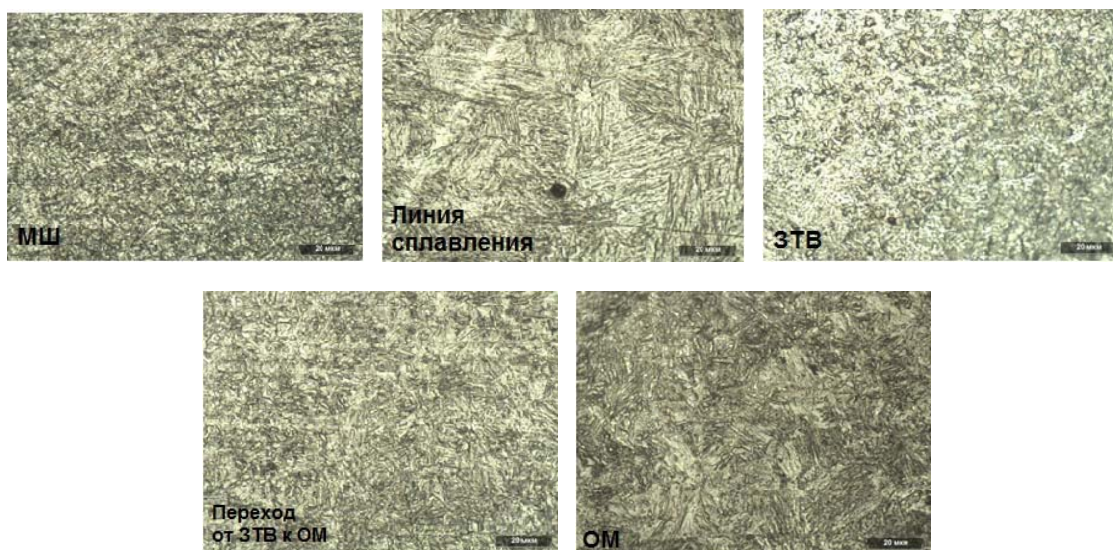


Рис. 6. Микроструктура сварного соединения из стали Hardox 450 в различных зонах сварного шва

При ГЛДС стали Hardox 450 в структуре сварного соединения в некоторых областях присутствует мартенсит. В структуре МШ выделяется существенное количество мартенсита (более 70%) и

карбидов. На линии сплавления отсутствуют трещины и поры. В средней области ЗТВ присутствует некоторое количество мартенсита (менее 10%). Основной структурной составляющей является бейнит верхней и гранулярной морфологии. В области перехода от ЗТВ к основному металлу наблюдается мелкодисперсная структура преимущественно бейнита гранулярной морфологии. Микроструктура ОМ представляет собой бейнит нижней и гранулярной морфологии, карбиды.

Из результатов металлографических исследований сварных швов можно сделать вывод, что процесс ГЛДС высокопрочных сталей эффективен, т.к. тепловое воздействие от процесса незначительно искажает исходную структуру металла в сварном соединении, благодаря чему механические свойства металла сохраняются.

Заключение:

Результаты проведенных исследований демонстрируют не только технологическую возможность, но и эффективность применения ГЛДС современных высокопрочных сталей больших толщин.

Показано, что ГЛДС позволяет получить сварные соединения при сварке высокопрочных сталей мартенситного класса толщиной от 7 мм до 20 мм в различных пространственных положениях с механическими свойствами на уровне свойств основного металла.

Экспериментально определено влияние легирующих элементов сварочного электрода на механические свойства сварных соединений.

Результаты металлографического исследования показали незначительное расхождение структуры сварного соединения со структурой основного металла.

Литература.

1. Hillenbrand H.-G., Kalwa Ch. High Strength Line Pipe for Project Cost Reduction. World Pipelines. - Vol.2. - №1. – 2002.
2. P. Kah. Current trends in welding processes and materials: improve in effectiveness // Advanced Materials Science 30 (2012) P. 189-200.
3. Туричин Г.А., Цибульский И.А., Кузнецов М.В. Технология гибридной лазерно-дуговой сварки // Учеб. пособие – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 48 с.
4. G. Turichin, O. Velichko, A. Kuznetsov, I. Pevzner, O. Grinin, M. Kuznetsov. Mobile Hybrid system for pipeline welding on the base of 20 kW fiber laser // 8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014, P. 1-4 (DOI: 10.13140/RG.2.1.5105.2004).
5. Цибульский И.А., Кузнецов М.В., Сомонов В.В. Технология лазерно-дуговой сварки металлов больших толщин // Сборник 6-й международной конференции «Лучевые технологии и применение лазеров», Россия, Санкт-Петербург, 2010. - С. 344-348.
6. X. Cao, P. Wanjara, J. Huang, C. Munro, A. Nolting Hybrid fiber laser – Arc welding of thick section high strength low alloy steel // Materials & Design 32 (2011) 3399–3413 (doi:10.1016/j.matdes.2011.02.002).
7. Defalco J. Practical Applications for Hybrid Laser Welding // Welding Journal. – 2007. – Oct. – P. 47 – 51.
8. High Performance Disk Laser Technology Extends Possibilities for Laser Hybrid Welding Applications // Welding and Cutting. – 2009. - № 4. – P. 192 – 193.
9. Staufer H. Laser Hybrid Welding in the Automotive Industry // Welding Journal. – 2007. – Oct. – P. 36 – 40.
10. Лопота А., Афанасьева А., Величко О., Технико-экономические аспекты внедрения технологии гибридной лазерно-дуговой сварки в отечественной промышленности // Сборник 6-й международной конференции «Лучевые технологии и применение лазеров», Россия, Санкт-Петербург – 2010. – С. 423-429.
11. G. Turichin, M. Kuznetsov, M. Sokolov, A. Salminen. Hybrid Laser Arc Welding of X80 Steel: Influence of Welding Speed and Preheating on the Microstructure and Mechanical Properties // 15th Nordic Laser Materials Processing Conference, Nolamp 15, 25-27 August 2015, Lappeenranta, Finland.
12. S. Gook, A. Gumenyuk, M. Rethmeier. Hybrid laser arc welding of X80 and X120 steel grade // Science and technology of welding & joining, 2014, January, Vol. 19, No.1, P. 15-24.
13. G. Li, Ch. Zhang, M. Gao, X. Zeng. Role of arc mode in laser-metal active gas arc hybrid welding of mild steel // Materials and Design, 2014, 61, P. 239-250.
14. G. Turichin, I. Tsubulskiy, M. Kuznetsov, A. Akhmetov, M. Mildebrath, T. Hassel. Influence of the Gap Width on the Geometry of the Welded Joint in Hybrid Laser-Arc Welding // 15th Nordic Laser Materials Processing Conference, Nolamp 15, 25-27 August 2015, Lappeenranta, Finland.
15. I. Tsubulskiy, M. Kuznetsov, A. Akhmetov. Effect of Welding Position and Gap between Samples on Hybrid Laser-Arc Welding Efficiency // Applied Mechanics and Materials, 2014, P.1-5.

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЯЕМОЙ СТАЛИ 25Х5ФМС¹

Н.А. Козырев, д.т.н., проф., Д.А. Титов, асп., Н.В. Кибко, ст. преп.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

Введение. В настоящее время для наплавки прокатных валков на обжимных (блюминг, слябинг), крупносортовых и рельсобалочных, средне- и мелкосортных, листопрокатных станах в России широко используется порошковая проволока ПП-Нп-25Х5ФМС по ГОСТ 26101-84 [1]. Однако наплавка с использованием данной проволоки сопровождается рядом недопустимых дефектов, таких как поры, раковины, макроскопические неметаллические включения, при этом наплавленный слой в ряде случаев характеризуется значительной анизотропией механических свойств, в частности твердости, и как следствие уменьшением эксплуатационной стойкости прокатных валков.

Ранее нами экспериментально было установлено, что углерод в составе углеродфторсодержащей добавки обладает повышенной активностью, раскисляет металл и восстанавливает оксиды, находящиеся в металле и шлаке с образованием оксидов углерода [2-9]. С учетом этого, в лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковой проволоки марки ПП-Нп-25Х5ФМС и проведена наплавка. В состав ряда образцов проволоки ввели никель, а взамен аморфного углерода использовали углеродфторсодержащую пыль (отходы металлургического производства), со следующим химическим составом, масс. %: $Al_2O_3 = 21-46$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4 - 6\%$; $CaO = 0,7-2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,5$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,10-0,18$.

Результаты и обсуждение. Химический состав наплавленного металла (таблица 1) определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС -71.

Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778-70. Полированную поверхность изучали при увеличении $\times 100$ с помощью металлографического микроскопа ЛабоМет-1И. Металлографическое исследование микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при различных увеличениях после травления в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли в соответствии с ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$.

Металлографический анализ и определение длины игл мартенсита проводили с использованием инвертированного металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700 в диапазоне увеличений $\times 500$ и $\times 1000$ после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Дисперсность мартенсита оценивали сопоставлением структуры с эталонами соответствующих шкал и размеров игл мартенсита с данными таблицы №6 ГОСТ 8233-56.

¹ –Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к. При испытании, исследовании, измерении было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов.

№ образца	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Co	S	P
1	0,14	0,39	1,88	3,05	0,10	0,10	0,005	0,13	1,04	0,014	0,009	0,017	0,038
2	0,09	0,29	1,62	2,95	0,10	0,10	0,003	0,10	0,95	0,011	0,009	0,028	0,034
3	0,09	0,28	1,63	3,23	0,50	0,10	0,003	0,17	1,08	0,011	0,009	0,023	0,030
4	0,09	0,33	1,74	3,15	0,56	0,10	0,002	0,12	1,06	0,011	0,009	0,028	0,032
5	0,08	0,35	1,70	2,99	0,81	0,10	0,002	0,11	1,07	0,007	0,009	0,029	0,036
Примечание: 1 – образец с добавлением графита аморфного; 2 – образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли, 3 – 5 – образцы с добавлением углеродфторсодержащей пыли и никеля.													

Измерение твердости исследуемых образцов выполняли по методу Роквелла и Викерса. Измерение твердости по Роквеллу осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. С целью изучения свойств отдельных участков микроструктуры стали, в частности мартенсита, использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требова-

ниями ГОСТ 9450-76. Исследования выполняли на цифровом микротвердомере модели *HVS-1000* с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца проводили 10 измерений микротвердости мартенсита, выполняемые следующим образом. В поверхность испытуемого образца под действием нагрузки 1 Н вдавливался наконечник в форме четырехгранной алмазной пирамиды. После снятия нагрузки число твердости определяли в соответствии с длинами диагоналей полученного отпечатка. Расчет числа твердости по Виккерсу, его отображение на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком были выполнены автоматически благодаря подключению CCD-камеры к компьютеру с платой видеозахвата и соответствующим программным обеспечением анализа изображений.

С целью определения скорости истирания наплавленного слоя опытных образцов провели испытания на износ на машине 2070 СМТ – 1. Для данной работы были выбраны следующие параметры: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А) – 75-750 мин⁻¹; диапазон измерения момента трения (диапазон I) – 1-10 Н·м.

В исследуемых образцах присутствуют оксиды точечные (балл 1 а и 2 а) и силикаты недеформирующиеся (балл 1б, 2 б и 3б). В образце №1 с использованием в качестве добавки аморфного графита присутствуют силикаты недеформирующиеся балл 2 б и 3 б и оксиды точечные балл 1 а (рисунок 1 а). В наплавленном слое с использованием порошковой проволоки с добавлением углеродфторсодержащего материала (образец №2) по всей поверхности наблюдаются оксиды точечные балл 1 а (рисунок 1б). В образце №3 установлено присутствие силикатов недеформирующихся балл 1 б и 2 б и оксидов точечных балл 1 а (рисунок 1 в). В результате исследования образца №4 обнаружены оксиды точечные балл 1а и 2 а (рисунок 1, г) и силикаты недеформирующиеся балл 2 б (рисунок 1, д). В образце №5 наблюдаются силикаты недеформирующиеся балл 1а и 1б и оксиды точечные балл 1 а (рисунок 1, е).

В целом, при введении в состав шихты углеродфторсодержащей добавки взамен аморфного графита снижается уровень загрязненности, особенно силикатов недеформирующихся, при незначительном присутствии оксидов точечных.

Металлографический анализ показал, что в структуре образца №1 с использованием в качестве добавки аморфного графита присутствует крупноигльчатый мартенсит (балл № 7) и небольшое количество остаточного аустенита (рисунок 2 а). Величина зерна по шкале зернистости соответствует в основном № 6, а в некоторых областях №7. Необходимо отметить присутствие ферритной сетки в структуре мартенсита и остаточного аустенита. Размер игл мартенсита составляет 3 – 12 мкм.

После введения в шихту углеродфторсодержащего материала (образец №2) взамен аморфного углерода структура металла представляет собой крупноигльчатый мартенсит (балл №7), небольшое количество остаточного аустенита в межосевом пространстве (рисунок 2 б). Размер игл мартенсита составляет 3 – 11 мкм. Величина зерна аустенита по шкале зернистости соответствует № 7.

В результате введения в состав проволоки никеля в количестве 0,50; 0,56 и 0,81% в структуре наблюдается крупноигльчатый (балл № 8, размер игл 2 – 16 мкм) и в некоторых областях структуры грубоигльчатый (балл № 10, размер игл 17 – 24 мкм) мартенсит, небольшое количество остаточного аустенита и ферритная сетка (рисунок 6, в, г и д, соответственно). Однако в данном случае мартенсит имеет вид не только темных, но и светлых игл различных размеров и форм с правильными границами и неправильными зубчатыми границами. По шкале зернистости все образцы с содержанием никеля имеют величину зерна № 6 и № 7. Необходимо отметить, что в структуре с добавлением 0,81% никеля присутствуют зерна с № 8

Введение в состав шихты углеродфторсодержащего материала вместо аморфного графита не оказывает влияние на дисперсность мартенсита, однако при этом обеспечивается отсутствие в структуре ферритной составляющей, что может, по-видимому, оказать положительное влияние на трещиностойкость стали. Одним из элементов способствующим измельчению зерна является никель. Измельчение зерна позволяет повысить прочность, пластичность и вязкость, при этом снижается порог хладноломкости и соответственно склонность к хрупкому разрушению [10].

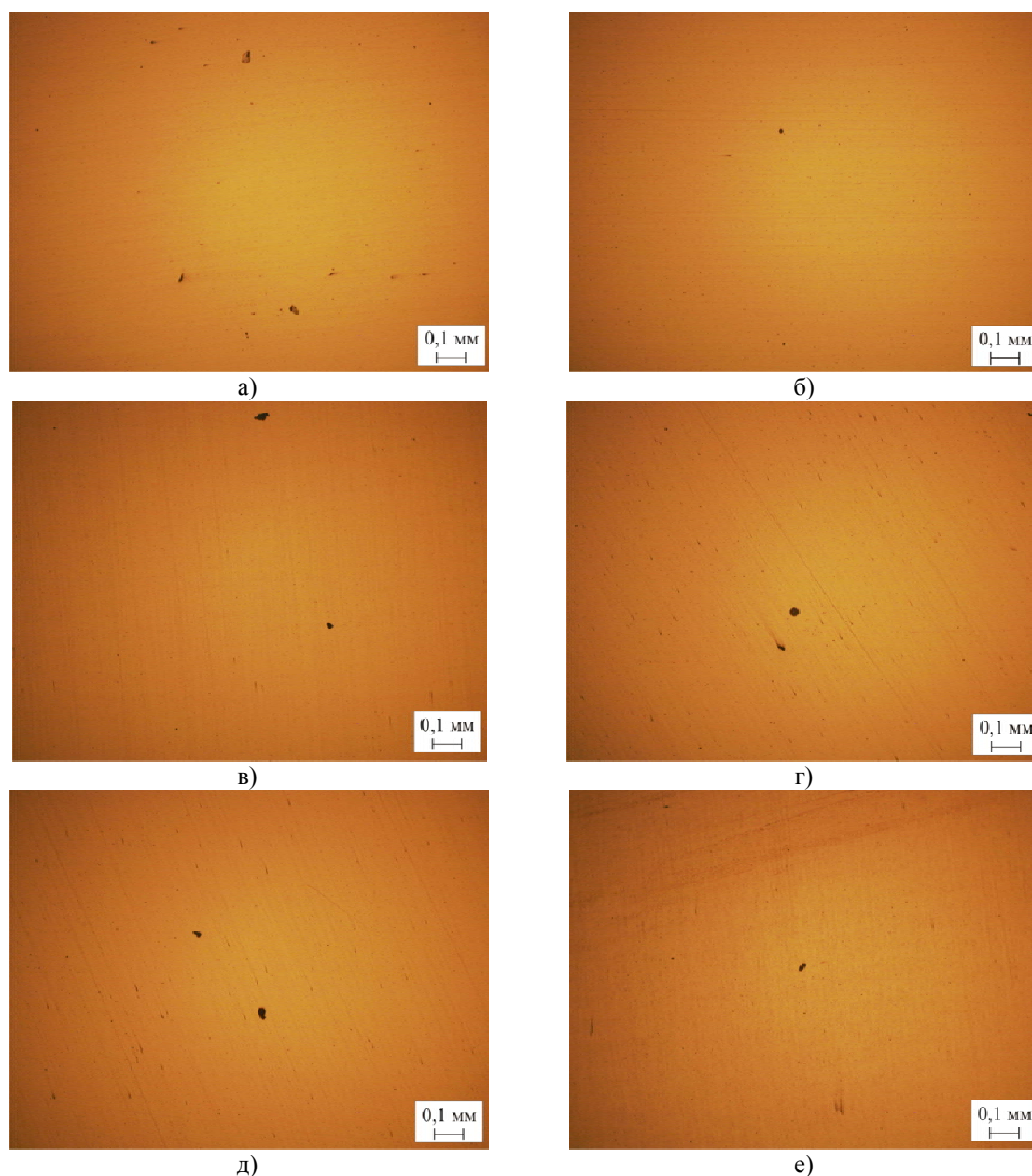


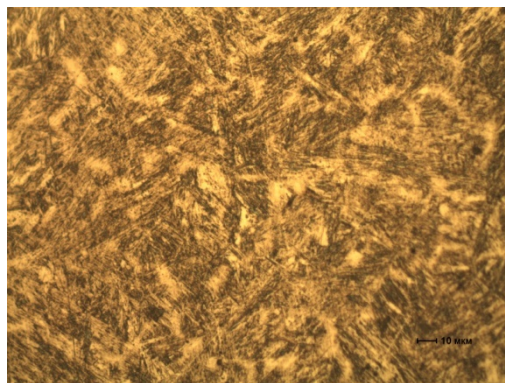
Рис. 1. Характер неметаллических включений в исследуемых образцах
а) образец №1; б) образец №2; в) образец №3; г), д) образец №4,
е) образец №5

Дополнительное введение в состав проволоки никеля в количестве 0,50%, 0,56% и 0,81% способствует укрупнению мартенситных игл и не обеспечивает устранение ферритной составляющей, что, по-видимому, может несколько повысить хрупкость стали. Использование 0,50% никеля в меньшей степени увеличивает размер игл мартенсита (до 13 мкм, а некоторых областях до 19 мкм) по сравнению с введением в состав проволоки 0,56 и 0,81% никеля (до 15 мкм, а в некоторых областях структуры до 25 мкм). В структуре всех изученных образцов присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды.

Металлографический анализ образца №1 показал, что его структура представляет собой крупноигльчатый мартенсит (балл № 7), небольшое количество остаточного аустенита и феррит в виде сетки. Размер игл мартенсита составляет 3 – 12 мкм. В структуре присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды размером 0,2–1,7 мкм. Микротвердость мартенсита составляет 385 HV, средняя

твердость наплавленного слоя – 45,4 HRC, скорость истирания - 0,00059 г/мин (таблица 3). Фотографии с отпечатком индентора при определении микротвердости приведены на рисунке 3.

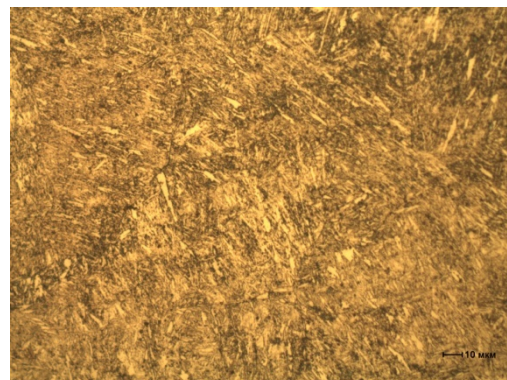
Введение в состав шихты углеродфторсодержащего материала (образец №2) взамен аморфного углерода способствует устранению в структуре ферритной составляющей, охрупчивающей сталь, и незначительно снижает скорость истирания наплавленного слоя. При этом практически не оказывает влияние на размер игл мартенсита и его микротвердость, а также на твердость наплавленного слоя (таблица 3).



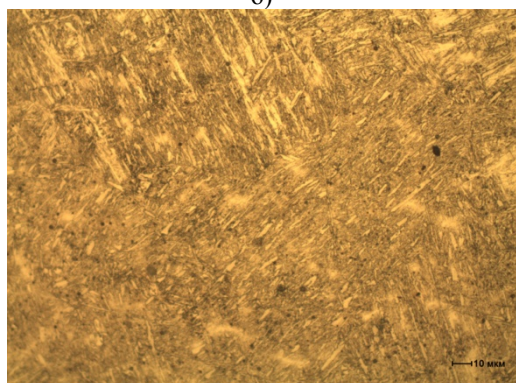
а)



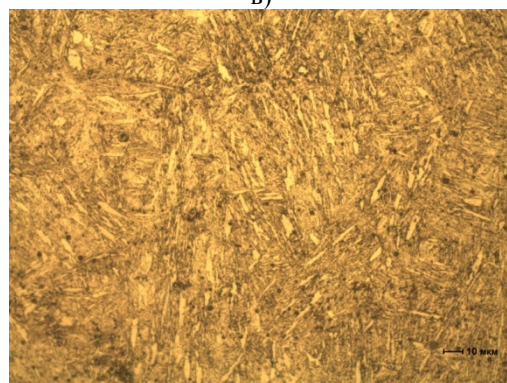
б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Микроструктура исследуемых образцов, $\times 500$
а) образец №1, б) образец №2, в) образец №3, г) образец №4, д) образец №5

Добавление в состав проволоки никеля не обеспечивает устранение в структуре ферритной составляющей и способствует укрупнению игл мартенсита. В структуре образцов №3, 4 и 5 присутствует крупноигльчатый (балл №8) и в некоторых областях грубоигльчатый (балл №10) мартенсит, имеющий вид не только темных, но и светлых игл с правильными и неправильными зубчатыми границами, небольшое количество остаточного аустенита, ферритная сетка и точечные мелкодисперсные карбиды размером 0,3 – 16 мкм. Дополнительное введение 0,50% никеля в меньшей степени увеличивает размер игл мартенсита (на 42%) по сравнению с использованием 0,56 и 0,81% никеля

(на 56 и 54% соответственно). Размер игл мартенсита в структуре образцов №3, 4 и 5 приведен в таблице 3. Дополнительное введение в состав проволоки никеля повышает микротвердость мартенсита. Причем в большей степени увеличивает его микротвердость использование никеля в количестве 0,81% (с 385 до 483 HV). Введение в состав проволоки 0,50 и 0,56% никеля увеличивает микротвердость с 385 до 402 и 476 HV соответственно. Введение в состав шихты никеля в количестве 0,81% повышает твердость наплавленного слоя (таблица 3).

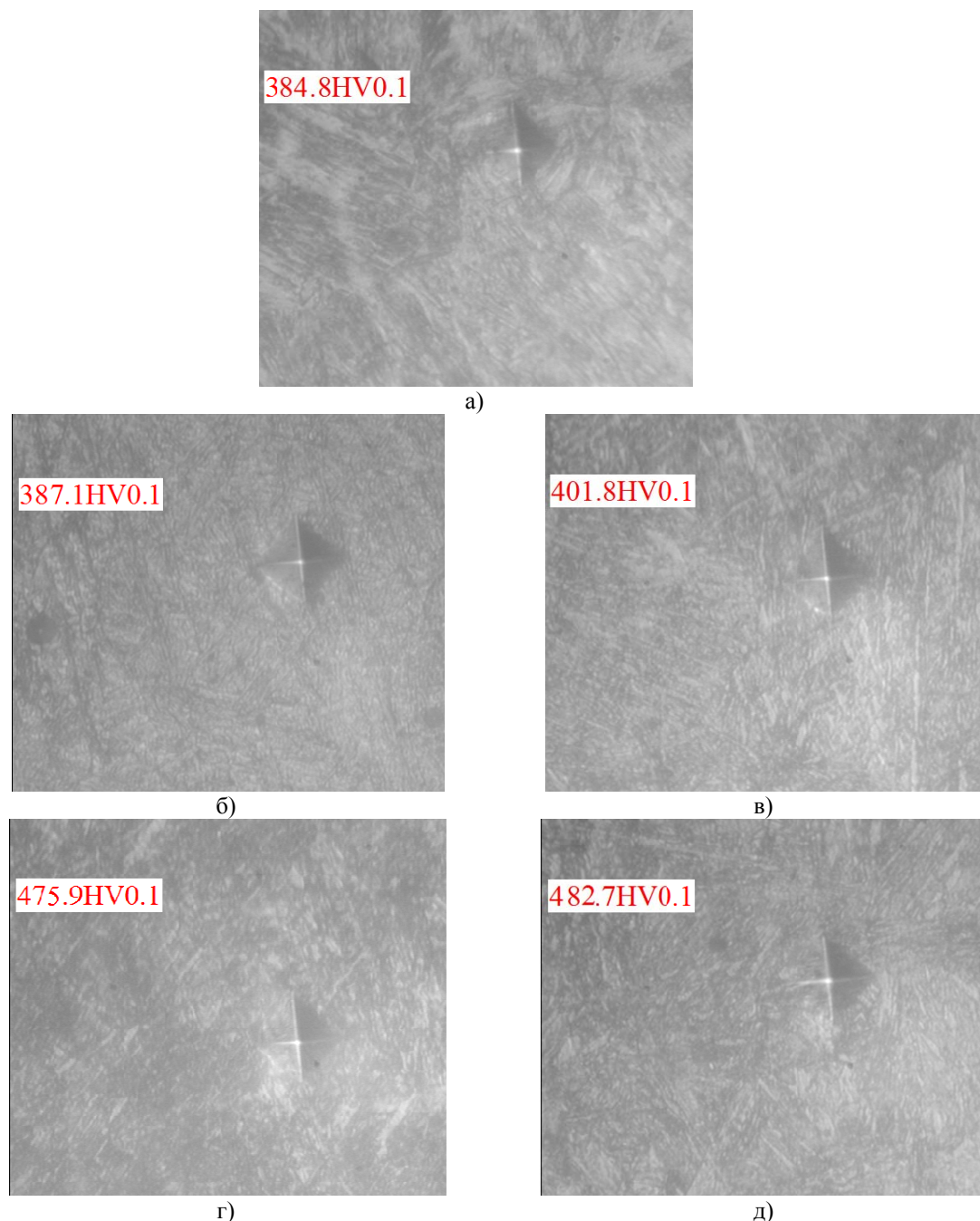


Рис. 3. Микротвердость мартенсита в структуре исследуемых

- а) образец с добавлением графита аморфного;
- б) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли,
- в) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,50% никеля,
- г) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,56% никеля,
- д) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,81% никеля образцов, $\times 400$

Таблица 3

Влияние никеля на дисперсность и микротвердость мартенсита
в структуре стали 25Х5ФМС, твердость и скорость истирания наплавленного слоя

№ образ-ца	Размер игл мартенсита, мкм	μ_n , HV	HRC среднее минимальное/максимальное	Скорость истирания, г/мин
1	3-12	385	$\frac{45,4}{45,2/46,0}$	0,00059
2	3-11	387	$\frac{45}{45,0/45,5}$	0,00055
3	2-15 (в некоторых областях 17-19)	402	$\frac{45,7}{45,0/46,5}$	0,00053
4	2-15 (в некоторых областях 16-25)	476	$\frac{45,5}{45,2/45,8}$	0,00057
5	3-15 (в некоторых областях 17-24)	483	$\frac{46,1}{45,2/47,5}$	0,00053
Примечание: 1 – образец с добавлением графита аморфного; 2 – образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли, 3 – образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,50% никеля, 4 – образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,56% никеля, 5 - образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,81% никеля				

Использование углеродфторсодержащей добавки отдельно и совместно с никелем взамен углерода аморфного снижает абразивный износ наплавленного слоя. В большей степени скорость истирания уменьшается при введении углеродфторсодержащего материала совместно с 0,50 и 0,81% никеля.

На основании результатов исследований разработана новая порошковая проволока, состав которой защищен патентом РФ [11].

Выводы.

1. Введение в состав проволоки углеродфторсодержащего материала взамен аморфного углерода способствует улучшению структуры наплавленной стали 25Х5ФМС за счет отсутствия ферритной составляющей, что может оказывать положительное влияние на ее трещиностойкость, при этом оставляя на том же уровне дисперсность и микротвердость мартенсита, а также твердость наплавленного слоя. Использование углеродфторсодержащего материала отдельно и совместно с никелем снижает скорость истирания наплавленного слоя.
2. Введение в состав изучаемой проволоки углеродфторсодержащей добавки обеспечивает снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями, а введение никеля приводит к улучшению структуры, в том числе к измельчению зерна аустенита, что, по-видимому может повысить термическую стойкость прокатных валков.
3. Дополнительное введение в состав шихты никеля повышает микротвердость мартенсита и твердость наплавленного слоя. Наибольший эффект улучшения свойств наблюдается при использовании 0,81% никеля.

Литература.

1. Кондратьев И.А., Рябцев И.А., Кусков Ю.М. Дуговая и электрошлаковая наплавка валков прокатных станов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. - № 4. – С. 14-17.
2. Effect of carbon- and fluorine-containing additions in the composition of fluxes on the content of nonmetallic inclusions and properties of welded joints / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, Z.V. Gol-dun, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 12, p. 963 – 965.
3. New carbon-fluorine containing additive for the welding fluxes/ N.A. Kozyrev, R. E. Krukov, D.E. Kolmogorov// Mechanics and materials vol.682(2014) - P. 495-498.
4. New carbon-fluorine additives for welding fluxes/ N.A. Kozyrev, N.E. Krukov, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, L.P. Bashchenko, U.I. Lipatova/ Steel in Translation.-2015. -Т. 45. -№ 4. - P. 251-253.
5. Arc welding of vertical oil tanks at low temperatures / N.E. Krukov, I.N. Kovalsky, N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 7, p. 534 – 536.

6. Development of additions to welding fluxes in welding of low-alloy steels / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2014. – Vol. 28. – № 5, p. 403 – 405.
7. New tendencies in development of carbonaceous additives for welding fluxes// N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, O.A. Kozyreva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012008: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012008.
8. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012016.
9. Possibilities of Application of Carbon-Fluorine Containing Additions in Submerged-Arc Welding/ N.A. Kozyrev, N.E. Kryukov, R.E. Kryukov, V.F. Igushev, I.I. Kovalskii// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012018: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012018.
10. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.Н. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Альянс, 2013. – 528 с.
11. Пат. 2518035 РФ, МПК⁸ B23 K35/368 Порошковая проволока/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет.- №2013128792/02 (042890), Заявл. 24.06.2013.

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ 35В9ХЗСФ ВАЛИКА¹

Н.А. Козырев, д.т.н., проф., Д.А. Титов, асп., Н.В. Кибко, ст.преп.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

Введение. Для наплавки валков горячей прокатки и роликов транспортирующих рольгангов в настоящее время широко используется порошковая проволока марки ПП-Нп-35В9ХЗСФ по ГОСТ 26101-84. Однако наплавка с использованием данной проволоки сопровождается рядом недопустимых дефектов – пор, раковин, макроскопических неметаллических включений, кроме того, в ряде случаев наблюдается снижение твердости и как следствие уменьшение эксплуатационной стойкости валков[1].

Широко известно, что в состав порошковых проволок для снижения порообразования за счет снижения концентрации водорода вводится кремнефтористый натрий [1], для защиты от атмосферных газов вводят газо- и шлакообразующие вещества, а для устойчивого горения дуги вводятся элементы с низким потенциалом ионизации [2].

Результаты и обсуждение. В лабораторных условиях были изготовлены образцы порошковых проволок с введением взамен аморфного графита углеродфторсодержащей пыли (отходы металлургического производства), со следующим химическим составом: масс. %: Al_2O_3 =21-46; F =18-27; Na_2O = 8-15; K_2O =0,4 – 6%; CaO =0,7- 2,3; SiO_2 =0,5-2,5; Fe_2O_3 =2,1-3,3; $C_{общ}$ =12,5-30,2; MnO =0,07-0,9; MgO =0,06-0,9; S=0,09-0,19; P=0,10-0,18. Ранее нами экспериментально было установлено, что углерод в составе углеродфторсодержащей добавки обладает повышенной активностью, раскисляет металл и восстанавливает оксиды, находящиеся в металле и шлаке с образованием оксидов углерода [3-12]. Данная работа является дополнением ранее проведенных работ [13,14]. Для изготовления шихты порошковой проволоки использовали углерод аморфный ГОСТ 5420-74, порошки углеродистого ферромарганца ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, ферросилиция марки ФС 75 по ГОСТ1415-93, высокоуглеродистого феррохрома марки ФХ900А по ГОСТ 4757-91, феррованадия марки ФВ50У0,6 по ГОСТ 27130-94, никеля марки ПНК-2К9 по ГОСТ 9722-97, железа марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86. Наплавку проводили под флюсом марки АН-26С по ГОСТ Р 52222-2004.

Для определения химического состава наплавленного металла использовали рентгенофлуоресцентный спектрометр XRF-1800 и атомно-эмиссионный спектрометр ДФС -71. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений проводили по ГОСТ 1778-70. С помощью металлографического микроскопа ЛабоМет-1И изучали полированную поверхность при увеличении $\times 100$. Металлографические исследования осуществляли на оптическом микроскопе OLYMPUS GX-51 в светлом поле при различных увеличениях после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли согласно ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$. Балл мартенсита оценивали при сопоставлении структуры с эталонами

соответствующих шкал и размеров игл мартенсита с данными таблицы №6 ГОСТа 8233-56. При определении длины игл мартенсита и размера пор использовали пакет прикладных программ для металлографических исследований Siam's Photolab 700.

¹ –Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к. При испытании, исследовании, измерении было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» ФГБОУ ВПО «СибГИУ»

Таблица 1

Химический состав образцов 35B9X3CF

№ образца	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Co	S	P
1	0,14	0,45	1,69	2,60	0,08	0,02	0,005	8,84	0,36	0,01	0,019	0,11	0,028	0,022
2	0,14	0,51	1,73	2,09	0,08	0,11	0,005	7,66	0,14	0,01	0,012	0,11	0,029	0,021
3	0,13	0,45	1,74	2,18	0,38	0,09	0,005	8,11	0,09	0,01	0,008	0,11	0,034	0,019
4	0,13	0,49	1,68	2,27	0,46	0,09	0,004	8,21	0,13	0,01	0,005	0,11	0,034	0,023
5	0,13	0,60	1,54	2,66	0,58	0,09	0,005	7,58	0,15	0,02	0,044	0,11	0,040	0,020

1 - образец с добавлением углерода аморфного, 2 - образец с добавлением углеродфторсодержащего материала, 3,4, 5 – образцы с добавлением углеродфторсодержащего материала и никеля

Исследование показало, что в образцах преимущественно наблюдаются оксиды точечные балл 1 а (рисунок 1 а, в, г, д) и балл 2 а (рисунок 1 а, д), представляющие собой включения в виде отдельных частиц. Практически во всех исследуемых образцах присутствуют силикаты недеформирующиеся в виде единичных округлых и неправильной формы включений балла 1 а (рисунок 1 б), 2а (рисунок е) и 2 б (рисунок д, е).

В образце №1 с использованием в качестве добавки аморфного графита наблюдаются оксиды точечные балл 2 а и 1 а (рисунок 1, а) и силикаты недеформирующиеся балл 1 а (рисунок 1, б). В образце с добавлением углеродфторсодержащего материала (образец №2) наблюдаются оксиды точечные балл 1 а (рисунок 1 в). При изучении образца №3 установлено наличие оксидов точечных балл 1 а (рисунок 1 г). В образце №4 присутствуют оксиды точечные балл 1 а и 2 а и незначительное количество силикатов недеформирующихся балл 2 б (рисунок 1 д). В образце №5 наблюдаются силикаты недеформирующиеся балл 2 а и 2 б (рисунок 1 е).

Таким образом, установлено, что введение в состав шихты углеродфторсодержащего материала взамен аморфного графита снижает уровень загрязненности стали неметаллическими включениями. Причем присутствуют только оксиды точечные, а силикаты недеформирующиеся не наблюдаются. В структуре всех изученных образцов присутствуют точечные мелкодисперсные карбиды.

Металлографический анализ показал, что структура образца №1 с использованием в качестве добавки аморфного графита представляет собой грубоигольчатый мартенсит (балл № 10) и остаточный аустенит, присутствующий в небольшом количестве (рисунок 2 а). Величина зерна по шкале зернистости соответствует №6 и №7. В данном случае по всей поверхности шлифа наблюдается пористость. Размер пор составляет 640 – 1077 мкм.

После введения в шихту углеродфторсодержащего материала (образец №2) вместо аморфного углерода в структуре кроме крупноигольчатого мартенсита (балл № 10) и небольшого количества остаточного аустенита присутствует феррит в виде отдельной структурной составляющей и в некоторых областях в виде сетки (рисунок 2 б). Величина зерна по шкале зернистости соответствует № 5 и № 4. В данном случае наблюдается снижение пористости.

В результате введения в состав шихты 0,38% никеля (образец № 3) в структуре также наблюдается грубоигольчатый мартенсит (балл № 10), остаточный аустенит и ферритная составляющая (рисунок 2 в). Размер зерен аустенита по шкале зернистости соответствует № 5, 6 и 7. Использование углеродфторсодержащей добавки и 0,38% никеля не приводит к порообразованию.

Введение в состав шихты углеродфторсодержащей добавки и 0,46% никеля (образец №4) также приводит к получению структуры, состоящей из крупноигольчатого мартенсита (балл №10), феррита в виде отдельной структурной составляющей (рисунок 2 г) и небольшого количества остаточного аустенита (рисунок 2 г, д). Размер зерен по шкале зернистости соответствует № 5 и №6, пор не наблюдается.

При добавлении в шихту большего количества никеля 0,58% (образец №10) в структуре отсутствует ферритная составляющая. Структура состоит из крупноигольчатого мартенсита (балл № 10) и небольшого количества остаточного аустенита с зернистостью №6 и №7 (рисунок 2 е). Мартенсит

имеет более дисперсное строение по сравнению с остальными исследуемыми образцами, размер игл мартенсита составляет 7 – 42 мкм. В данном случае наблюдается снижение пористости.

Таким образом, установлено, что при использовании углеродфторсодержащей добавки отдельно и совместно с 0,38 и 0,46% никеля вместо аморфного графита в структуре кроме крупно-игльчатого мартенсита и остаточного аустенита наблюдается феррит в основном в виде отдельной структурной составляющей. Получению структуры без ферритной составляющей способствует введение в состав проволоки углеродфторсодержащей добавки и большего количества никеля (0,58%). Следует отметить, что введение в состав проволоки углеродфторсодержащего материала без дополнительной добавки никеля увеличивает размер зерна аустенита. Использование углеродфторсодержащей добавки отдельно и совместно с никелем в количестве 0,38; 0,46 и 0,58% обеспечивает снижение пористости в наплавке из стали 35В9Х3СФ.

Определение твердости выполняли по методу Роквелла и Виккерса. Измерение твердости по Роквеллу осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. При изучении свойств мартенсита, использовали метод определения микротвердости структурных составляющих в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76. Определение микротвердости выполняли на цифровом микротвердомере модели *HVS-1000* с автоматической поворотной головкой и цифровым отображением данных. Для каждого образца осуществляли 10 измерений микротвердости мартенсита.

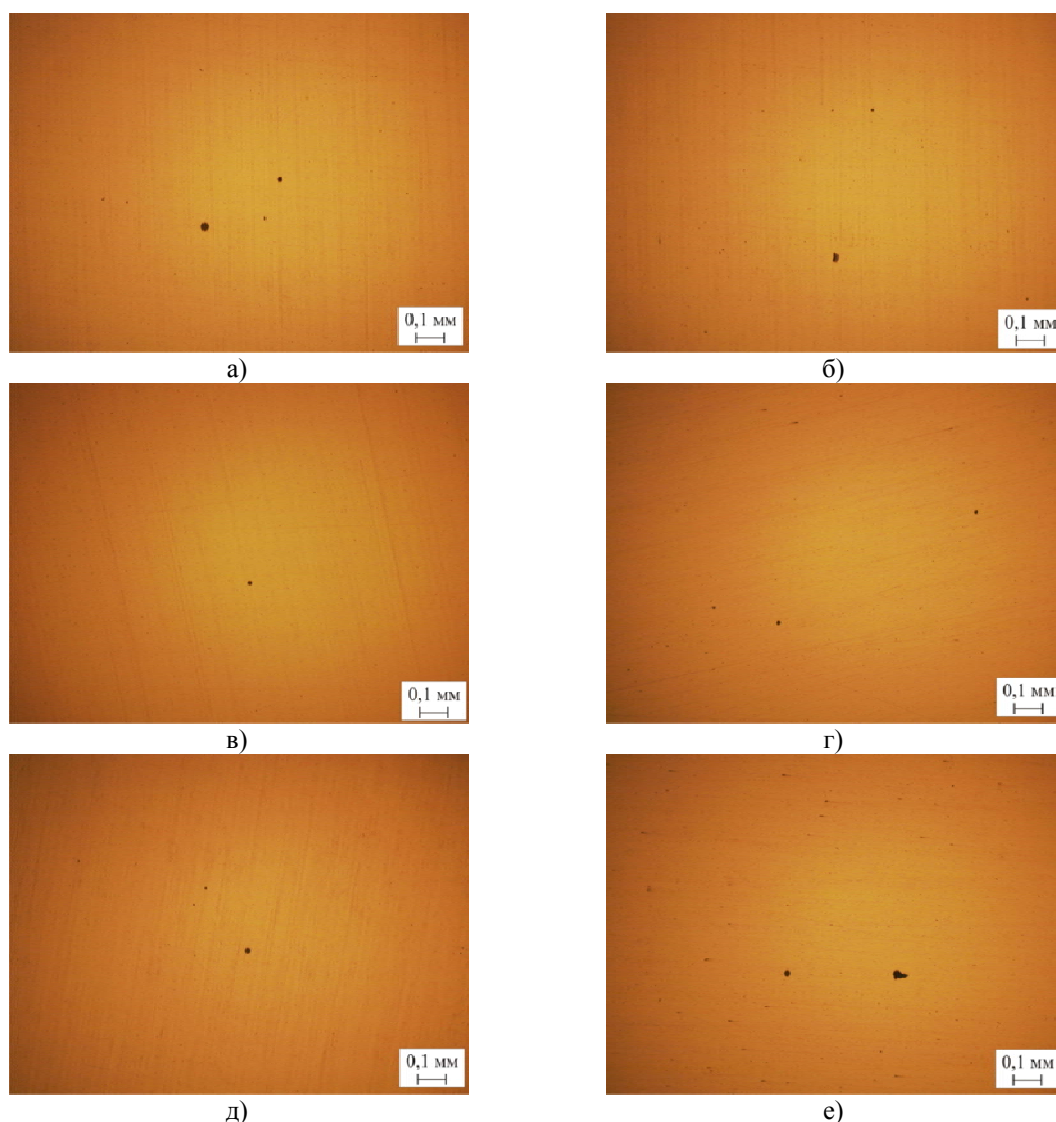


Рис. 1. Характер неметаллических включений в исследуемых образцах
а), б) образец №1; в) образец №2; г) образец №3; д) образец №4, е) образец №5

Металлографический шлиф, предварительно протравленный для выявления структуры, исследовался под микроскопом, выбиралось место для исследования, к этому месту подводился алмазный индентор, прикладывалась нагрузка 1 Н, после чего нагрузка снималась, шлиф возвращался в поле зрения объектива микроскопа и проводилось измерение отпечатка. Расчет числа твердости по Виккерсу, его отображение на экране компьютера и сохранение изображения с отпечатком выполнялись автоматически, что обеспечивало подключение к компьютеру CCD-камеры с платой видеозахвата и соответствующее программное обеспечение анализа изображений.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытания на износ на машине 2070 СМТ – 1. При этом были выбраны следующие параметры: диапазон измерения частоты вращения вала нижнего образца (диапазон А), который равен $75 - 750 \text{ мин}^{-1}$; диапазон измерения момента трения (диапазон I), который равен $1 - 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

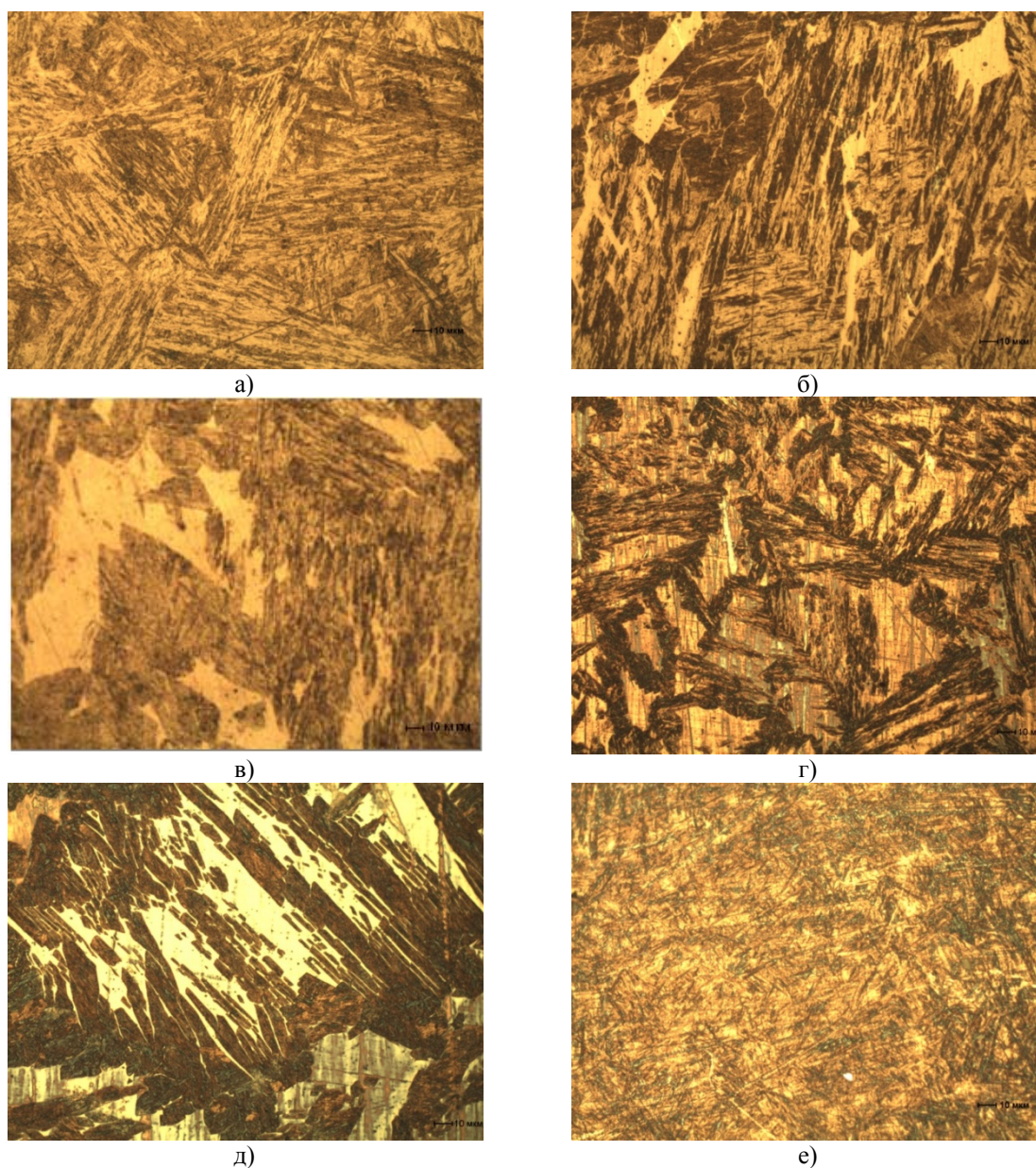


Рис. 2. Микроструктуры исследуемых образцов, $\times 500$
а) образец №1, б) образец №2, в) образец № 3, г) образец №4, е) образец № 5

Металлографические исследования образца №1 с использованием в качестве добавки аморфного графита показали, что в его структуре присутствует грубоигольчатый мартенсит (балл № 10) и

небольшое количество остаточного аустенита. Микротвердость мартенсита составляет 471 HV. Фотографии с отпечатком индентора при определении микротвердости приведены на рисунке 3.

Среднее значение твердости наплавленного слоя соответствует 45,5HRC, а скорость его истирания составляет 0,00088 г/мин.

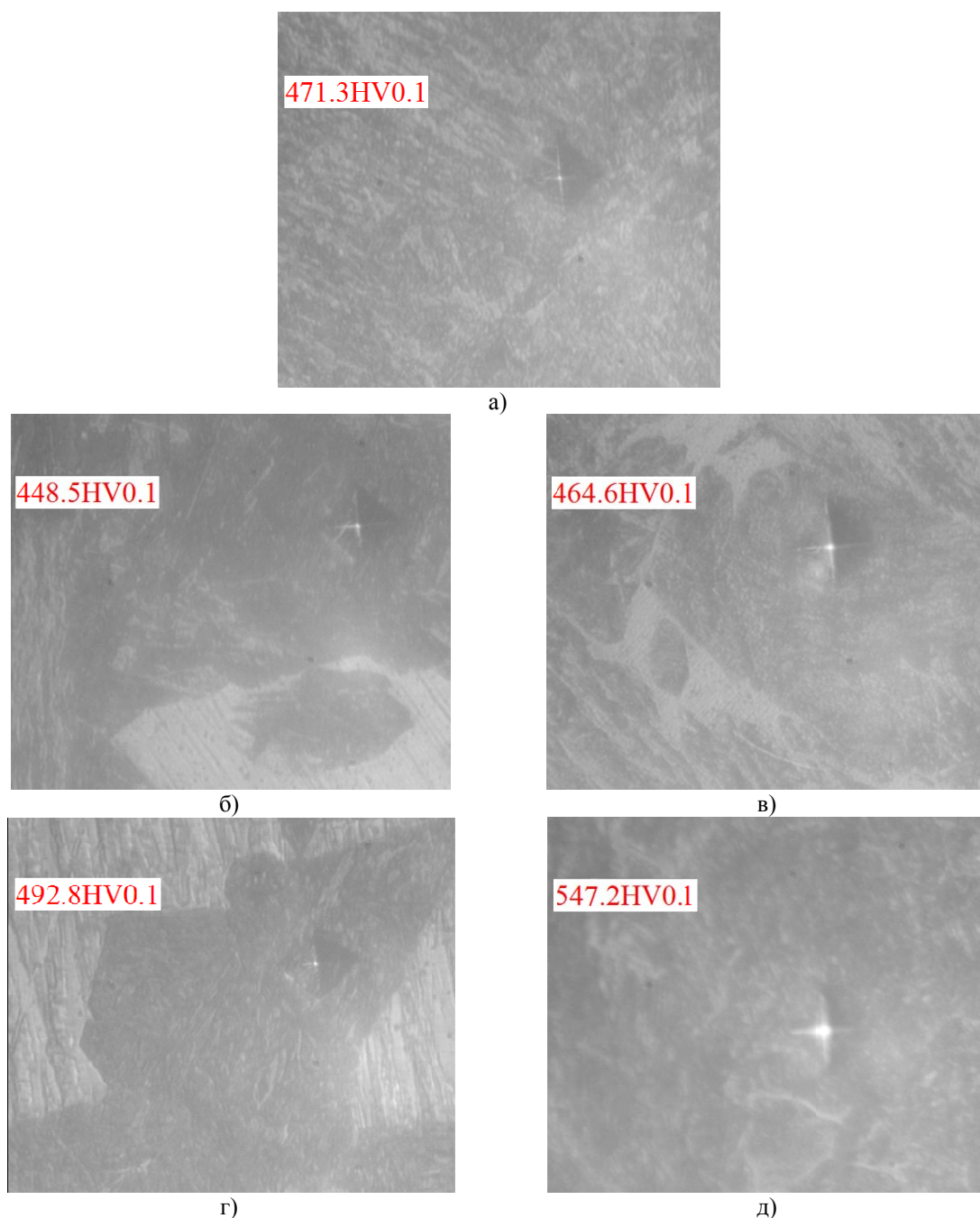


Рис. 3. Микротвердость мартенсита в структуре исследуемых образцов

- а) образец с добавлением графита аморфного;
- б) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли,
- в) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,38% никеля,
- г) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,46% никеля,
- д) образец с добавлением углеродфторсодержащей пыли и 0,58% никеля

Добавление в шихту углеродфосфорсодержащего материала (образец №2) взамен аморфного углерода способствует появлению в структуре помимо крупноигльчатого мартенсита (балл № 10) и небольшого количества остаточного аустенита феррита в виде отдельной структурной составляющей и в некоторых областях в виде сетки. Использование углеродфосфорсодержащей добавки приводит к снижению микротвердости мартенсита на 5% по сравнению с образцом №1 (таблица 2). Однако при этом незначительно повышается твердость наплавленного слоя и снижается скорость его истирания.

Таблица 2

Микротвердость мартенсита в структуре исследуемых образцов,
твердость и скорость истирания наплавленного слоя.

№ образца	μ_n , HV	HRC <u>среднее</u> минимальное/максимальное	Скорость истирания, г/мин
1	471	$\frac{45,5}{45,2/46,0}$	0,00088
2	449	$\frac{46}{45,2/47,0}$	0,00052
3	464	$\frac{45,5}{45,2/47,0}$	0,00052
4	493	$\frac{47,2}{45,0/49,0}$	0,00065
5	547	$\frac{48,0}{46,5/50,0}$	0,00068

При дополнительном введении в состав проволоки 0,38 и 0,46% никеля (образец №3 и 4) в структуре также кроме грубоигльчатого мартенсита (балл №10) и небольшого количества остаточного аустенита присутствует ферритная составляющая. Введение в состав проволоки большего количества никеля 0,58% (образец №5) обеспечивает получение структуры без феррита, состоящей из грубоигльчатого мартенсита (балл №10) и остаточного аустенита, и измельчение мартенситных игл. В структуре образца №5 мартенсит имеет более дисперсное строение (размер игл мартенсита 7 – 42 мкм) по сравнению с остальными исследуемыми образцами, измерение размера игл мартенсита в структуре которых не представляется возможным. К тому же использование 0,58% никеля по сравнению с образцом №2 повышает микротвердость мартенсита на 22% и твердость наплавленного слоя на 4%. Дополнительное введение никеля в количестве 0,46 и 0,38% в меньшей степени повышает микротвердость мартенсита (на 19 и 3% соответственно). Использование 0,46 % никеля повышает твердость наплавленного слоя на 2% по сравнению с образцом №2. Введение взамен углерода аморфного углеродфосфорсодержащей добавки отдельно и совместно с никелем уменьшает скорость истирания наплавленного слоя.

Описанные исследования легли в основу создания порошковой проволоки для наплавки, химический состав которой защищен патентом РФ [15].

Выводы:

1. Введение в состав проволоки типа 35B9X3CF никеля и углеродфторсодержащей добавки взамен графита аморфного повышает твердость наплавленного слоя и уменьшает скорость его истирания.
2. Введение в шихту никеля обеспечивает улучшение структуры вследствие удаления ферритной составляющей и измельчения мартенсита, что сопровождается значительным повышением микротвердости и незначительно твердости наплавленного слоя.
3. Результаты исследования легли в основу новой порошковой проволоки для наплавки стали.

Литература.

1. Технология механизированной наплавки / И.И. Фрумин, Ю.А. Юзвенко, Е.И. Лейначук. - М.: Высшая школа, 1964. - 306с.
2. Теория сварочных процессов / Коновалов А.В., Куркин А.С., Макаров Э.Л., Неровный В.М., Якушин Б.Ф. - М.: изд МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 752с.

3. Исследование и разработка новых углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов /Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В., Башенко Л.П., Липатова У.И.//Известия вузов. Черная металлургия. -2015.- Том 58. -№ 4. -С. 258 – 261.
4. Технологические аспекты использования углеродфторсодержащей добавки при сварке под флюсом /Козырев Н. А., Крюков Н. Е., Крюков Р. Е., Игушев В. Ф., Ковальский И. Н.//Сварочное производство. – 2015. – № 4. – С. 43-47.
5. New carbon-fluorine additives for welding fluxes/ N.A. Kozyrev, N.E. Krukov, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, L.P. Bashchenko, U.I. Lipatova/ Steel in Translation.-2015. -Т. 45. -№ 4. - P. 251-253.
6. New carbon-fluorine containing additive for the welding fluxes/ N.A. Kozyrev, R. E. Krukov, D.E. Kolmogorov// Applied Mechanics and materials.vol.682(2014) - P. 495-498.
7. Arc welding of vertical oil tanks at low temperatures / N.E. Krukov, I.N. Kovalsky, N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 7, p. 534 – 536.
8. Effect of carbon- and fluorine-containing additions in the composition of fluxes on the content of nonmetallic inclusions and properties of welded joints / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, Z.V. Guldun, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 12, p. 963 – 965.
9. Development of additions to welding fluxes in welding of low-alloy steels / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2014. – Vol. 28. - № 5, p. 403 – 405.
10. New tendencies in development of carbonaceous additives for welding fluxes// N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, O.A. Kozyreva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012008: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012008.
11. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012016.
12. Possibilities of Application of Carbon-Fluorine Containing Additions in Submerged-Arc Welding/ N.A. Kozyrev, N.E. Kryukov, R.E. Kryukov, V.F. Igushev, I.I. Kovalskii// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012018: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012018.
13. Surfacing with tungsten-containing ores / N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, D.V. Valuev, V.M. Shurupov, O.E. Kozyreva// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012009: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012009.
14. Development of new materials and technologies for welding and surfacing at research and production center “Welding processes and technologies”/ N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, G.V. Galevsky, D.A. Titov, V.M. Shurupov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012013: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012013.
15. Пат. 2518211 РФ, МПК⁸ В23 К35/368 Порошковая проволока/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е., Старовацкая С.Н.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет.- №2013121468/02 (031580), Заявл. 07.05.2013

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА ¹

*Н.А. Козырев, д.т.н., проф., Р.Е. Крюков, асп., О.Е. Козырева, инж., У.И. Липатова, магистрант,
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru*

В настоящее время возросло внимание к вопросу разработки новых флюсов и добавок к ним и исследование влияния химического состава на механические свойства сварного шва, а также на содержание кислорода и неметаллических включений в сварном шве [1- 9].

Сегодня в РФ для сварки и наплавки низколегированных сталей широко применяются плавильные флюсы производства Украины типа АН-348 [10,11].

Следует отметить, что такие флюсы являются окислительными и построены на принципах кремне-марганцево-окислительно-восстановительных процессах, в связи с чем продуктами данных реакций являются оксидные соединения кремния и марганца. В итоге при проведении сварки под такими флюсами повышается загрязненность металла сварного шва неметаллическими включениями и, как следствие, снижается комплекс физико-механических свойств. Для исключения загрязнения металла шва и повышения механических свойств нами предложено использование углеродфторсодержащей добавки марки ФД-УФС [6-9], позволяющей проводить раскисление сварного шва углеродом и значительно снизить уровень загрязненности неметаллическими оксидными включениями.

Еще одним существенным недостатком плавящихся флюсов является их высокая стоимость в связи с использованием дорогостоящих природных материалов и затрат, связанных с подготовкой шихты к плавке и выплавкой флюса в специальных плавильных агрегатах.

Одним из направлений уменьшения стоимости сварочных флюсов является применения при изготовлении отходов металлургических производств, в частности шлака производства силикомарганца. Анализ литературных данных показывает, что при производстве сплавов силикомарганца образуются отвалы шлаки, с содержанием в целом соответствующим требованиям по химическому составу сварочным флюсам. Так, по данным работы [12] шлак содержит: 14–16% MnO; 45–60% SiO₂; 7–8% Al₂O₃; 12–15% CaO; 3–4% MgO при соотношении CaO/SiO₂=0,52–0,58. По данным [13]: 47–49% SiO₂; 18–20% MnO; 12,2–14% CaO; 7–8% Al₂O₃; 2,9–3,1% MgO. По материалам [14]: 6,2–8,5% MnO; 45–47% SiO₂; 18–23% CaO; 9,2–11,6% Al₂O₃; 7,6–12,1% MgO; 0,3–0,7% FeO; ≤3% C. В работе [15]: 47–49% SiO₂; 18–20% MnO; 12,5–14% CaO; 7–8% Al₂O₃; 2,9–3,1% MgO. В работе [16]: 3,2–4,5% MnO; 43–47% SiO₂; 22–30% CaO; 12–16% Al₂O₃; 6–10% MgO; 0,3–0,7% FeO; ≈3,5% C. Необходимо также отметить, что при углетермическом способе производства силикомарганца в шлак может переходить до 20,3% марганца, содержащегося в шихтовых материалах [16].

Исходя из данных предпосылок, рассмотрена возможность применения шлака производства силикомарганца для изготовления флюса для сварки и наплавки низколегированных сталей.

При изготовлении флюса для сварки использовали шлак производства силикомарганца, выплавленный в рудотермических печах углетермическим способом непрерывным процессом, с химическим составом, приведенным в таблице 1. Выплавка данного продукта осуществлялась по классической схеме. Шихта состояла из марганцевой руды, кварцита, железной стружки и коксика. Выпуск ферросплава (силикомарганца) осуществляли вместе со шлаком в ковш. После разлива силикомарганца шлак при сливе из ковша подвергался охлаждению.

Таблица 1

Химический состав шлака производства силикомарганца

Материал	Массовая доля, %											
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	F	CaF ₂	Na ₂ O	K ₂ O	S	P
Шлак силикомарганца	10,61	18,62	50,55	1,55	8,03	9,63	0,38	-	0,41	0,61	0,13	0,05
АН-348 (ГОСТ 9087-81)	≤6	≤12	40-44	0,5-2,0	≤7	31-38	-	3-6	-	-	≤0,12	≤0,12

В лабораторных условиях изготовление флюса проводили путем дробления, грохочения и отсева на фракции. При этом определяли оптимальные фракции и их соотношение. Сварку под флюсом производили на образцах из листовой стали марки 09Г2С проволокой Св-08ГА с использованием сварочного трактора ASAW-1250. Из сваренных пластин осуществляли вырезку образцов для микро- и макро- анализа, механических испытаний (временного сопротивления - б_в, МПа, предела текучести - б_т, МПа; относительного удлинения δ, %; ударной вязкости KCV при температуре минус 20 °С, Дж/см²).

При исследовании использовались фракции: менее 0,45 мм; 0,45–2,5 мм; 2,5–5 мм; 5–10 мм. Сварку проводили на режиме I_{св} = 700 А; U_д = 30 В; V_{св} = 35 м/ч, наплавку на режиме I_{св} = 410 А; U_д = 27 В; V_{св} = 30 м/ч. В результате экспериментов определено, что 2,5–5 мм; 5–10 мм не обеспечивают получение качественной поверхности сварного шва (высокая пористость сварного шва и шлаковые включения), фракция менее 0,45 мм связана с получением некоторой «рябизной» поверхности, оптимальной является фракция 0,45–2,5 мм (рис. 1-4).



Рис. 1. Качество поверхности сварного шва при сварке с использованием фракции 0,45–2,5 мм



Рис. 2. Качество поверхности сварного шва при сварке с использованием фракции 2,5 – 5 мм



Рис. 3. Качество поверхности сварного шва при сварке с использованием фракции 5 – 10 мм



Рис. 4. Качество поверхности сварного шва при сварке с использованием фракции менее 0,45 мм

Химический состав шлаковой корки, образовавшейся после сварки под шлаком силикомарганца, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав шлаковой корки										
Массовая доля, %										
Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	F	Na ₂ O	K ₂ O	S	P
10,01	18,02	47,7	2,83	7,09	9,42	0,34	0,39	0,61	0,12	0,02

Сравнительная оценка механических свойств флюса с широко применяемым флюсом АН-348 (ГОСТ-9087-81) показала, что прочностные свойства нового флюса значительно выше, однако показатель ударной вязкости при отрицательной температуре неудовлетворителен, что наблюдается и при использовании флюса АН-348. При введении в опытный флюс добавки ФД-УФС в различных соотношениях (1-5%) значения ударной вязкости KCV при температуре минус 20°С значительно повышаются. Результаты механических испытаний приведены в таблице 3 и на рисунках 5-8.

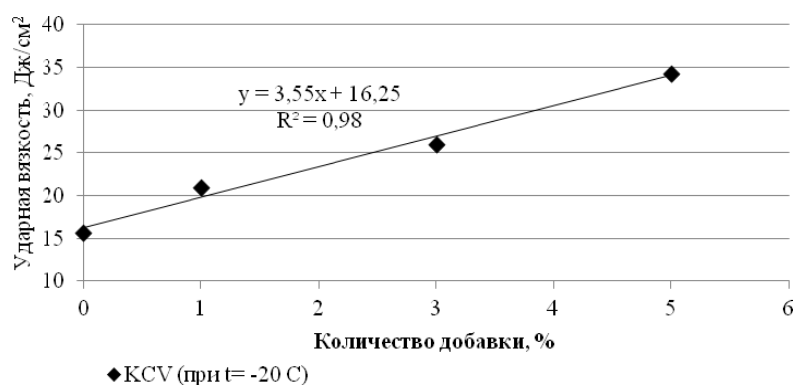


Рис. 5. Изменение ударной вязкости металла шва KCV при $T = -20^{\circ}\text{C}$ от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс

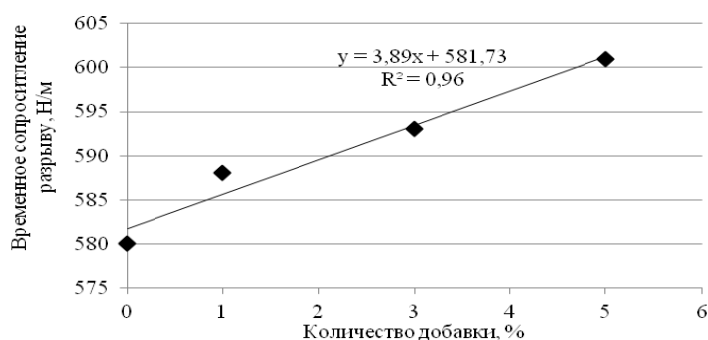


Рис. 6. Изменение временного сопротивления разрыву от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс

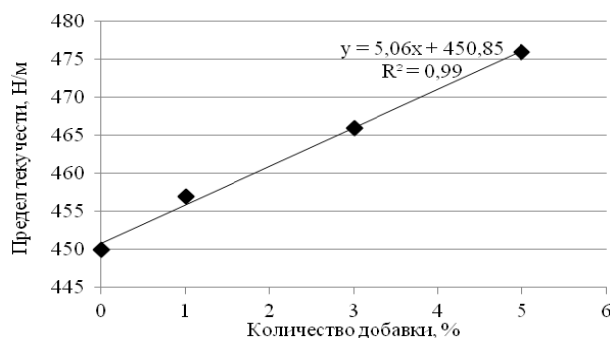


Рис. 7. Изменение предела текучести от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс

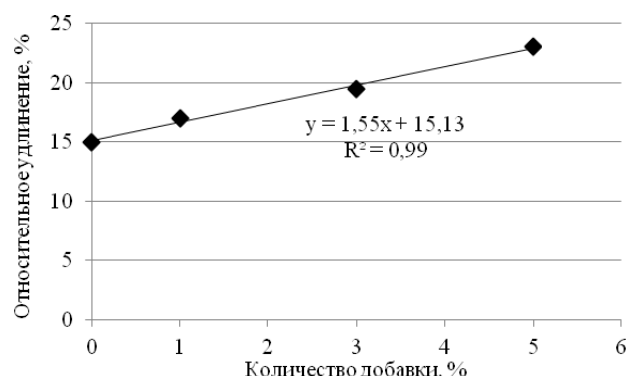


Рис. 8. Изменение относительного удлинения от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс

Таблица 3

Механические свойства сварных швов

Сварной шов; сварка под флюсом	Временное сопротивление (σ_b), МПа	Предел текуче- сти (σ_t), МПа	Относительное удлинение (δ), %	Ударная вязкость KCV при $T = -20^\circ\text{C}$, Дж/см ² (св. шов)
АН-348	<u>535</u> * 530-543**	<u>360</u> 355-368	<u>25</u> 24-26	<u>18</u> 16-21
Шлак силикомар- ганца	<u>580</u> 576-583	<u>450</u> 447-452	<u>15</u> 14-16	<u>16</u> 15-17
Шлак силикомар- ганца + 1 % ФД-УФС	<u>588</u> 585-592	<u>457</u> 451-463	<u>17</u> 15,5-18	<u>21</u> 18-23
Шлак силикомар- ганца + 3 % ФД-УФС	<u>593</u> 590-596	<u>466</u> 463-469	<u>19,5</u> 19-20	<u>26</u> 20-32
Шлак силикомар- ганца + 5 % ФД-УФС	<u>601</u> 597-604	<u>476</u> 472-479	<u>23</u> 22-24	<u>35</u> 26-42

* - средние значения; ** - минимальные и максимальные значения.

В результате проведенных лабораторных экспериментов показана принципиальная возможность применения шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. На разработанные флюсы получены решения о выдаче патентов РФ [17,18].

В настоящее время начато опробование технологии сварки с использованием разработанного флюса в опытно-промышленных условиях.

Литература.

1. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties/ Amado Cruz Crespoa, Rafael Quintana Puchola, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Díaz Cedréa & Tamara Ortiza / Welding International. – 2009.- Volume 23. - №2. - p. 120-131
2. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams/ Yu. S. Volobueva, O. S. Volobueva, A. G. Parkhomenkob, E. I. Dobrozhelec & O. S. Klimenchukd//Welding International.– 2012.- Volume 26. - №8. - p. 649-653
3. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding/V. V. Golovko & N. N. Potapov//Welding International.– 2011.- Volume 25. - №11. - p. 889-893.
4. New carbon-fluorine additives for welding fluxes/ N.A. Kozyrev, N.E. Krukov, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, L.P. Bashchenko, U.I. Lipatova/ Steel in Translation.-2015. -Т. 45. -№ 4. - P. 251-253.
5. Arc welding of vertical oil tanks at low temperatures / N.E. Krukov, I.N. Kovalsky, N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 7, p. 534 – 536.

6. Development of additions to welding fluxes in welding of low-alloy steels / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, I.N. Kovalsky // *Welding International* . – 2014. – Vol. 28. - № 5, p. 403 – 405.
7. New tendencies in development of carbonaceous additives for welding fluxes// N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, O.A. Kozyreva // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 91(2015)012008: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012008.
8. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 91(2015)012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012016.
9. Possibilities of Application of Carbon-Fluorine Containing Additions in Submerged-Arc Welding/ N.A. Kozyrev, N.E. Kryukov, R.E. Kryukov, V.F. Igushev, I.I. Kovalskii// *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 91(2015)012018: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012018.
10. Потапов, Н. Н. Сварочные материалы для дуговой сварки : справочник. В 2 т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы : справочное пособие / Н. Н. Потапов, Б. П. Конищев, С. А. Курланов [и др.] ; ред. Н. Н. Потапов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 544 с.
11. Подгаецкий, В. В. Флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки / В.В. Подгаецкий, Д.М. Рабкин. — Киев : Изд-во АН УССР, 1954. —56 с.
12. Электрометаллургия стали и ферросплавов /Поволоцкий Д. Я., Рощин В.Е., Мальков Н.В. - М.:Металлургия, 1995. – 592с.
13. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов/ М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. – М.: Metallurgy, 1988. – 784 с.
14. Электрометаллургия стали и ферросплавов /Поволоцкий Д. Я., Рощин В.Е., Рысс М.А., Строганов А.И., Ярцев М.А. -М.: Metallurgy, 1984. – 586с.
15. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов – М.: СП Интермет инжиниринг, 1999. – 764 с.
16. Рысс М.А. Производство ферросплавов/ М.А. Рысс. – М.:Металлургия, 1985. – 344с.
17. Решение о выдаче патента № 2014122996 Флюс для сварки / Крюков Н.Е. Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова», Заяв. 05.06.14 .
18. Решение о выдаче патента № 2014123002 Флюс для механизированной сварки и наплавки стали / Крюков Н.Е. Крюков Е.Н., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Козырева О.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова», Заяв. 05.06.14.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА СИСТЕМ Mn- Mo-V-B И Cr-Mn-Mo-V ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ

Н.А. Козырев, д.т.н., проф., И.В. Осетковский, маг., О.А. Козырева, к.п.н., доц.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

Введение. Целью работы являлось изучение возможности использования проволоки из стали систем Mn- Mo-V-B и Cr-Mn-Mo-V для наплавки бункеров и желобов для транспортировки угля. Изготовление проволоки проводилось на лабораторной машине. Диаметр изготовленной проволоки 3,6 мм, оболочка выполнена из ленты Ст3. В качестве наполнителя использовались соответствующие порошкообразные материалы, причем взамен аморфного углерода применяли углеродфторсодержащую пыль газоочистки алюминиевого производства с химическим составом масс. %: $Al_2O_3 = 21-46,23$; $F = 18-27$; $Na_2O = 8-15$; $K_2O = 0,4 - 6$; $CaO = 0,7- 2,3$; $SiO_2 = 0,5-2,48$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,27$; $C_{общ} = 12,5-30,2$; $MnO = 0,07-0,9$; $MgO = 0,06-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $P = 0,1 -0,18$. В проволоки вводилось минимально возможное количество углерода. В ранее проведенных работах показано положительное влияние данного материала на повышение качества сварного шва [1-9].

Наплавку изготовленной проволокой проводили под флюсом АН-26С на пластины изготовленные из стали марки Ст3. Химический состав исследуемых наплавленных образцов определяли

рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС -71. Химический состав изготовленных проволок, а так же химический состав сталей аналогов 40ХЗГ2МФ и 40ГМФР в соответствии с ГОСТ 10543 – 98 приведен в таблицах 1 и 2. . Наплавку производили при помощи сварочного трактора ASAW-1250, с режимом наплавки I=400 А, U=27 В, V=20см/мин, на всех образцах. Испытания на износостойкость производили на машине 2070 СМТ – 1. Испытания проводились на режимах: нагрузка -30 мА, частота -20 обр/мин. Результаты испытания приведены в таблице 3.

Металлографические исследования микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 100 - 1000$ после травления в спиртовом растворе азотной кислоты. Исследование продольных образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений осуществляли в соответствии с ГОСТ 1778-70 при увеличении $\times 100$. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639-82 при увеличении $\times 100$. Образец 21 имеет феррито-перлитную структуру с видманштеттовой направленностью (рисунок 1а). В исследуемом образце присутствуют неметаллические включения: силикаты недеформирующиеся (балл 2б) и оксиды точечные (балл 2 а) (рисунок 2 а). Величина зерна по шкале зернистости соответствует № 3 и № 4.

¹ –Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/к. При испытании, исследовании, измерении было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ

Таблица 1

Химический состав проволоки системы Cr-Mn-Mo-V

Марка проволоки	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo
40ХЗГ2МФ	0,35-0,45	1,3-1,8	0,4-0,7	3,3-3,8	< 0,4	0,1-0,2	0,3-0,5
21	0,06	0,48	0,3	1,98	0,15	0,06	0,3
21.1	0,19	0,52	0,74	2,79	0,17	0,14	0,26
71	0,14	0,5	0,57	3,49	0,11	0,05	0,33
72	0,07	0,54	0,57	2,63	0,24	0,08	0,4

Таблица 2

Химический состав проволоки системы Mn- Mo-V-B

Марка проволоки	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	B
40ГМФР	0,36-0,44	0,9-1,2	0,17-0,37	0,2-0,5	0,06-0,1	0,08-0,16	0,001-0,003
22	0,06	0,43	0,26	0,36	0,01	0,07	0,003
22.1	0,16	0,32	0,62	0,25	0,19	0,11	0,003
73	0,06	0,4	0,49	0,39	0,04	0,13	-
74	0,04	0,43	0,49	0,3	0,04	0,11	0,002

Примечание: В образец №73 бор не вводился.

Таблица 3

Результаты испытания на износостойкость

Номер образца	Масса образца начало испытания, г	Масса образца окончание испытания, г	Потеря массы образца, (г/ %)	Количество оборотов	Скорость истирания, г/об
21	197,059	194,386	2,673/ 1,36	5843	0,00046
21.1	132,768	132,573	0,195/ 0,26	6214	0,00003
71	168,509	168,222	0,287/ 0,17	7685	0,000037
72	134,85	133,548	1,302/ 0,97	7965	0,00016
22	185,317	183,220	2,092/ 1,13	6304	0,00033
22.1	130,281	129,398	0,883/ 1,15	5760	0,00015
73	145,977	143,8537	2,123/ 1,45	7112	0,0003
74	133,4405	131,4593	1,981/ 1,48	7370	0,00027

Примечание: 21, 21.1, 71, 72 – образцы, наплавленные проволокой 40ХЗГ2МФ; 22, 22.1, 73, 74 – образцы, наплавленные проволокой 40ГМФР. Жирным шрифтом выделены образцы, показавшие лучшие результаты стойкости на износ.

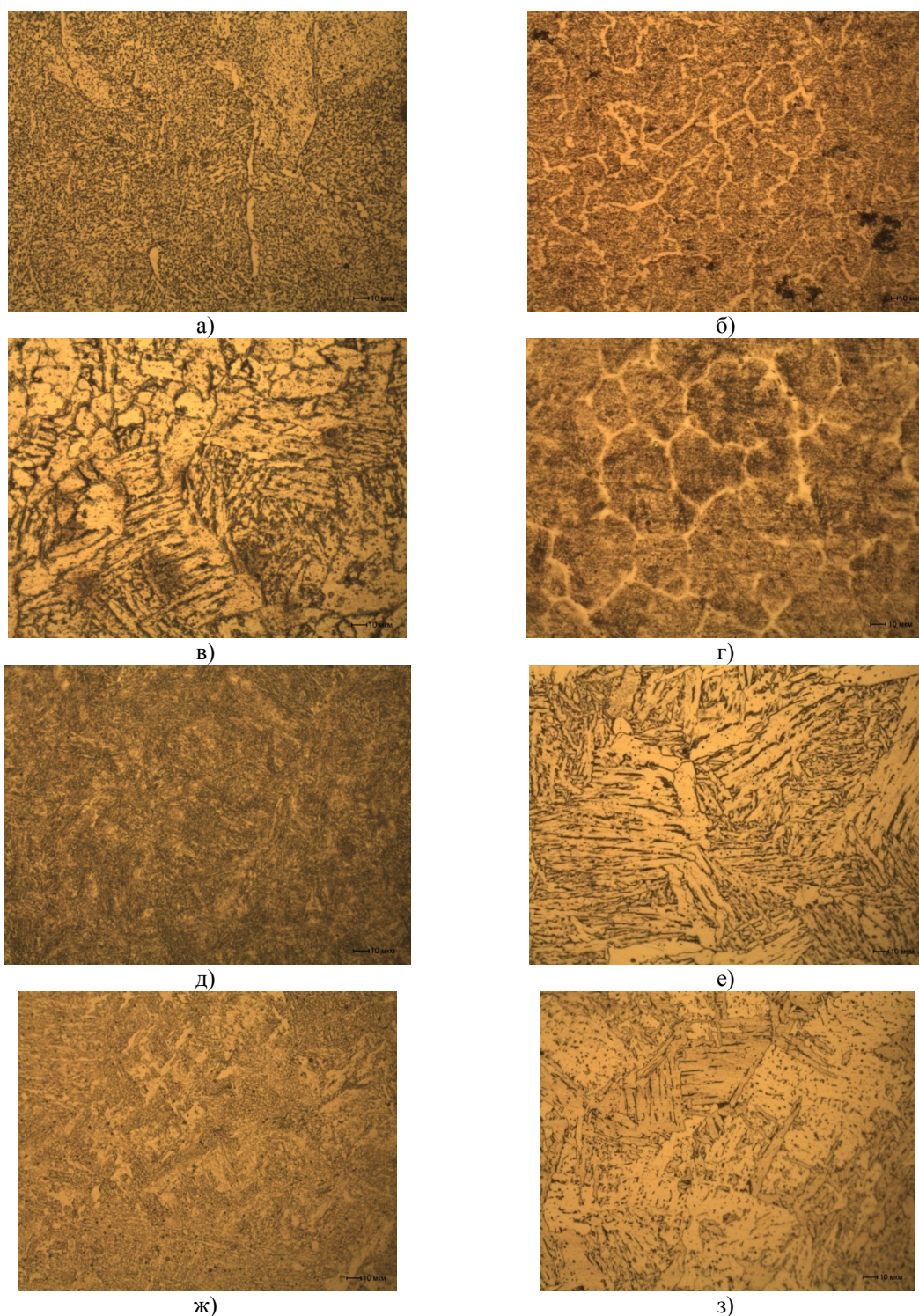


Рис. 1. Микроструктура исследуемых образцов, $\times 500$
а) образец №21, б) образец №21.1, в) образец № 22, г) образец №22.1
д) образец № 71, е) образец № 72, ж) образец № 73, з) образец № 74

Структурными составляющими образца 21.1 являются также феррит и перлит, однако феррит присутствует не в виде отдельной структурной составляющей, а в виде сетки (рисунок 1б). В данном случае наблюдается большая степень загрязненности неметаллическими включениями. Присутствуют силикаты недеформирующиеся (балл 5б и 4б) и оксиды точечные (балл 2а и 3а) (рисунок 2б). Величина зерна соответствует № 5 и №4.

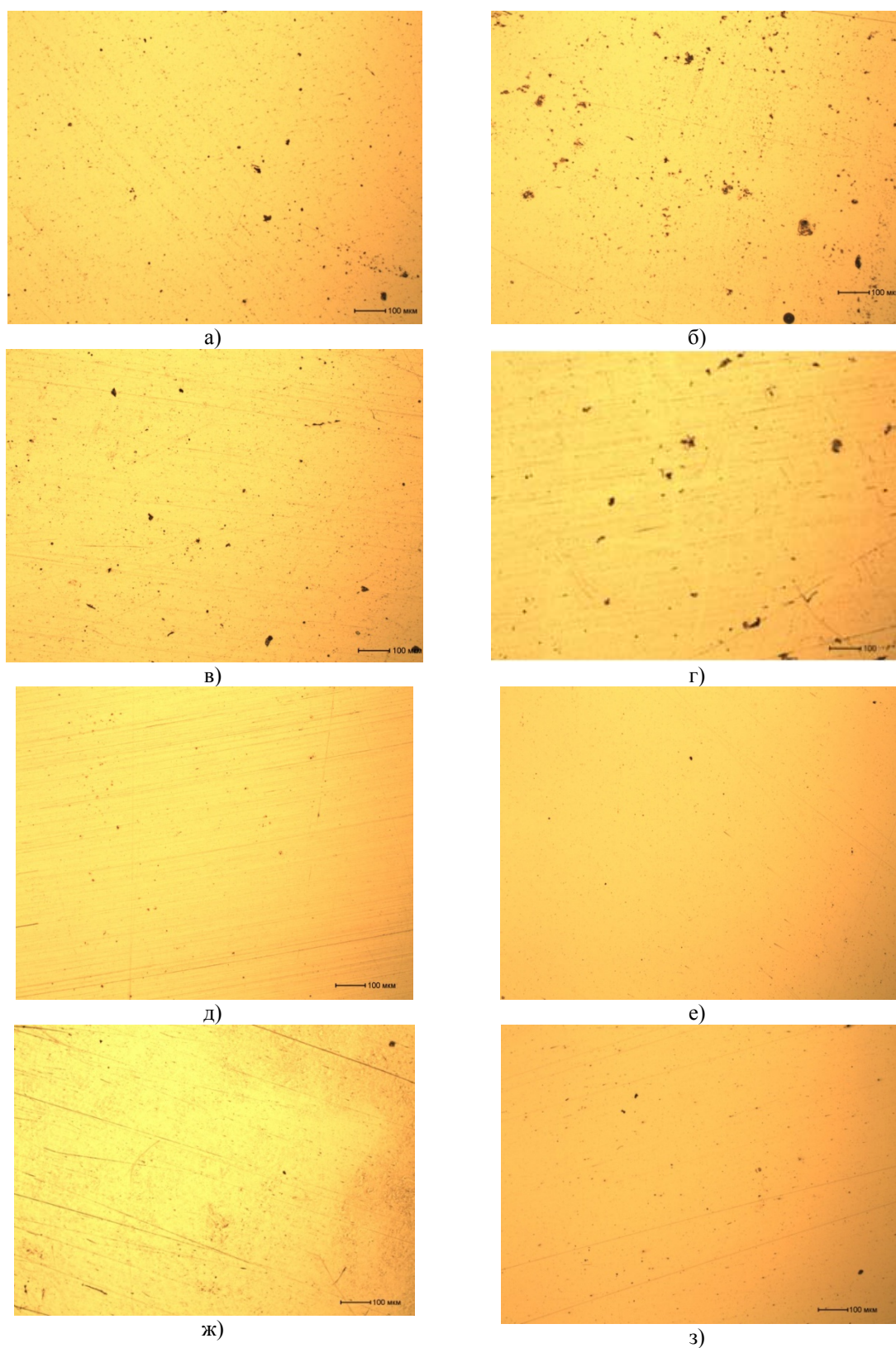


Рис. 2. Характер неметаллических включений в исследуемых образцах
а) образец №21, б) образец №21.1, в) образец № 22, г) образец №22.1, д) образец № 71,
е) образец № 72, ж) образец № 73, з) образец № 74

Образец 22 имеет феррито-перлитную структуру с видманшtedтовой направленностью (рисунок 1в). В изучаемом образце обнаружены силикаты недеформирующиеся (балл 2 б), оксиды точечные (балл 1 а и 2а) (рисунок 2 в). Величина зерна по шкале зернистости соответствует № 4 и №5.

В структуре образца 22.1 также наблюдается феррит и перлит, но феррит присутствует в виде сетки. (рисунок 1г). Уровень загрязненности неметаллическими включениями более высокий по сравнению с предыдущим образцом: силикаты недеформирующиеся (балл 3б и 5б), оксиды точечные (балл 1а) (рисунок 2г). Величина зерна соответствует № 5 и №6. Таким образом, сталь 40ГМФР имеет более мелкое зерно.

В структуре образца 71, наблюдается среднеигольчатый мартенсит (балл 5) (рисунок 1д), незначительное количество остаточного аустенита. В изучаемом образце обнаружены силикаты недеформирующиеся (балл 2 а и 2б), оксиды точечные (балл 1 а и 2а) (рисунок 2д). Величина зерна по шкале зернистости соответствует №6 и №7.

Образец 72 имеет феррито-перлитную структуру с видманшtedтовой направленностью (рисунок 1е). Присутствуют неметаллические включения: силикаты недеформирующиеся (балл 2б) и оксиды точечные (балл 1а) (рисунок 2е). Величина зерна соответствует № 4 и №5.

Образец 73 – наблюдается феррито-перлитная структура (видманшtedт) (рисунок 1ж). Присутствуют неметаллические включения: силикаты недеформирующиеся (балл 1б и 4б) и оксиды точечные (балл 1а) (рисунок 2ж). Величина зерна соответствует № 5 и №4.

Образец 74 - имеет феррито-перлитную структуру с видманшtedтовой направленностью (рисунок 1з). В изучаемом образце обнаружено значительное количество неметаллических включений: силикаты недеформирующиеся (балл 2 б), оксиды точечные (балл 1 а) (рисунок 2з). Величина зерна по шкале зернистости соответствует № 6 и №5.

Выводы:

1. Порошковая проволока системы Cr-Mn-Mo-V показывает лучшие результаты износостойкости, чем порошковая проволока системы Mn- Mo-V-B.
2. Отсутствие бора способствующего к измельчению зерна в системе Mn- Mo-V-B значительно снижает износостойкость.
3. Наплавленный металл системы Mn- Mo-V-B и марки 40ГМФР имеет более мелкозернистую структуру, чем металл системы Cr-Mn-Mo-V и стали марки 40Х3Г2МФ.

Литература.

1. . New carbon-fluorine additives for welding fluxes/ N.A. Kozyrev, N.E. Krukov, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, L.P. Bashchenko, U.I. Lipatova/ Steel in Translation.-2015. -Т. 45. -№ 4. - P. 251-253.
2. New carbon-fluorine containing additive for the welding fluxes/ N.A. Kozyrev, R. E. Krukov, D.E. Kolmogorov// Applied Mechanics and materials.vol.682(2014) - P. 495-498.
3. Effect of carbon- and fluorine-containing additions in the composition of fluxes on the content of nonmetallic inclusions and properties of welded joints / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, Z.V. Guldun, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2013. – Vol. 27. - № 12, p. 963 – 965.
4. Development of additions to welding fluxes in welding of low-alloy steels / N.A. Kozyrev, V.F. Igushev, R. Ev. Krukov, A.V. Roor, I.N. Kovalsky // Welding International . – 2014. – Vol. 28. - № 5, p. 403 – 405.
5. New tendencies in development of carbonaceous additives for welding fluxes// N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, O.A. Kozyreva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012008: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012008.
6. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding/ R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, Y.V. Bendre, V.F. Goryushkin, D.V. Valuev //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012016: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012016.
7. Possibilities of Application of Carbon-Fluorine Containing Additions in Submerged-Arc Welding/ N.A. Kozyrev, N.E. Kryukov, R.E. Kryukov, V.F. Igushev, I.I. Kovalskii// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012018: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012018.
8. Surfacing with tungsten-containing ores / N.A. Kozyrev, G.V. Galevsky, D.V. Valuev, V.M. Shurupov, O.E. Kozyreva// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012009:

- VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012009.
9. Development of new materials and technologies for welding and surfacing at research and production center “Welding processes and technologies”/ N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, G.V. Galevsky, D.A. Titov, V.M. Shurupov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 91(2015)012013: VI International Scientific Practical Conference on Innovative Technologies and Economics in Engineering 21–23 May 2015, Yurga, Russia | doi:10.1088/1757-899X/91/1/01/012013.

СЕКЦИЯ 2: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО СПЕЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ

*Н.А. Сапрыкина, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Д.А. Архипова, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61
E-mail: saprikina@tpu.ru*

В настоящее время динамично развивающимся направлением развития современной промышленности являются технологии послойного синтеза. Отдельным направлением является послойное лазерное спекание (сплавление) металлопорошковых композиций на основе 3DCAD-модели, позволяющее изготавливать функциональные изделия. Так как в основе послойного синтеза функционального изделия лежит формообразование единичного слоя одной из проблем обеспечения качества поверхностного слоя является наличие напряжений в спекленном единичном слое, которые препятствуют равномерному нанесению следующего слоя порошкового материала и искажают форму изделия.

Для того чтобы изделие полученное методом послойного лазерного спекания выполняло функциональное назначение, оно должно обладать необходимым качеством. Основными показателями качества спекленного изделия являются точность, состояние поверхностного слоя, физико-механические свойства, долговечность. Одной из проблем обеспечения качества спекленного поверхностного слоя является наличие напряжений, которые препятствуют равномерному нанесению следующего слоя порошкового материала и искажают форму изделия. Для её решения необходимо изучение закономерностей влияния физико-механических свойств порошковых материалов, режимов лазерного спекания, технологических режимов нанесения слоя порошка[1].

Целью настоящей работы является рассмотрение факторов, оказывающих влияние на качество спекленной поверхности и внутренней структуры, исследование влияния защитного газа аргона и механоактивации медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания на качество спекленного поверхностного слоя. Сравнивались толщина и шероховатость спекленной поверхности, прочностные характеристики спекленных образцов.

Процесс спекания следует начинать с назначения порошкового материала, от которого напрямую зависят технологические режимы спекания. Значимыми параметрами металлических порошков являются их форма, строение, характер межчастичного взаимодействия[2]. По форме различают частицы в виде волокон, хлопьев, пластин, кубические, шарообразные и т.д. Размер поровых промежутков зависит от формы частиц и их соразмерности. Для уменьшения пор сферические частицы лучше укладываются со сферическими, а дендритные с хлопьевидными [3]. Необходимо также помнить, что температура плавления порошковых материалов понижается с возрастанием степени дисперсности [4]. На плотность укладки влияет шероховатость поверхности частиц. Механическое зацепление – одна из форм связи таких частиц. Трение между ними является результатом адгезионного взаимодействия, поэтому большое внимание уделяется механической активации порошковых композиций[5]. При спекании однокомпонентного порошкового материала и материалов с близкой температурой плавления при непрерывном лазерном воздействии появляется коагуляция (слияние расплавленного металла в отдельные капли)[6]. Необходимо учитывать теплофизические и физико-химические свойства порошковых материалов, не соответствующие справочным, приведённым для монолитных материалов.

Технологические режимы спекания имеют значительное влияние на качество поверхностного слоя изделия. Мощность лазерного излучения зависит от температуры плавления порошкового материала и коэффициента температуропроводности, а также формы и размера частиц. Для тугоплавких материалов необходимо увеличивать мощность лазерного излучения, и уменьшать скорость перемещения луча лазера. При нерационально выбранных значениях мощности происходит возгорание порошкового материала[7].

Увеличение уплотнения порошкового материала приводит к уменьшению глубины спекания. Ее можно увеличить, повышая мощность лазерного излучения. Однако это приводит к потере энергии.

В значительной степени влияют на качество прототипа следующие факторы: коагуляция, образование пор, возникновение внутренних напряжений и деформаций.

Исследования влияния защитного газа аргона на качество спеченного поверхностного слоя осуществлялось для медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания. Аргон является защитной средой, позволяющей исключить взаимодействие порошковых изделий с кислородом и азотом, а также упрочнить поверхность изделий. При спекании медного порошка ПМС-1 в аргоне наблюдалось изменение цвета спеченной поверхности, она становилась золотистой, полученные образцы имели более прочную поверхность, без образования трещин рис. 1 [8, 9].

Сравнение образцов, спеченных на воздухе и в аргоне представленных на рис. 1 показывает увеличение толщины спеченного слоя с 115 мкм до 200 мкм, прочность образца увеличивается.

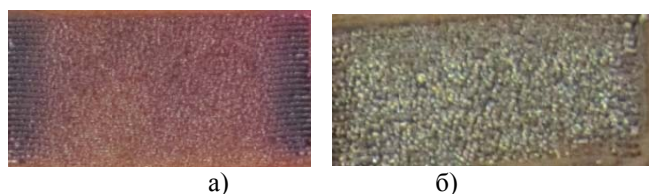


Рис. 1. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2)
Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=260^{\circ}\text{C}$: а– на воздухе; б– в аргоне

При спекании в аргоне (рис. 2, б), режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$ дефекты в виде поперечных и продольных трещин отсутствуют, толщина спеченного слоя изменяется незначительно с 1675 при спекании на воздухе до 1735 при спекании в аргоне.



Рис. 2. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2).
Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$: а– на воздухе; б– в аргоне

При сравнении образцов, полученных на режимах $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$, спеченных в аргоне и на воздухе, представленных на рис. 3 наблюдалось резкое изменение качества поверхностного слоя, прочности. Шероховатость изменяется с 525 до 115 мкм, толщина спеченного слоя изменяется незначительно с 850 до 915 мкм. У образца, спеченного в аргоне, отсутствуют дефекты в виде продольных и поперечных трещин.

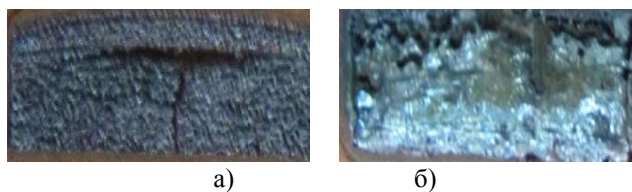


Рис. 3. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2).
Режимы СЛС: $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$ а– на воздухе; б– в аргоне

Спекание в аргоне значительно улучшает качество поверхностного слоя полученного из медного порошкового материала ПМС-1. Уменьшается шероховатость, отсутствуют дефекты.

Исследования влияния механоактивации на качество спеченного поверхностного слоя осуществлялось для медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания. Механическая обработка порошка осуществлялась в центробежно-планетарной мельнице АГО-2. В стальных барабанах, загруженных стальными шарами диаметром 6 мм, общая масса которых составляла 600 гр. при загрузке порошка 30 гр. При механоак-

тивации увеличивается дисперсность порошка, дефектность кристаллической решетки его частиц [10], что приводит к быстрому окислению, и возможности осуществлять спекание при необычно низких температурах. Интенсивное измельчение частиц увеличивает их суммарную поверхность, повышая запас избыточной энергии порошка и увеличивает толщину дефектного слоя. Механическая обработка проводилась в течение одной, трех, пяти и семи минут. На рисунках 4-8 приведены сравнительные фотографии спеченной поверхности кобальтхроммолибденовой композиции, полученные на разных режимах, порошка неактивированного и разной активации [11]. На рис. 4 при режимах спекания $P=10$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$ для неактивированной спеченной поверхности $Rz=525$ мкм, после минутной активации $Rz=545$ мкм, после трехминутной активации $Rz=540$ мкм, после пятиминутной активации $Rz=615$ мкм увеличивается коагуляция, после семиминутной активации $Rz=545$ мкм.

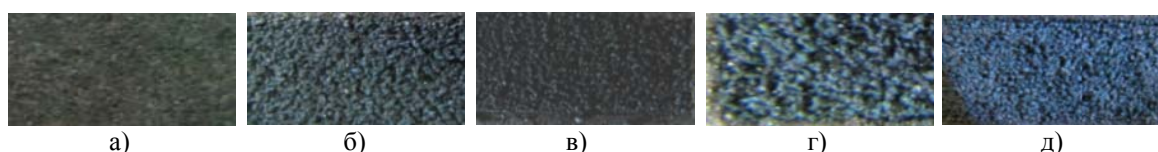


Рис. 4. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1).

Режимы СЛС $P=10$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$: а– неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

У образцов, представленных на рис. 5 шероховатость спеченной поверхности изменяется незначительно, увеличивается прочность. У образца, спеченного из порошкового материала, после семиминутной активации уменьшается пористость, на поверхности наблюдаются монолитные островки.

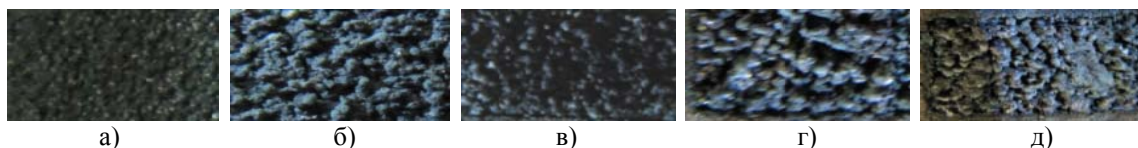


Рис. 5. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

Увеличение времени активации (рис. 6-8) приводит к уменьшению диаметра коагулированных частиц и их равномерному распределению по спеченной поверхности. Прочность спеченной поверхности увеличивается.

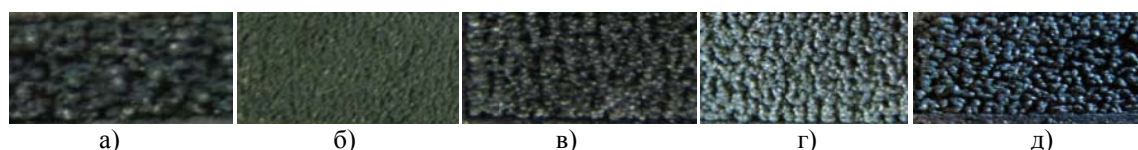


Рис. 6. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=26^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

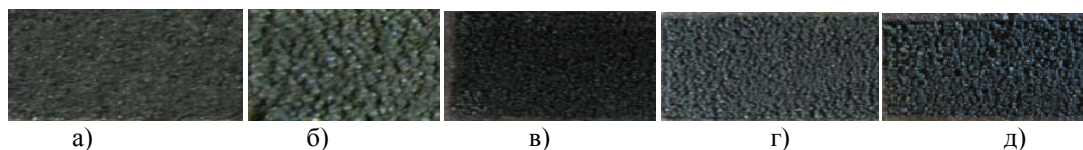


Рис. 7. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=10$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,15$ мм, $t=26^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д–после семиминутной активации

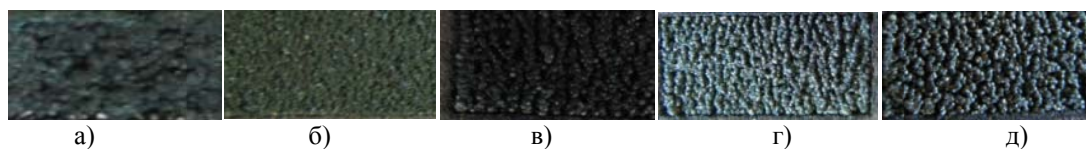


Рис. 8. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,15$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

На рисунке 9 показаны дифрактограммы кобальтхроммолибденового порошка. На оси ординат указана интенсивность дифракционных пиков, на оси абсцисс показана угловая характеристика с максимальным углом съемки 2θ .

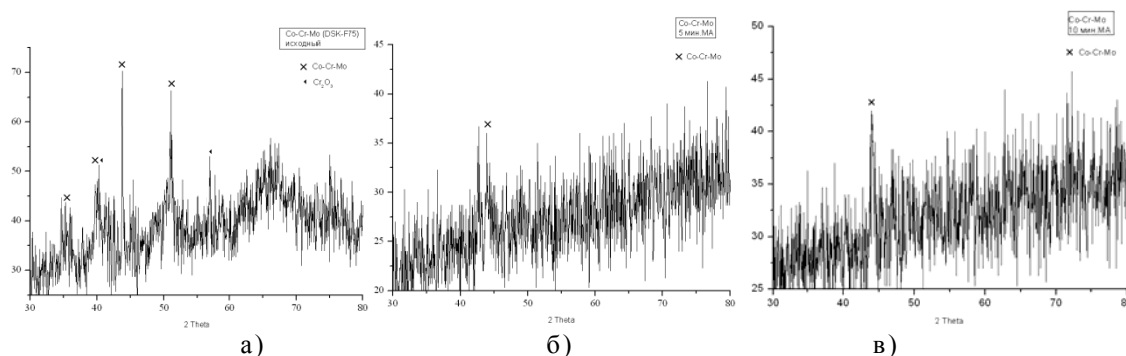


Рис. 9. Дифрактограммы порошка кобальтхроммолибдена:
а) неактивированного, б) после пяти минутной активации, в) после десятиминутной активации

При сравнении дифрактограмм неактивированного (рис. 9, а) и механоактивированного (рис. 9, б) порошка кобальтхроммолибденовой композиции видно, что после механоактивации окись хрома исчезает. Время активации незначительно влияет на дифрактограмму. После активации пики возникают только в одном положении.

На рисунках 10-16 приведены сравнительные фотографии спеченного слоя медной порошковой композиции ПМС-1, полученные на разных режимах, порошка неактивированного и разной активации. После трехминутной активации увеличивается прочность спеченного образца (рис. 10), R_z незначительно изменяется с 625 мкм до 630 мкм, толщина спеченного слоя увеличивается с 820 до 950 мкм.

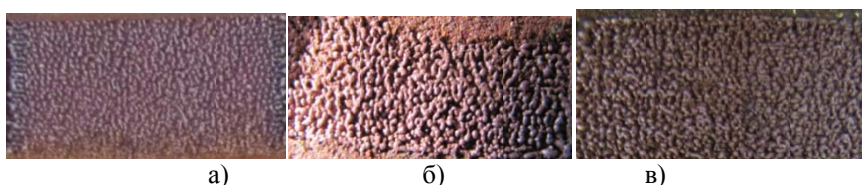


Рис. 10. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

При сравнении двух образцов (рис. 11) наблюдается улучшение качества поверхностного слоя, исчезают трещины, уменьшается шероховатость с 975 до 715 мкм.

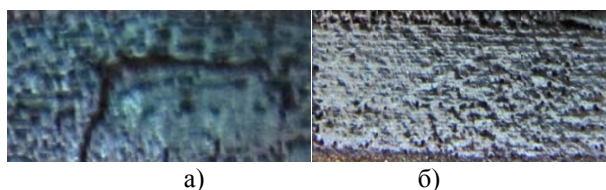


Рис. 11. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после трехминутной активации

На рис. 12 у спеченных образцов, полученных из механоактивированных порошковых материалов, шероховатость поверхности уменьшается с 700 до 426 мкм.

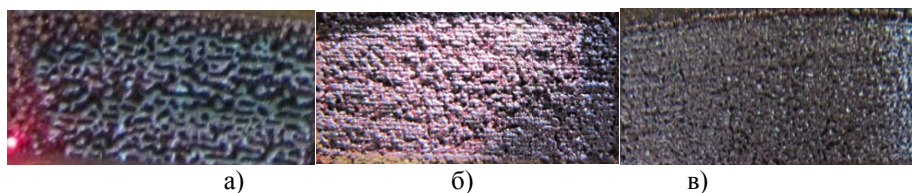


Рис. 12. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

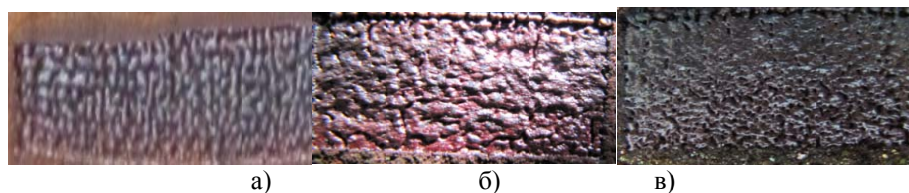


Рис. 13. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

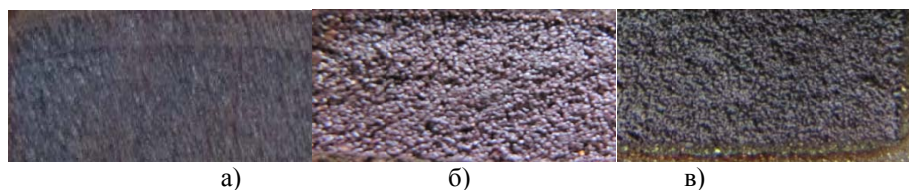


Рис. 14. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

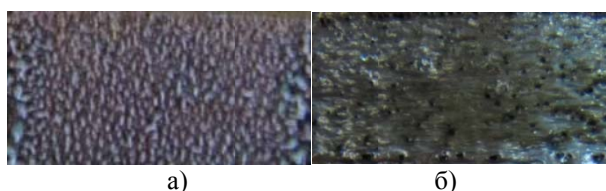


Рис. 15. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации

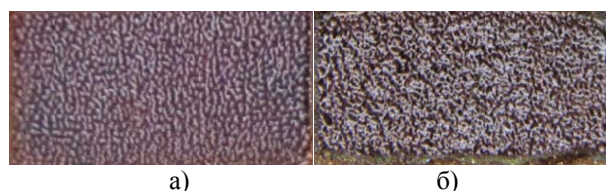


Рис. 16. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=22$ Вт, $V=1600$ мм/мин, $S=0,2$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации

Сравнение фотографии образцов наглядно показывает влияние механоактивации на качество поверхности: уменьшается коагуляция, шероховатость.

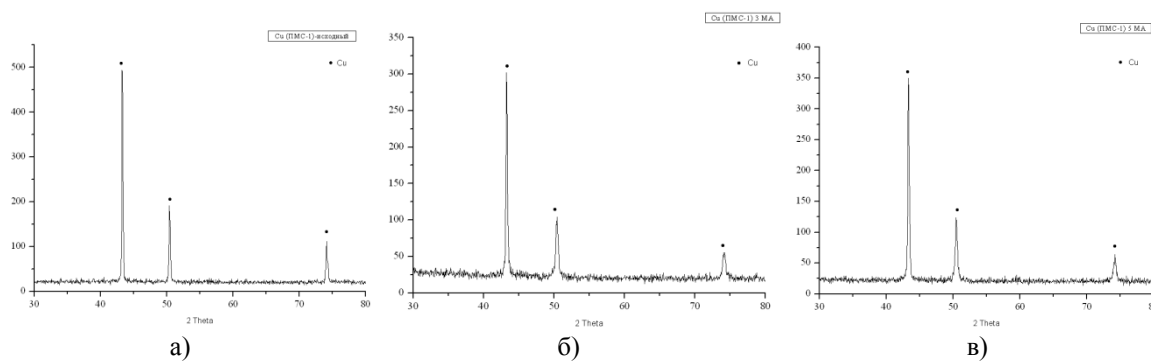


Рис. 17. Дифрактограммы медного порошка ПМС-1: а– неактивированный, б– после трехминутной активации, в– после пятиминутной активации

Проведенные исследования спеченного слоя из активированного и неактивированного порошкового материала показало, что предварительная механическая обработка оказывает влияние на процесс спекания и приводит к улучшению качества поверхности: уменьшается диаметр коагулированных частиц, снижается шероховатость. Наблюдалось улучшение внутренней структуры и прочностных свойств.

Показано положительное влияние защитной атмосферы и механоактивации металлических порошковых материалов на качество спеченного поверхностного слоя. Для уменьшения шероховатости. Улучшения внутренней структуры и прочностных свойств спекание рекомендуется проводить в аргоне с применением металлических порошковых материалов, подвергнутых одно- и трёхминутной активации с целью уменьшения шероховатости, улучшения внутренней структуры и прочностных свойств.

Литература.

1. Отто А. Объединение лазерной обработки материалов с процессом формообразования // Фотоника. – 2007. – № 5. – С. 2 – 6.
2. Панченко В.Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок, монография. – М.: Физматлит, 2009. – 664 с.
3. A.V. Proskokov, S.I. Petrushin. Process clip formation with a single conditional shear surface // Applied Mechanics and Materials. vol. 682 (2014). pp. 304-312.
4. R. H Gubaidulina, S.I. Petrushin. A.A Galeeva. Selecting an Economical Variant of the Manufacturing Method of Engineering Product Fabrication under Current Conditions.// AppliedMechanicsandMaterials. vol. 682 (2014). pp. 613-616.
5. P.V.Arkipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface // Applied Mechanics and Materials. vol. 379 (2013). pp. 124-130.
6. Chinakhov D.A. Dependence of Silicon and Manganese Content in the Weld Metal on the Welding Current and Method of Gas Shielding. Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015) pp 92-96. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.756.92.
7. Saprykin A. A., Saprykina N. A. Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 56 – 59.
8. Lychagin D.V., Tarasov S.Yu., Chumaevskii A.V., Alfeyorova E.A. Macrosegmentation and strain hardening stages in copper single crystals under compression // International Journal of Plasticity. – 2015. – №69. – P. 36-53.
9. Babakova E. V. , Gradoboev A. V. , Saprykin A. A. , Ibragimov E. A. , Yakovlev V. I. , Sobachkin A. V. Comparison of Activation Technologies Powder ECP-1 for the Synthesis of Products Using SLS // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 756. - p. 220-224
10. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин А. А., Шигаев Д. А. Исследование факторов, влияющих на качество поверхности, полученной лазерным спеканием // Обработка металлов. – 2011. – № 4. – С. 78–82.
11. Saprykina N. A., Saprykin A.A., Matrunchik M.S. Formation of Surface Layer of Cobalt Chrome Molybdenum Powder Products with Differentiation of Laser Sintering Modes // Applied Mechanics and Materials. Vol. 682 (2014) pp. 294-298.

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ МАССОВОГО БЫСТРОСМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.И. Петрушин, д.т.н., проф., Р.Х. Губайдулина, к.т.н., доц., Ш.С. Норзидоза, студент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (8384-51)7-77-61

E-mail: victory_28@mail.ru

Введение

В соответствии со сложившейся традицией технологического проектирования критерием выбора того или иного варианта способа обработки и применяемого оборудования служит понятие серийности производства (единичное, серийное и массовое). Согласно стандарту, тип производства выбирается на основе так называемого коэффициента закрепления операций, представляющего собой отношение числа различных технологических операций, подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест, на которых выполняются данные операции. Эта оценка, на наш взгляд, имеет существенный недостаток, а именно: в самом начале технологического проектирования инженеру-технологу неизвестно количество операций в технологическом процессе, а также число рабочих мест. Эти значения должны быть им определены в процессе последующего проектирования, поэтому в назначении типа производства, от которого зависят дальнейшие принципиальные решения, имеется существенный произвол.

1. Определение оптимальной годовой программы выпуска изделий

При проектировании технологии изготовления машины в качестве базовых исходных данных фигурирует кроме конструкции изделия и годовая программа выпуска в штуках. Если конструкторская документация на машину должна быть разработана на предшествующей стадии жизненного цикла изделий (ЖЦИ), то вопрос определения размера оптимальной серии машин или партии изделий остаётся открытым. При плановой экономике, которая существовала в России ранее, программа выпуска назначалась исходя из государственных потребностей и интересов всего населения. С переходом на рыночные отношения в условиях конкуренции эта задача приобретает особую актуальность, так как с одной стороны количество выпущенных и реализованных изделий должно возместить затраты на организацию их производства, а с другой – принести определенную прибыль собственнику предприятия без перепроизводства этих изделий. Поэтому ошибки в назначении величины программы выпуска могут привести к негативным последствиям вплоть до банкротства предприятия.

Проведём анализ производственной программы машиностроительного предприятия на основе графиков рентабельности [1], которые строятся в координатах «программа выпуска изделий – стоимость» (рис.1). Общие затраты на выпуск изделий определённого типа $Z_{\text{и}}$ складываются из первоначальных капитальных вложений $K_{\text{и}}$, необходимых для организации производства новых машин, и текущих затрат (себестоимости) на изготовление изделий согласно формулы:

$$Z_{\text{и}} = K_{\text{и}} + C_{\text{и}} \cdot N, \text{ у.е.с.}, \quad (1)$$

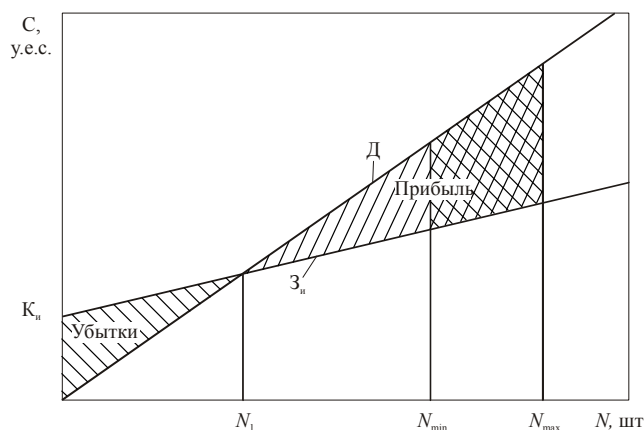


Рис. 1. График рентабельности выпуска изделий

где $C_{\text{и}}$ – себестоимость одного изделия в условных единицах стоимости (у.е.с.); N – текущая производственная программа выпуска, шт.

Зависимости (1) соответствует линия общих затрат (см. рис.1), которая при $C_{\text{и}} = \text{const}$ представляет собой прямую линию.

С другой стороны, общий доход предприятия D от реализации производимых изделий прямо пропорционален программе их выпуска:

$$D = C_{\text{и}} \cdot N, \quad (2)$$

где $C_{\text{и}}$ – продажная цена изделия, у.е.с.

При определённом количестве вы-

пускаемых и реализуемых изделий линии общих затрат и общего дохода пересекутся (см.рис.1). Точка этого пересечения на оси абсцисс имеет следующую координату:

$$N_1 = \frac{K_{\text{и}}}{C_{\text{и}} - C_{\text{и}}} \quad (3)$$

До величины N_1 предприятие несёт убытки в связи с компенсацией сделанных к этому моменту общих затрат, а при $N \geq N_1$ начинает получать текущую прибыль. Следует отметить, что получить полную компенсацию абсолютных общих затрат абсолютным общим доходом данное предприятие может только тогда, когда оно произведёт и реализует большее чем N_1 количество изделий, которое обозначим через N_{min} (рентабельная программа выпуска машин). В случае прямолинейных зависимостей $Z_{\text{и}}$ и D от программы выпуска имеем следующее соотношение $N_{\text{min}} = 2N_1$ или с учетом (3):

$$N_{\text{min}} = \frac{2K_{\text{и}}}{C_{\text{и}} - C_{\text{и}}} \quad (4)$$

Так как, начиная с величины N_{min} , рассматриваемое предприятие начнёт получать абсолютную прибыль, то это значение является нижней границей для определения его производственной программы.

Анализ выражения (4) показывает, что рентабельная программа выпуска определяется разностью между ценой изделия и его себестоимостью, или, что то же самое, прибылью от продажи изделия. Чем больше эта разность, тем меньше N_{min} , и, наоборот, при приближении цены машины к её себестоимости производства резко возрастает рентабельная программа выпуска.

Величина N_{min} определяет то количество изделий, реализация которого на рынке позволяет компенсировать общие затраты на их производство. Предприятие начинает получать абсолютную прибыль при $N \geq N_{\text{min}}$, максимизация величины которой в условиях капиталистического способа производства является глобальной целью. В этой области возникает принципиально важная задача определения максимальной программы выпуска N_{max} , после достижения которой данное изделие снимается с производства. В основе её решения должен быть так называемый «моральный износ» машины. Впервые это понятие ввёл К. Маркс. В своём труде [2] он пишет: «Но кроме материального снашивания машина подвергается, так сказать, и моральному снашиванию. Она утрачивает меновую стоимость, по мере того как машины такой же конструкции начинают воспроизводиться дешевле или лучшие машины вступают с ней в конкуренцию. В обоих случаях, как бы ещё нова и жизнеспособна ни была машина, её стоимость определяется уже не тем рабочим временем, которое фактически осуществлено в ней, а тем, которое необходимо для воспроизводства её самой или для воспроизводства лучшей машины. Поэтому она более или менее утрачивает свою стоимость. Чем короче период, в течение которого воспроизводится её стоимость, тем меньше опасность морального снашивания...».

Следует отметить, что термин «моральный износ», как и все основные понятия политической экономии, является нечетко определенным. Поэтому в дальнейшем под ним будем понимать календарный период времени начиная от момента выпуска первого экземпляра новой машины до момента снятия данной модели с производства.

Если обозначить через $T_{\text{м}}$ период «морального износа» изделия в условных единицах времени (у.е.в.), то максимальную производственную программу можно выразить отношением:

$$N_{\text{max}} = \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} \quad (5)$$

где $t_{\text{д}}$ – интервал времени, через который производится выпуск изделий (такт выпуска), у.е.в.

На рис.1 верхняя линия N_{max} ограничивает область абсолютной прибыли, а нижняя, как это следует из вышеизложенного, имеет нулевой предел по линии N_{min} . Если эти величины известны, то для прямолинейных зависимостей размер получаемой прибыли Π соответствует площади перекрёст-

но заштрихованной зоны (см.рис.1). После интегрирования этой области с учётом выражения (4) получена следующая формула для расчёта величины абсолютной прибыли:

$$\Pi = N_{\max} [0,5 N_{\max} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}) - K_{\text{и}}] \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что прибыль предприятия будет возрастать с увеличением $N_{\max}$ и разницы между ценой изделия и его себестоимостью, а также с уменьшением первоначальных капитальных вложений на организацию производства данных изделий. При этом величина $N_{\max}$ является наиболее эффективным средством повышения абсолютной прибыли, так как она стоит в формуле (6) во второй степени.

Однако, как следует из выражения (5), увеличивать $N_{\max}$ можно либо повышая период морального износа машины, либо уменьшая такт выпуска изделий. В современной экономике рынок в основном насыщен изделиями того или иного качества и в этих условиях увеличение периода «морального» износа $T_{\text{м}}$ затруднено. Наоборот, конкуренция приводит к сокращению «морального» срока службы той или иной конструкции изделий. Эту тенденцию отмечал ещё проф. Г.А. Шаумян [3].

Подставим выражение (5) в формулу (6):

$$\Pi = \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} \left[0,5 \frac{T_{\text{м}}}{t_{\text{д}}} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}) - K_{\text{и}} \right] \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при заданном значении периода морального износа машины прибыль машиностроительной фирмы будет обратно пропорциональна такту выпуска изделий. Таким образом, для достижения максимально возможной прибыли в пределах рассмотренных ограничений основным направлением является путь всемерного сокращения такта выпуска изделий. Исходя из цели достижения максимальной прибыли, соответствующее этому такту значения $N_{\max}$ и будет являться расчётной производственной программой выпуска изделий.

С другой стороны, неограниченное снижение такта выпуска может привести к перепроизводству данной модели изделия с серьезными последствиями для предприятия-изготовителя. С нашей точки зрения нижний предел такта выпуска должен быть обусловлен плановой нормой прибыли, величина которой обеспечивает преимущество производственной фирмы не только перед конкурентами в этом же секторе рынка, но и перед производителями в других отраслях экономики с целью предотвращения оттока туда капиталовложений.

Пусть менеджментом предприятия задана норма прибыли Δ , как отношение величины прибыли к объёму продаж [6], то есть $\Delta = \Pi / D$. Тогда с учётом (6) и (2) величина максимально допустимой программы выпуска будет равна

$$N_{\max} = \frac{2(\Delta \Pi_{\text{и}} + K_{\text{и}})}{\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}}}, \text{ шт.}$$

Оптимальная (она же и минимальная) величина такта выпуска изделий, соответствующая этой программе, определится из (5) выражением

$$t_{\text{доп.}} = \frac{T_{\text{м}} (\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}})}{2(K_{\text{и}} + \Pi_{\text{и}} \Delta)}, \text{ у.е.в.} \quad (8)$$

Это значение должно стать основой для организации технологии производства заданного изделия машиностроения. Для условий функционирования конкретного машиностроительного предприятия значение такта выпуска по формуле (8) должно быть скорректировано с учётом организационных потерь времени, не включаемых в нормированные затраты труда.

2. Экономическое обоснование необходимости массового быстросменного производства

Проблема «безболезненного» перехода на выпуск нового изделия машиностроения является одной из основных для фирмы-изготовителя, так как от эффективности осуществления этого мероприятия в полной мере зависят величина вынужденного простоя основного производства и связанные с этим финансовые потери предприятия.

В настоящее время известны несколько способов перехода на новые модели машины [4]: с полной остановкой производства на период реконструкции; параллельный метод перевода; «безостановочный» метод; реинжиниринг в условиях гибкого производства. Эти способы перевода основного производства на выпуск нового изделия имеют один общий недостаток – это стремление организо-

вать новое производство на месте прежней производственной базы. К. Маркс по поводу смены средств производства пишет следующее [2]: «Благодаря прогрессу промышленности в средствах труда совершаются постоянные перевороты. Поэтому они возвращаются не в своей первоначальной форме, а в форме, претерпевшей переворот. С одной стороны, то обстоятельство, что масса основного капитала вкладывается в дело в определённой натуральной форме и должна просуществовать в ней известный срок жизни, служит причиной того, что новые машины и т.д. вводятся лишь постепенно, а потому является помехой быстрому и повсеместному введению усовершенствованных средств труда. Но, с другой стороны, конкурентная борьба, в особенности во время решающих переворотов, заставляет заменять старые средства труда ещё до их смерти новыми средствами труда. Катастрофы, кризисы – вот что главным образом принуждает к такому преждевременному обновлению оборудования предприятий в широком общественном масштабе».

Данное положение было уже детально рассмотрено профессором Г.А.Шаумяном [3]. «Сроки службы техники не всегда определяются её физической долговечностью. Чаще всего они определяются качеством выпускаемой продукции, требования к которому постоянно растут, заставляя модернизировать или вовсе заменять выпускаемую продукцию... Можно сказать, что качество технологических машин определяется тем, насколько с их помощью производят больше, лучше и дешевле. Как видим, качество и массовость входят в противоречие, так как первое требует непрерывно совершенствовать продукцию (быстросменность производства), а второе – постоянство выпуска продукции данного качества... Таким образом, быстросменность производства – это признак, присущий не только мелкосерийному производству, как это принято считать, а характерный признак развития современной техники... необходимо видеть рождение нового вида производства со следующей характеристикой: *массовое быстросменное производство*... (курсив наш). Эта гигантской трудности задача должна быть решена для того, чтобы автоматизация из рычага технического прогресса не превратилась в его тормоз».

На наш взгляд, именно эта ситуация наблюдается в последние годы в отрасли мирового машиностроения. Отказ от автоматизации основного производства и переход на принципы гибкой технологии привёл, в конечном счёте, к снижению нормы прибыли в машиностроении по сравнению с остальными сферами производства продукции, а, следовательно, к оттоку капитала в другие отрасли и даже к его выводу из производственного цикла. Исправить это положение и вернуть привлекательность механической технологии для капиталовложений можно лишь, резко повысив прибыльность машиностроительной промышленности.

Из п.1 следует, что момент перевода производства на выпуск нового изделия должен совпадать с периодом морального износа T_m выпускаемой машины. Определение величины T_m является важной задачей маркетинговых исследований рынка, и она должна быть известна до начала производства того или иного изделия, так как по ней рассчитываются оптимальная программа выпуска и объём ожидаемой прибыли [1].

Так что же мешает одновременно со снятием изделия с выпуска полностью обновить производственную базу машиностроительного предприятия? Ответ очевиден – это разные экономически обоснованные сроки службы оборудования, которые, как правило, превышают период морального износа изготавливаемого изделия. Отсюда следует очень важный для стадии изготовления машины вывод: *оптимальный срок службы материальной производственной базы, включая оборудование, оснастку и другие средства технологического оснащения, должен быть равен периоду морального износа выпускаемого изделия*. Если принять это положение за основу, тогда выработанный в работе [1] подход для стадии эксплуатации машины полностью применим и для оптимизации процесса её изготовления. С одним лишь различием, которое заключается в том, что под изделием здесь понимается не отдельно взятая машина, а весь комплекс литейного, кузнечно-прессового, металлорежущего, сборочного, подъёмно-транспортного и иного вспомогательного оборудования и оснастки, используемого для изготовления изделий определённой конструкции.

Исходя из изложенного, удельные приведенные затраты на стадии производства должны рассчитываться по формуле [1]:

$$Z_{пр} = C_{пр} \tau + \frac{K_u}{\tau + 1} ; \frac{\text{у.е.с.}}{\text{у.е.в.}} \quad (9)$$

где $K_{и}$ – капитальные вложения на строительство и организацию производства новой машины, (у.е.с.); $C_{пр}$ – коэффициент текущих затрат на обслуживание функционирования производства, у.е.с./у.е.в.².

Минимум затрат по выражению (9) должен соответствовать периоду морального износа данной конструкции машины $T_{м}$. Тогда из формулы (9) получим следующие выражения для:

– величины морального износа

$$T_{м} = \sqrt{\frac{K_{и}}{C_{пр}}}; \quad (10)$$

– оптимальной величины капитальных вложений в производство

$$K_{и.опт} = C_{пр} T_{м}^2. \quad (11)$$

Если подставить (11) в формулу (7), получим выражение для расчёта прибыли машиностроительной фирмы, которая функционирует в соответствии со сформулированным выше принципом оптимального перехода на производство новой машины (полная замена производственной базы в момент смены выпускаемого изделия):

$$\Pi = \frac{T_{м}}{t_{д}} \left[0,5 \frac{T_{м}}{t_{д}} (\Pi_{и} - C_{и}) - C_{пр} \cdot T_{м}^2 \right]. \quad (12)$$

На рис.2. приведены результаты расчётов прибыли по формуле (12) в зависимости от величины морального износа машины и такта её выпуска для следующих условий: цена изделия $\Pi_{и}=1000$ у.е.с.; себестоимость изделия $C_{и}=800$ у.е.с.; коэффициент текущих производственных затрат $C_{пр}=10$ у.е.с./у.е.в.². Из него следует, что для каждого значения такта выпуска существует максимум прибыли и соответствующее ему оптимальное значение времени морального износа машины. Если взять производную по $T_{м}$ от выражения (12) и приравнять её к нулю, то получим

$$T_{м.опт} = \frac{\Pi_{и} - C_{и}}{3 \cdot C_{пр} \cdot t_{д}}; \text{ у.е.в.}, \quad (13)$$

то есть оптимальное значение морального износа изделий определённой конструкции при прочих равных условиях обратно пропорционально такту их выпуска. Когда же в качестве исходного данного фигурирует величина $T_{м}$, можно рассчитать оптимальную величину такта выпуска, обеспечивающую максимальную прибыль:

$$t_{д.опт} = \frac{\Pi_{и} - C_{и}}{3 \cdot C_{пр} \cdot T_{м.опт}}; \text{ у.е.в.} \quad (14)$$

Заметим, однако, что чем меньше $T_{м.опт}$, тем меньше величина максимальной прибыли, которую может получить данное предприятие (см.штриховую линию на рис. 2.).

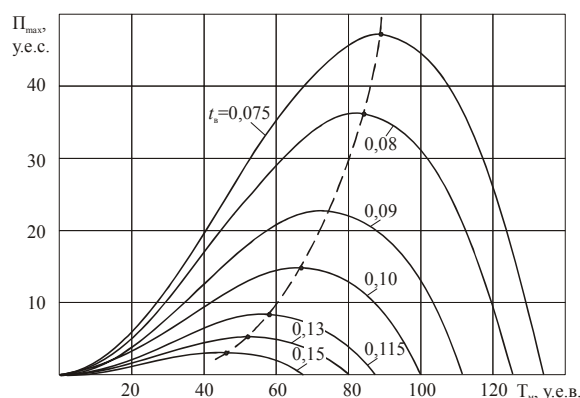


Рис. 2. Влияние периода морального износа машины и такта выпуска на максимальную прибыль предприятия: $\Pi_{и} = 1000$ у.е.с.; $C_{и} = 800$ у.е.с.; $C_{пр} = 10$ у.е.с./у.е.в.²

Подставив выражение (13) в (12) получим формулу для расчёта максимальной прибыли:

$$\Pi_{\max} = \frac{(\Pi_{\text{и}} - C_{\text{и}})^3}{54 \cdot C_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{д}}^4}; \text{ у.е.с.} \quad (15)$$

В выражении (15) по сравнению с (12) $\Pi_{\max}$ также обратно пропорциональна такту выпуска, но уже не во второй, а в четвёртой степени. Из (15) следует, что для получения максимальной прибыли необходимо: повышать разницу между ценой изделия и его себестоимостью; сокращать текущие издержки производства; уменьшать такт выпуска изделий. Если первые два пути являются традиционными и не вызывают сомнений у предпринимателей, то третий путь повышения прибыли требует более тщательного анализа по ряду причин.

Во-первых, зависимость между тактом выпуска и максимальной прибылью самая интенсивная (в четвёртой степени) и это свидетельствует о том, что наиболее эффективное средство повышения прибыльности предприятия заключено во всемерном снижении такта выпуска. Так из рис. 2 следует, что при снижении $t_{\text{д}}$ в два раза (с 0,15 у.е.в. до 0,075 у.е.в.) максимальная прибыль возросла почти в 16 раз (с 2,9млн.у.е.с. до 46,8 млн. у.е.с.).

Во-вторых, согласно выражению (13), уменьшение $t_{\text{д}}$ автоматически приводит к возрастанию оптимальной величины периода морального износа машины, который определяется в первую очередь степенью эффективности и конкурентоспособностью конструкции машины.

Таким образом, для обеспечения максимальной прибыли (см.рис.2), одновременно должны выполняться условия (13) и (14). Выражаясь по-другому, должна быть проведена одновременная оптимизация этапа проектирования машины через $T_{\text{м.опт}}$ и этапа её изготовления через $t_{\text{д}}$. Отсюда следует вывод: *конструкция машины и технология её изготовления тесно экономически взаимосвязаны между собой через максимально возможную прибыль.*

Следует отметить, что изложенное выше справедливо для производства, построенного на принципе оптимальной замены выпускаемых изделий. Как практически можно осуществить данный переход на выпуск новых машин без значительных потерь? Для этого, на наш взгляд, производственная база машиностроительного предприятия должна быть разделена на две равноценные части, из которых в данный момент времени функционирует одна, выпускающая традиционные изделия. В это же время во второй части происходит создание и оснащение производства для выпуска нового изделия с заранее определённым тактом выпуска. В момент достижения первой машиной морального износа происходит быстрый переход на выпуск новой машины, а прежнее производство подлежит полному демонтажу с последующей организацией производства более перспективного изделия. То есть на предприятии должны быть одновременно две параллельные производственные базы. Этот вариант позволит успешно разрешить поставленную профессором А.Г. Шаумяном проблему организации массового быстросменного производства.

Для устойчивого функционирования основного производства необходимо создание соответствующей материальной базы вспомогательного производства, основная задача которого заключается в проектировании и изготовлении средств технологического оснащения для производства новой машины. Причем эта работа должна вестись систематически в постоянном режиме, чтобы обеспечить оптимальный переход на выпуск более совершенного изделия. Так как в этой производственной сфере тип производства соответствует единичному и мелкосерийному характеру, то здесь целесообразно широкое применение принципов гибкой технологии. Мощное инструментальное и опытное производство должно служить третьей (основой) опорой современного машиностроительного предприятия и обеспечить тем самым устойчивость и высокую рентабельность машиностроения.

ВЫВОДЫ:

- Количество подлежащих изготовлению изделий необходимо рассчитывать на основе плановой прибыли и конкурентного уровня рентабельности предприятия-изготовителя.
- Основой для проектирования технологии производства машины должна быть оптимальная величина такта выпуска, а не тип производства.
- С целью быстрого и «безболезненного» перехода на выпуск новой машины срок службы основного технологического оборудования должен быть равен периоду морального износа выпускаемого изделия.

- Конструкция машины и её технология изготовления тесно экономически взаимосвязаны между собой. Для обеспечения максимально возможной прибыли предприятия необходимо, чтобы такт выпуска машины соответствовал её периоду морального износа.

Литература.

1. Петрушин С. И., Губайдулина Р. Х. Организация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 200 с.
2. Маркс К. Капитал. Критика политической экономики. Том 1. Процесс производства капитала. – Л.: Гос. изд. полит. литературы, 1949. – 794 с.
3. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.
4. Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х. Оптимизация перехода на производство новой продукции машиностроения. // Вестник машиностроения. – 2011. – №12. – С. 80-85.
5. Petrushin S. I., Gubaidulina R. K., Grubiy S. V. Optimization of Products Life Cycle // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 662-669
6. V.A. Petrova, A.A. Bakanov, A.V. Walter. Crack Resistance of Weld Seals, Hardening Methods and Composite Tools Quality // Applied Mechanics and Materials. vol. 682 (2014). pp.431- 437.
7. N. A. Saprykina, A. A. Saprykin, Influence of Layer-by-layer Laser Sintering Modes on the Thickness of Sintered Layer of Cobalt-chromium-molybdenum Powder, Applied Mechanics and Materials. 1040. (2014).pp.808-811.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ**

А.К. Абкарян, Ю.И. Гордеев, В.С. Громов

Сибирский федеральный университет

E-mail: abkaryan_artur@mail.ru

Методика и аппаратура исследований. Для получения твердосплавных и керамических композитов в работе использовались нанопорошки полученные методом ударно-волнового синтеза.

Приготовленные смеси использовались для изготовления штабиков для проведения испытаний на изгиб (ГОСТ 20019-94), резовых пластин формы 0227 (ГОСТ 25395-92), четырехгранных и пятигранных резовых пластин (ГОСТ 19052-90, ГОСТ 19065-90), твердосплавных оправок и волок для определения коэффициента стойкости, таблеток Ø10х10 мм для измерения твердости, трещиностойкости по методу Палмквиста (K_{IC}) и износостойкости, изучения микроструктуры.

На образцах разработанных материалов измерялись следующие физико-механические характеристики: в процессе спекания путем непрерывного фиксирования изменения линейных размеров образца измерялась усадка на dilatометре DIL 402; на спеченных образцах – плотность гидростатическим методом на трех образцах от партии по ГОСТ 20018-74; коэрцитивная сила на приборе “Кобальт” в соответствии с ГОСТ 24916-81; твердость по Роквеллу HRC- на приборе ТК с твердосплавными мерами на двух - трех образцах от партии по ГОСТ 20017-74; модуль упругости (модуль Юнга), внутреннее трение, предел прочности на изгиб, твердость по Виккерсу и коэффициент трещиностойкости (K_{IC}) по методу Палмквиста на микротвердометре ТП-7Р-1 путем измерения длины трещины, распространяющейся от угла отпечатка пирамидки Виккерса (нагружение при испытании 100, 200, и 300 Н); предел прочности на изгиб определялся в соответствии с требованиями ГОСТ 20019-74; анализ микроструктуры образцов твердосплавных и керамических композитов проводился на растровом электронном микроскопе HITACHI TM 1000 и растровом электронном микроскопе JEOL JSM-7001F с энергодисперсионным и волновым спектрометрами и комплектом пробоподготовки: автоматический пресс для запрессовки образцов Buehler Simpli Met 3000 прецизионный отрезной станок Buehler Iso Met 5000

Эксплуатационные и стойкостные испытания твердосплавных инструментов проводились по методикам НТЦ Кировградского завода твердых сплавов. Для получения достоверных данных о влиянии наочастиц на свойства твердых сплавов, каждая серия испытаний (начиная с подготовки исходных порошков) сопровождалась параллельным изготовлением контрольных образцов стандартных сплавов. Были проведены исследования твердых сплавов марок ВК6, ВК8, ВК10КС, ВК15, Т15К6, КНТ16, ЛЦК20, ТН20 – в сравнении с образцами аналогичных базовых составов, модифицированных добавками ультрадисперсных частиц оксида алюминия.

Результаты и обсуждение. В качестве модифицирующих добавок используют нанопорошки оксида алюминия и диоксида циркония, получаемые ударно-волновым синтезом. Характеристика порошков представлена в таблице 1 и на рисунке 1.

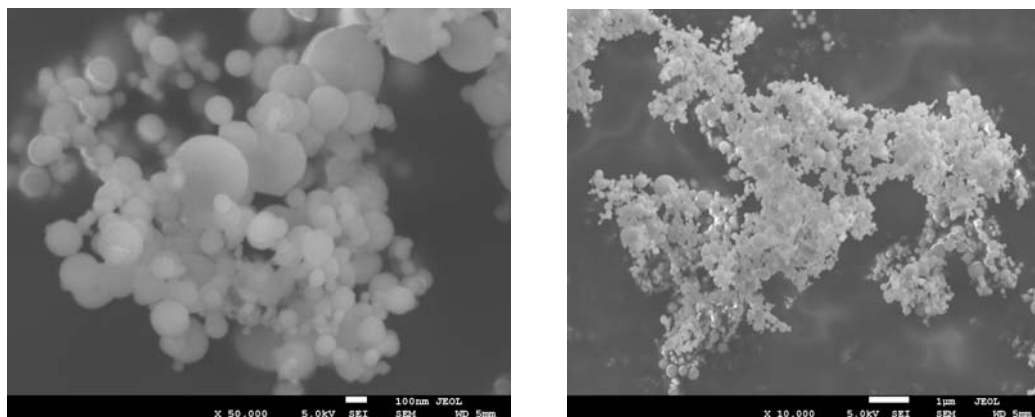


Рис. 1. Морфология исходных нанопорошков оксида алюминия и оксида циркония

Таблица 1

Характеристика порошков полученных
ударно-волновым синтезом

Наночастицы	Фазовый состав	Средний размер частиц, мкм
Al_2O_3	δ	0,067
Al_2O_3	α	0,006
$ZrO_2(Y_2O_3)$	тетр., куб.	0,030
ZrO_2	куб.	0,006
ZnO	куб.	0,006

Технология изготовления твердосплавных материалов и изделий модифицированных наночастицами практически не отличается от широко применяемых и наиболее распространенных во всем мире аппаратурно – технологических схем, и включает в себя следующие основные операции:

1. Изготовление порошков карбидов и кобальта (возможны более сложные комбинации с использованием карбидов титана, тантала, ванадия и др.);

2. Операции смесеприготовления (рассев, размол-смешивание, пластифицирование, гранулирование и т.д.); При пластифицировании производится дополнительное замешивание порошков WC-Co, TiC, TaC (в последствии образующих структуру твердого сплава) в растворе 4 % раствора каучука на бензине, либо в жидком парафине (как в большинстве импортных аппаратурно-технологических цепочек). В результате порошки практически недеформируемых твердых и прочных карбидов покрываются пленкой (слоем) пластификатора (каучука, парафина). После сушки пластифицированной смеси она подвергается протирке через сито с размером ячейки ~300 мкм для получения сферических гранул (гранулирование), которые хорошо заполняют полость матрицы прессформы и легко формуются в прессовки (заготовки) с небольшим удельным давлением прессования (0,5–0,7 т/см²).

3. Прессование. В зависимости от сложности формы изделия, габаритных размеров, программы выпуска изделий могут применяться гидравлические прессы, либо специализированные прессавтоматы (до 10-12 ходов в минуту, т.е. 10 прессовок-заготовок в минуту). Усилие прессования определяется исходя из площади прессуемой детали (удельное давление 0,5–0,7 тс/см²). Для наиболее сложных и ответственных изделий с высокими требованиями по плотности, прочности, ударной вязкости применяют технологию горячего изостатического прессования (ГИП).

4. Спекание. Окончательное спекание в печах периодического действия (садочных), либо конвейерного типа проводится в защитной среде либо в вакууме при температурах 1370–1470°C и времени выдержки от 1 до 2 часов по температурно-временной диаграмме нагрева в зависимости от состава твердосплавного композита, сложности формы, габаритов и др.

Преимуществом предлагаемой технологии получения модифицированных наночастицами твердосплавных композитов является сохранение базовой (стандартной) технологии без принципиальных изменений, требующих существенных затрат на оборудование и оснастку.

Отличительные технические особенности предлагаемой технологии заключаются во введении дополнительных операций и технологических приемов предварительной подготовки модифицирующих нанопорошков, а также особенностях смесеприготовления, обеспечивающих равномерное однородное распределение наночастиц по объему твердосплавного композита, исключение агломерирования при внедрении наночастиц в прослойку кобальта (связующего) при спекании.

Разработаны технологические процессы и регламенты на уровне лабораторных и апробированных при изготовлении опытно-промышленных партий изделий в условиях ПИ СФУ, ЦЗЛ и УНТЦ Кировградского завода твердых сплавов.

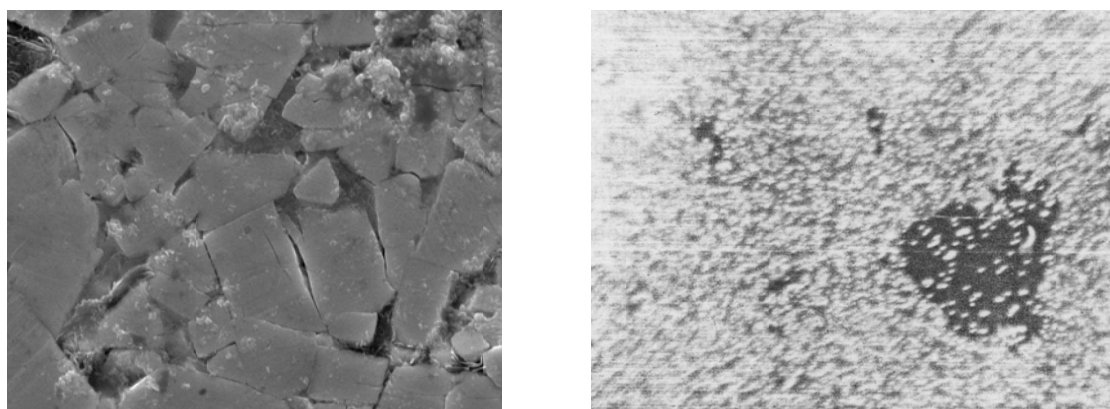


Рис. 2. Твердый сплав ВК – нанопорошки Al_2O_3 ; наночастицы в объеме между зернами WC (кобальтовая прослойка удалена травлением). Распределение Al_2O_3 в объеме кобальтовой связки

Таблица 2

Свойства твердых сплавов, модифицированных добавками Al_2O_3

Марка сплава	Физико-механические характеристики			
	плотность, ρ , г/см ³	твёрдость, HRA	прочность на изгиб, МПа	Коэрцитивная сила, H_c , эрстед
ВК6	14,66	89,8	1650	127
ВК6*	14,68	89,5	1710	128
ВК6	14,71	89,5	1430	122
ВК6*	14,53	89,5	1850	123
ВК8	14,28	89,5	1440	138
ВК8*	14,61	89,3	1940	111
ВК8	14,25	89,5	1280	132
ВК8*	14,47	89,2	1740	106
ВК10 КС	14,49	87,3	2100	98
ВК10КС*	14,21	87,4	2450	79
Т15К6	11,12	91,5	1060	160
Т15К6*	11,11	91,5	1330	162
Т15К6**	11,09	91,5	1770	163

Примечание: * – сплав с добавками Al_2O_{3f}

Причиной прерывистого развития магистральной трещины (рисунок 4) является, релаксация напряжений, возникающих в ее фронте при взаимодействии с включениями Al_2O_{3f} , присутствующими в структуре твердого сплава. Необходимо в этой связи подчеркнуть, что появление ступенчатой, дискретной трещины приблизительно соответствует области добавок частиц 0,3 % масс.

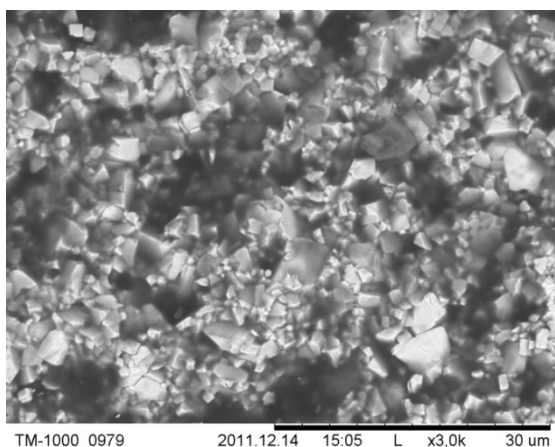


Рис. 3. Фрактограмма излома твердого сплава WC-Co-нано- Al_2O_3

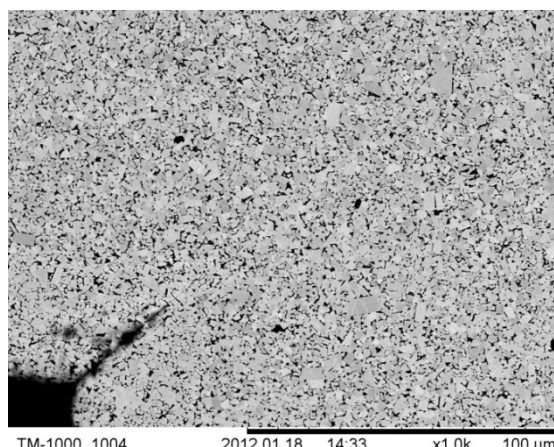


Рис. 4. Релаксация напряжений во фронте распространения трещины Палмквиста (от угла отпечатка пирамидки Виккерса)

Оценочные расчеты по теоретической модели для WC-Co-нано- Al_2O_3 (при содержании $\text{C}_2 \sim 0,3\%$) дают значение числа частиц Al_2O_3 , приходящихся на одно зерно WC ~ 30 частиц, т.е. концентрация частиц становится высокой, возрастает степень их контактности и конгломерирования.

Литература.

1. Gordeev Y.I., Bucaemsky A., Seher G., Teremov S. Microstructure and properties of various cermets strengthening by ultrafine chock-wave particles//Powder metallurgy world congress and exhibition//Spain.-v4.-1998.-P.140-146.
2. Гордеев Ю.И., Абкарян А.К., Зеер Г.М. Перспективы использования нанопорошков для повышения эксплуатационных характеристик твердосплавного инструмента, Технология машиностроения, №9, 2008 г., с.31-35
3. Ю. И. Гордеев, А. К. Абкарян, Г. М. Зеер, Конструирование и исследование твердосплавных и керамических композитов, модифицированных наночастицами, Перспективные материалы, №5, 2012, с. 76-88.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ БИОГАЗОВОЙ ЛИНИИ

*И.В. Козлова, ст-т 4 курса, А.Г. Ушаков, к.т.н., доцент кафедры ХТТТ
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф.Горбачева г.Кемерово
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел.:+7 (3842)- 39-69-60
E-mail: IrinaKozlova.1994@mail.ru*

Введение

Основанием для разработки данной работы является необходимость решения острой и актуальной проблемы образования больших количеств органических отходов [1].

Потенциальные экологические проблемы, связанные с переработкой отходов, это образование сточных вод, метана и неприятного запаха, а также загрязнение окружающих территорий. Проблемы никогда не исчезнут полностью, но благодаря хорошему планированию и менеджменту вред, наносимый окружающей среде, может быть значительно уменьшен.

Распространена переработка таких органических отходов методом анаэробного сбраживания с получением биогаза. Он известен давно и очень широко распространен, особенно в Европе. Но по окончании данного процесса в метантенке остается сброженный остаток, который составляет от 80 до 85% от массы исходного сырья [2].

Следовательно, если методом анаэробного сбраживания перерабатывать сотни тысяч тонн органических отходов биологических очистных сооружений и городских станций очистки воды, то получаемая после сбраживания биомасса создает большие сложности. Обычно применяемый метод получения из этого остатка удобрений в данном случае не рационален и экономически не выгоден.

Использование всей полученной биомассы в качестве удобрения не представляется возможным, поскольку в таких количествах они просто не нужны.

Известна возможность сжигания осадков сточных вод, в том числе избыточного активного ила после его обезвоживания, уплотнения или сушки [3]. Наличие органического вещества в сухом веществе осадка дает возможность рассматривать его как потенциальное топливо. Но, избыточный активный ил часто содержит высокоактивную в биологическом отношении твердую фазу. Присутствие таких веществ даже в малом количестве создает потенциальную опасность для биологических объектов биосферы. Соответственно, применение стадии анаэробного сбраживания является необходимым.

Цель работы – разработка технологии для максимально полной переработки органических веществ в газообразное топливо, включающее стадии получения биогаза и газификационной переработки твердого остатка процесса сбраживания с получением синтез-газа.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать установку газификации сброженного остатка и испытать ее в лабораторных условиях.
2. Исследование физико-химических свойств исследуемого сырья, наработка опытных образцов биогаза и газообразного топлива.

Экспериментальная часть

Исходя из поставленных задач, объектом исследования явился обезвоженный избыточный активный ил Кемеровских городских очистных сооружений, представляющий собой густую однородную массу черного цвета (кек) со специфическим запахом. Его отбирали непосредственно после стадии биологической очистки и механического обезвоживания.

Установки и методики проведения экспериментов

Экспериментальные исследования состояли из трех этапов:

1. Анаэробное сбраживание исходного сырья. Проводили в лабораторных условиях на установке, включающей два параллельно работающих метантенка, представляющих собой металлические герметичные емкости объемом 15 дм³, оборудованные патрубками для отвода биогаза и отбора проб жидкости, манометром и термометром для контроля давления и температуры. Экспериментально установлено, процесс протекает 20-25 суток, после чего выделение биогаза прекращается и дальнейшее сбраживание нерационально.
2. Термическая обработка сброженного остатка. Проводили для получения необходимой влажности остатка, и подготовки его к процессу газификации.
3. Газификация термообработанного сброженного остатка.

Схема лабораторной установки газификации сброженного остатка представлена на рис. 1.

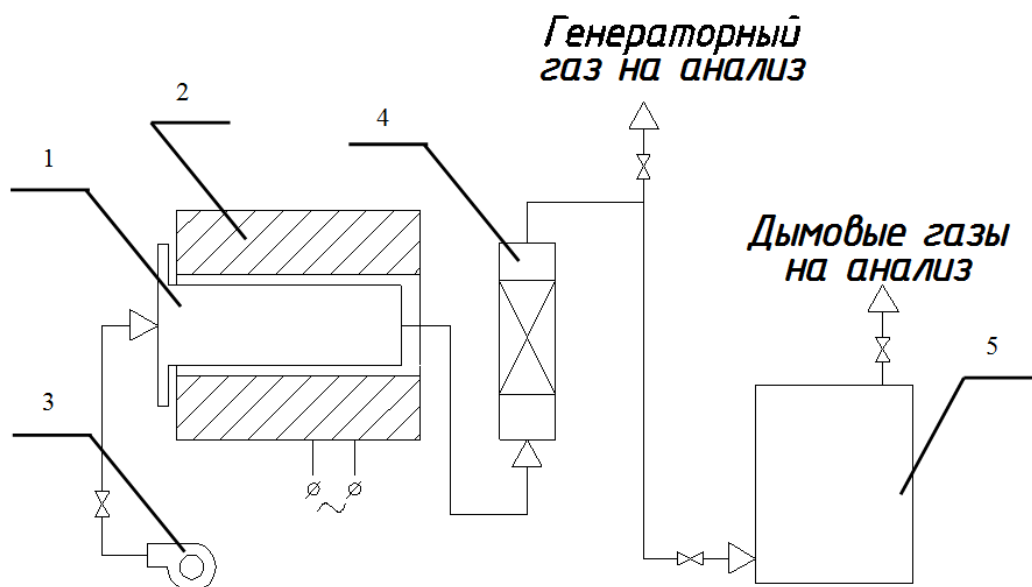


Рис. 1. Схема газификационной установки:

1 – реактор; 2 – высокотемпературная печь; 3 – газодувка; 4 – фильтр для очистки газа;
5 – водогрейный котел

Реактор, в котором осуществляли процесс газификации, представляет собой цилиндрическую металлическую емкость $V = 4 \text{ дм}^3$ с герметично закручивающейся крышкой. Пробы сброженного остатка $m=600-1000 \text{ г}$ помещали в реактор, куда при $T=800-1000 \text{ }^\circ\text{C}$ подавали воздух. При протекании процесса контролировали состав выделяющегося газа и состав продуктов его сжигания. Для этого использовали хроматограф «Цвет-800» и портативный переносной газоанализатор дымовых газов ПЭМ-4М, состоящим из блока анализатора и пробоотборного зонда.

Результаты и обсуждение

Установлено, что при анаэробном сбраживании избыточного активного ила, концентрация метана в биогазе составляет до 85-90 %об. Это является одним из наиболее высоких выходов метана из органических веществ при сбраживании.

Получаемый после газификации зольный остаток не содержит недожога углерода, то есть все органические вещества полностью переходят в газ. Это является одним из главных преимуществ предлагаемой технологии.

Выводы:

Проведенные исследования показали состоятельность предлагаемой технологии в лабораторных условиях. Разработанная установка позволяет провести процесс газификации с контролем всех параметров процесса и непрерывным анализом выделяющихся газообразных продуктов.

Литература.

1. Ушаков А.Г. Утилизация обезвоженного избыточного активного ила с получением топливных гранул // Вест. Кузбасс. гос. технич. ун-та. – 2010. – № 5. – С. 110-112.
2. Веденев А.Г., Веденева Т.А., ОФ «Флюид», Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. — Б. Типография «Евро», 2006. — 90с.
3. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ЛИНЗ ФРЕНЕЛЯ¹

В.В. Лапшин, д-р техн. наук, С.В. Грубый, Е.М. Захаревич*

ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» г.Москва

**МГТУ им. Баумана г. Москва*

141600, Московская обл., г.Клин, ул. Чернышевского, д.3, кв.72, тел.: +7-906-751-10-76

E-mail: vasylap@mail.ru

Назначение матриц со структурированными поверхностями:

Система бортового питания космического аппарата в составе солнечной батареи должна давать большую удельную мощность при малой массе. Для увеличения электрической мощности в фотоэлектрические модули солнечной батареи включают концентраторы излучения в виде линейной линзы Френеля. Главным образом линзы Френеля используют в качестве увеличительных линз, коллиматорных линз, а также в качестве концентраторов солнечной энергии [1 - 3]. Линзы Френеля могут иметь две базовые конфигурации: линейную и круговую. Линейные линзы имеют параллельные канавки и солнечный свет фокусируется в линию [4]. Наиболее успешно такие линзы подходят для изготовления композитных линзовых панелей солнечных батарей космических аппаратов. Применение оптических концентраторов позволяет сократить площадь солнечных элементов и увеличить срок службы батареи, так как концентраторы защищают солнечные элементы от воздействия космической радиации.

В Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН разработан способ изготовления линз Френеля для концентраторного фотоэлектрического модуля (RU 2456645) [5]. В ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана и реализована технология изготовления негативной матрицы для последующего изготовления позитивных копий линейной

¹ Работа выполнена в рамках Соглашения № 14.579.21.0042 от 25.08.2014 (уникальный идентификатор RFMEF157914X0042) между ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» и Министерством образования и науки РФ по теме «Разработка технологии и оборудования наноразмерной обработки алмазным монокристаллическим и абразивным инструментом оптических материалов в режиме квазипластичного резания».

линзы Френеля. В соответствии с предложенным способом матрицу с негативным профилем Френеля после ее изготовления методом алмазного точения закрепляют на плоском основании в специальном приспособлении. Перед обработанным профилем устанавливают стеклянную пластину, на которой со стороны, обращенной к профилю матрицы, нанесено прозрачное адгезионное покрытие, а с противоположной стороны - антиотражающее покрытие. Затем зазор между пластиной и матрицей заполняют жидким силиконовым эластомером и производят его вулканизацию. После этого готовую позитивную линейную линзу Френеля отделяют от пластины. Разработанная технология изготовления линейных линз позволяет улучшить их оптическое качество и снизить массу.

Негативная линейная матрица Френеля (рис.1) представляет собой полосу толщиной 2 мм и шириной 69,6 мм, с нарезанным профилем. Материалом для изготовления таких деталей может служить поликарбонат, оптическое оргстекло, медь М06 или алюминиевый сплав АМг6. Профиль матрицы Френеля состоит из двух одинаковых частей, шириной по 25 мм, расположенных параллельно друг другу, каждая из которых состоит из двух сегментов, симметричных друг другу. В каждом сегменте находится 50 канавок с различной глубиной и углом наклона профиля. Таким образом, профиль матрицы Френеля состоит в общей сложности из 4-х сегментов и общее количество канавок составляет 200 штук. Сегмент 2 является зеркальным отображением сегмента 1, а сегмент 4 – зеркальным отражением сегмента 3 (рис.1). Глубина канавок профиля варьируется от 2,3 мкм до 185 мкм, при этом угол наклона изменяется в пределах от $0,53^\circ$ до $36,4^\circ$.

К матрицам предъявляются высокие требования по качеству поверхности и точности изготовления. Шероховатость структурированных поверхностей должна быть не более $Ra\ 0,01$ мкм, допуск на основные линейные размеры h и a составляет менее 1 мкм, допуск на угловой размер δ составляет $0,1^\circ$.

Для изготовления матриц с указанными требованиями по точности и качеству использовано алмазное точение на сверхточном станке с ЧПУ.

Требования к сверхточному станку для изготовления матриц:

Матрицы обрабатывают на сверхточном станке с ЧПУ «Асферика». Станок предназначен для алмазного точения и фрезерования сверхточных поверхностей деталей из различных материалов. Станок позволяет обрабатывать осесимметричные поверхности сложной формы с оптическим качеством, в т.ч. асферические, аксиконы и френелевую оптику.

Станок «Асферика» имеет следующие характеристики:

- аэростатические опоры в основных формообразующих узлах;
- приводы станка синхронные, линейные, маловиброактивные;
- станина станка установлена на виброизолирующих опорах;
- система ЧПУ станка обеспечивает погрешность позиционирования менее 0,1 мкм.

Станок оснащён метрологическим оборудованием для выставления инструмента в центр вращения поворотного стола. При обработке оптических элементов станок позволяет обеспечить шероховатость поверхности менее $Ra\ 0,01$ мкм и погрешность формы менее 1 мкм.

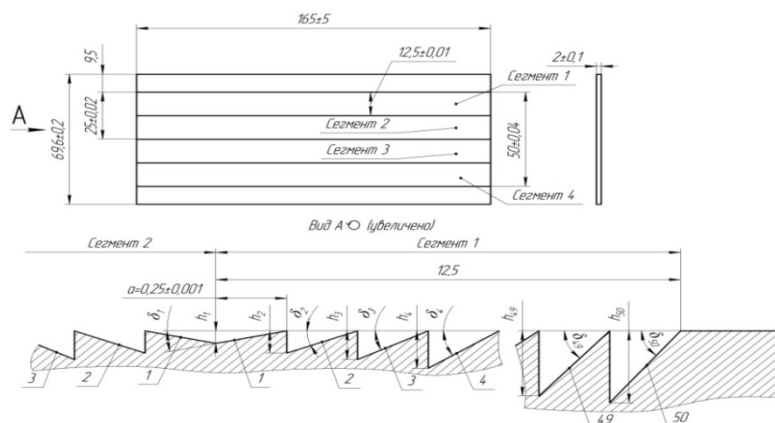


Рис. 1. Линейная негативная матрица Френеля

Режущие инструменты

В качестве режущего инструмента использованы алмазные резцы со специальной геометрией режущей части. Шероховатость рабочих поверхностей таких резцов должна быть менее $Ra\ 0,01$ мкм,

а радиус округления режущей кромки r должен составлять 30-50 нм. Таким условиям соответствуют только резцы из природного монокристаллического алмаза. Для обработки матриц использованы острозаточенные алмазные резцы отечественного производства (рис.2) и алмазные резцы с радиусом при вершине 20 мкм голландской фирмы Contour (рис. 3). Погрешность изготовления радиуса резца при вершине голландского резца составляет менее 1 мкм. Использование инструмента с заданным радиусом при вершине позволяет внести в управляющую программу необходимые коррективы на радиус и повысить точность обработки профиля.

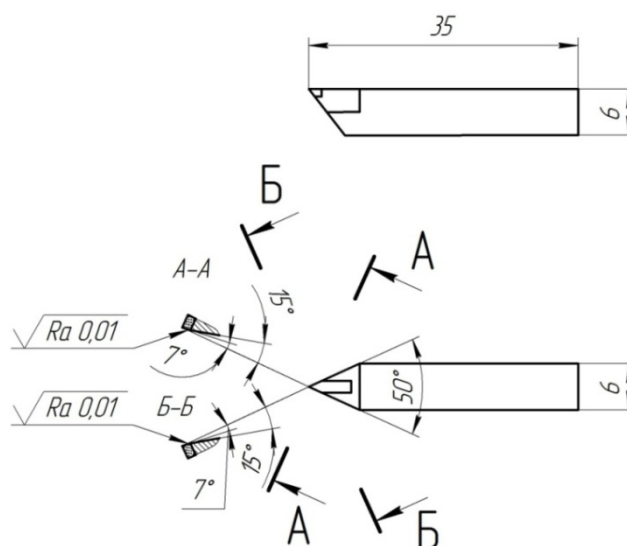


Рис. 2. Острозаточенный алмазный резец для обработки матриц

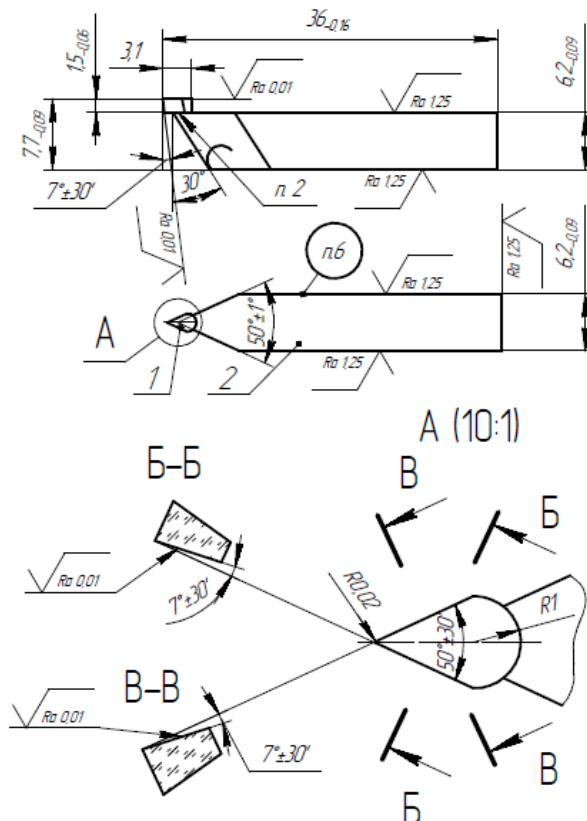


Рис. 3. Алмазный резец с радиусом 0,02 мм

Технология изготовления и режимы обработки

Для изготовления матриц используется полоса из материала: медь, оргстекло, алюминий. Полоса шириной 70 мм и длиной 1055 мм устанавливается на цилиндре диаметром 350 мм и натягивается с помощью специального механизма, так чтобы обеспечивалось её плотное прилегание. После обработки полосу разрезают на 5 частей длиной по 165 мм, каждая из которых может использоваться в качестве матрицы. Алмазный резец устанавливается в резцедержатель, который располагают на поворотном столе. Используемый резцедержатель имеет возможность регулировки инструмента по высоте, для того чтобы с высокой точностью выставить резец по высоте центров шпинделя.

Перед обработкой матриц, необходимо выполнить подготовительные операции. После установки полосы на станок необходимо её проточить до требуемого размера по толщине и ширине. Точение по наружному цилиндру выполняется алмазным резцом с радиусом при вершине 2 мм, а подрезание торцев осуществляется черновым острозаточенным резцом. Обработка выполняется на ускоренных режимах, так как при предварительной обработке не требуется высокая точность и качество поверхности. Затем в резцедержатель устанавливается алмазный резец для обработки матриц. Совмещение вершины инструмента с центром вращения поворотного стола выполняется с помощью микроскопа, перекрестие которого предварительно совмещено с центром.

Далее выполняют наладку с целью определения положения инструмента в системе координат относительно обрабатываемой детали. Для этого на станок устанавливают увеличительную камеру, с помощью которой определяют касание инструмента с обрабатываемой деталью. Также определяются угловые координаты, при которых правая и левая режущая кромка резца становятся параллельными образующей обрабатываемой полосы. После выполнения подготовительных операций в систему ЧПУ станка заносятся корректоры, которые задают необходимые системы координат. Из-за особенностей наладки системы координат для правой и левой режущей кромки инструмента задаются отдельно.

После выполнения всех подготовительных наладок и составления текста программы обрабатывается профиль матрицы. Последовательность обработки профиля состоит из следующих основных этапов:

1. Подвод резца в стартовую позицию и установка его под необходимым углом.
2. Прорезание первой канавки врезным методом с оставлением припуска t на чистовой проход.
3. Подвод резца в стартовую точку для обработки канавки по профильному методу.
4. Обработка канавки по профильному методу.
5. Чистовое подрезание торца канавки.
6. Пункты 1 – 5 повторяются для необходимого количества канавок n , при этом каждая канавка имеет различные параметры δ и h .
7. Обработка второй симметричной секции с канавками.

Схема обработки и последовательность нарезания профиля матрицы показаны на рисунках 4,5.

Установлены рациональные режимы обработки: частота вращения шпинделя $n = 270$ об/мин, подача $S = 2$ мкм/об.

По заказу Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН по разработанной технологии выполнена обработка матриц из поликарбоната, оргстекла и меди с использованием острозаточенных и радиусных резцов. После обработки каждой матрицы проводился необходимый метрологический контроль параметров шероховатости и точности обработки. В качестве измерительного оборудования использовалась система NanoFocus® μ Surf, в которой реализован принцип конфокальной микроскопии. Ввиду того, что данный прибор не может выполнять сканирование поверхностей с большими наклонами, измерения шероховатости и точности обработки выполнялись на канавках с углом наклона не более 10° .

По результатам контроля шероховатости было выявлено, что наилучшие показатели были достигнуты при обработке матриц из оргстекла с использованием острозаточенного резца:

- шероховатость $Ra - 0,015$ мкм;
- погрешность шага $a -$ менее 1 мкм;
- погрешность угла $\delta -$ менее $0,1^\circ$.

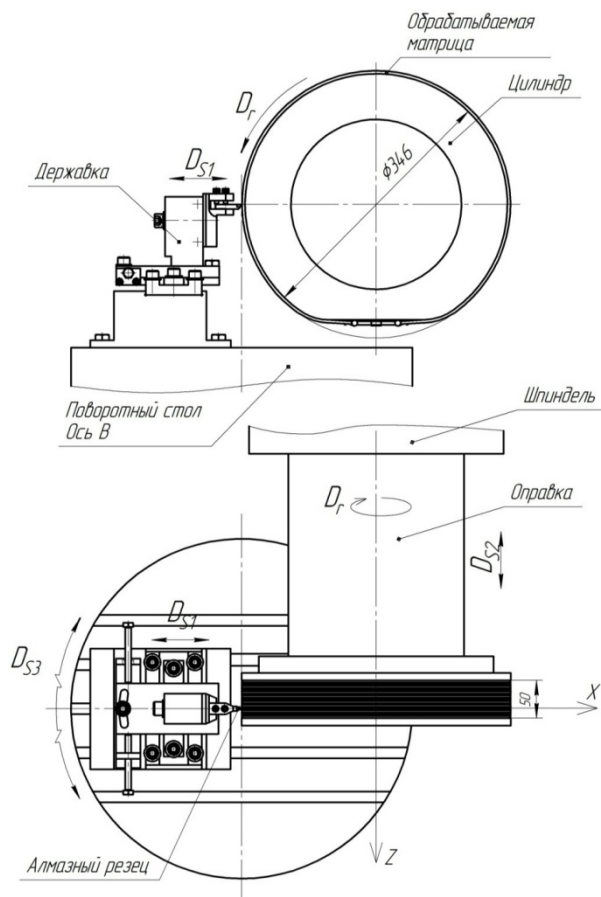


Рис. 4. Кинематическая схема обработки матриц для линз Френеля

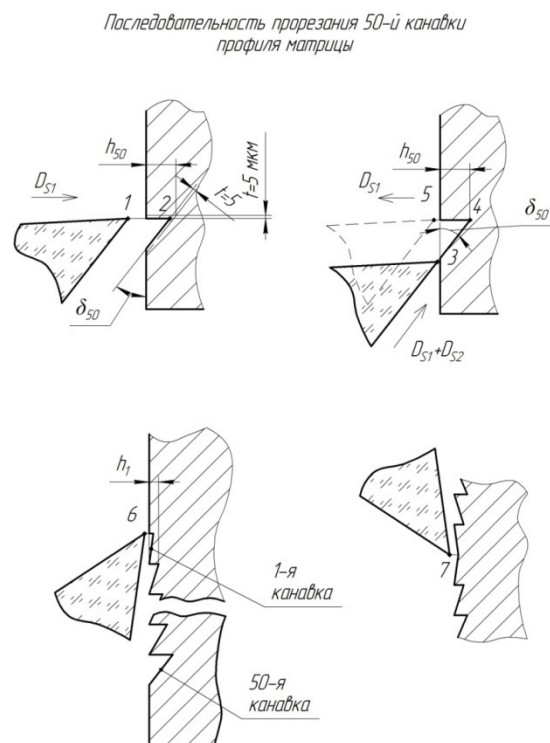


Рис. 5. Последовательность нарезания профиля матриц для линз Френеля

Выводы:

В статье приведены конструктивные особенности матриц со структурированными поверхностями и линейных линз Френеля, которые изготавливают с помощью таких матриц. Представлены требования к сверхточному оборудованию и алмазным монокристаллическим резцам для обработки структурированных поверхностей. Изложена технология обработки матриц, приведены режимы и условия алмазного точения. Приведены результаты метрологического контроля обработанных матриц по точности профиля и шероховатости обработанных поверхностей.

Литература.

1. Davis A., Kuhnlenz F. Optical design using Fresnel lenses. Basic principles and some practical experiment // Optic and Photonic. 2007. №4. P. 52-55.
2. Gaurav A. Madhugiri, Karale S.R. High solar energy concentration with a Fresnel lens: a review // International Journal of Modern Engineering Research. 2012. Vol.2. P. 1381-1385.
3. Sierra C., Alfonso J. Va'Zquez. High solar energy concentration with a Fresnel Lens // Journal of Materials Science. 2005. №40. P. 1339-1343.
4. Khamooshi M., Salati H., Egelioglu F. A review of Solar Photovoltaic Concentrators // International Journal of Photoenergy, 2014. Vol. 14, P. 1-17.
5. Патент РФ № 2456645, 20.07.2012.
6. Petrushin S.I. Calculation of residual stresses in multilayer composite materials. // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 379. P. 95-100.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10P6M5 ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ

И.А. Исакин, аспирант, И.Ю. Зыков, к.т.н.

Научный руководитель: Гнусов С.Ф., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, тел. 634050

E-mail: zidanka9@gmail.com

Введение

Контактирование реальных твердых тел в парах трения осуществляется в отдельных зонах. В этом и состоит суть дискретности контакта реальных поверхностей. Сумма этих малых площадок представляет собой фактическую или реальную площадь контакта тел на которую и действует основное прикладываемое к паре трения давление. В результате такого воздействия микронеровности поверхностей и нижележащие объемы материалов тел деформируются, передеформируются, разрушаются. Происходит износ пары трения. Для решения задач, связанных с упрочнением рабочих поверхностей, в последнее время очень активно используются способы, связанные с применением концентрированных потоков энергии [1]. Это позволяет увеличить стойкость металлорежущего и штамповочного инструмента до 5 раз, а также увеличить сопротивление износу деталей машин в несколько раз. Однако для тяжело нагруженных пар трения только оплавление рабочих поверхностей выполненных из конструкционных сталей является недостаточной операцией упрочнения. Поэтому создаются композиционные покрытия различного состава на рабочие поверхности. Чаще всего они имеют высокую твердость и на контактных поверхностях преждевременно растрескиваются, выкрашиваются, что приводит к преждевременному выходу из строя пары трения. Судя из анализа работы пар трения на рабочих поверхностях необходимо изначально создавать дискретные зоны контакта, твердость которых должна быть больше или меньше твердости основного покрытия. Это позволит резко уменьшить износ в такой паре трения за счет контактирования по более твердым зонам, а пластичные участки поверхности будут обеспечивать релаксацию напряжений и торможение развития трещин. Создать такие дискретные зоны контакта на предварительно упрочненной поверхности возможно только воздействием концентрированных источников энергии (импульсное лазерное или электронно-лучевое воздействие). При этом наиболее важными являются исследования по выбору геометрии зон контакта и параметров режима импульсной лазерной или электронно-лучевой обработки.

Целью данной работы является исследование влияния точечного лазерного оплавления с частичным перекрытием оплавляемых зон предварительно упрочненной поверхности на основе стали 10P6M5 на микроструктуру и микротвердость литой зоны и ЗТВ.

Материал, оборудование и методика проведения исследований

Для поверхностного лазерного оплавления использовали упрочняющие слои, которые были получены методом электронно-лучевой наплавки в вакууме. Для наплавки использовали порошок быстрорежущей стали ПР-10P6M5 и композиционную смесь «сталь ПР-10P6M5+20% WC», в качестве основного металла образцы, изготовленные из стали 20. Методика подготовки наплавочных смесей и наплавки подробно описана в работе [2]. После наплавки часть образцов подвергалась термической обработке – отпуску при температуре 843 К (сталь 10P6M5) и 883 К (сталь 10P6M5+20% WC) в течение 1 ч. с последующим охлаждением на воздухе.

Исходная микроструктура упрочненного слоя на основе стали 10P6M5 представляет собой мартенситно-аустенитную матрицу (75:25). Упрочняющая фаза в покрытиях представлена карбидами M_6C , M_2C и VC . Карбид M_6C расположен по границам зерен матрицы в виде эвтектической сетки. В покрытии «сталь 10P6M5+20% WC» матрица находится в аустенитно-мартенситном состоянии (~85:15 %). В процессе однократного отпуска уменьшается объемное содержание аустенита до ~50% от общего объема матрицы и происходит дополнительное выделение вторичного карбида.

Проводили лазерное оплавление плоской поверхности покрытий размером 25×4,5 мм (высота образца 8 мм, толщина наплавленного слоя 4 мм). Данная поверхность перед оплавлением подвергалась механическому шлифованию и полированию на алмазных пастах различной дисперсности.

Для оплавления образцов применялась лазерная установка «BlackLight» на основе неодимового лазера с ламповой накачкой и управляемым разрядом производства ООО «Лазерный центр» г. Санкт-Петербург. Установка состоит из блока излучателя и технологической бинокулярной приставки.

Для создания дорожки оплавления поверхность наплавки облучалась одиночными импульсами с перекрытием точечных зон не более чем 0,5 их радиуса. При облучении варьировалась длитель-

ность импульса, от которой в конечном итоге зависит его энергия (см. таблицу 1). С увеличением длительности импульса его энергия возрастает не пропорционально из-за ограниченной величины напряжения конденсатора источника лазерного излучения. Газовая защита не применялась.

Таблица 1

Параметры режимов лазерной обработки							
Длительность импульса, мс	2	4	6	8	10	15	20
Энергия импульса, Дж	2.2	4.2	5.5	7	7.3	9	10
Импульсная мощность, кВт	1.1	1.05	0.917	0.875	0.73	0.6	0.5
Диаметр зоны обработки, мм	0.52	0.66	0.73	0.78	0.79	0.8	0.85
Плотность мощности, кВт/см ²	518	307	219	183	149	119	88
Удельный энергозатрат, Дж/см ²	1036	1228	1314	1466	1490	1791	1763

После оплавления поверхности лазером она полировалась для удаления окисной плёнки. Для исследования глубины оплавления и величины зоны термического влияния образцы разрезались параллельно оси пучка по диаметру оплавленной точки с помощью электроэрозионной резки. Для выявления структуры ЗТВ микрошлифы подвергали травлению 2% раствором HNO₃ в этиловом спирте. Структуру литого ядра выявляли с помощью травления в смеси кислот HNO₃ и HCl (1:3). Микроструктуру исследовали с помощью оптического микроскопа (ОМ) Olympus GX 51, снабжённого анализатором SIAMS 700.

Результаты и обсуждения

Макро- и микроструктура. На рисунке 1 представлен внешний вид оплавленных областей композиционных покрытий сталь 10P6M5 (а) и «сталь 10P6M5+20% WC» (б). Видно, что они имеют округлую форму, которая состоит из литого ядра и тонкой более темной оторочки по его периметру. В данной оторочке можно выделить несколько колец (от 3 до 6 в зависимости от режима обработки) отличающихся по цвету и толщине. Данные кольца можно отнести к ЗТВ. Диаметр зоны литого ядра с ЗТВ увеличивается с ростом длительности импульса от 520 мкм при $\tau_{\text{имп}}=2$ мс до 850 мкм при $\tau_{\text{имп}}=20$ мс. При этом минимальный диаметр литого ядра составляет 430 мкм, а максимальный - 660 мкм. Для покрытия сталь 10P6M5 в центре литого ядра фиксируется небольшое углубление, на поверхности которого остается окисная пленка.

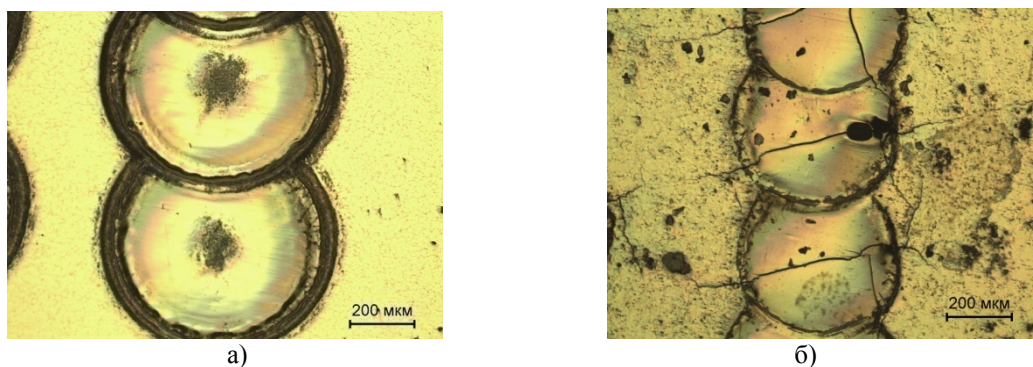


Рис. 1. Внешний вид зон оплавления наплавки 10P6M5 (а) и 10P6M5+20% WC (б)

Для композиционного покрытия «сталь 10P6M5+20% WC» (б) наблюдаются трещины, проходящие по литому ядру, ЗТВ и частично по объему основного покрытия. Формирование трещин в композиционном покрытии можно связать как с увеличением объемной доли эвтектических карбидных выделений (M₆C), так и с увеличением их средних размеров расположенных по границам зерен матрицы.

На рисунке 2 представлена типичная микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра. Анализ всех поперечных сечений показал, что минимальная глубина проплавления составляет 40 мкм при $\tau_{\text{имп}}=2$ мс, а максимальная - 350 мкм при $\tau_{\text{имп}}=10-20$ мс. Размер ЗТВ в зависимости от режима обработки изменяется в интервале 30-150 мкм. В литом ядре по степени травимости явно выделяют-

ся две зоны (А и Б, рис. 2а, в). Зона А состоит из однородной дисперсной двухфазной структуры, которая имеет дендритно-ячеистое строение (рис. 2б). Зона Б слабо протравливается и имеет в основном дендритное строение, более мелкое чем, в зоне А. Объёмная доля зоны А для композиционного покрытия «сталь 10P6M5+20% WC» по сравнению с покрытием на основе стали 10P6M5 больше, чем зоны Б (рис. 2а и рис. 3а).

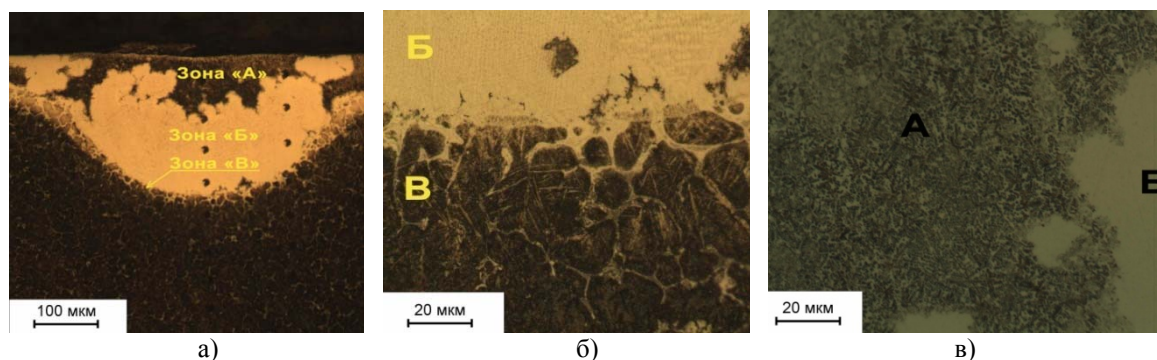


Рис. 2. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий сталь 10P6M5

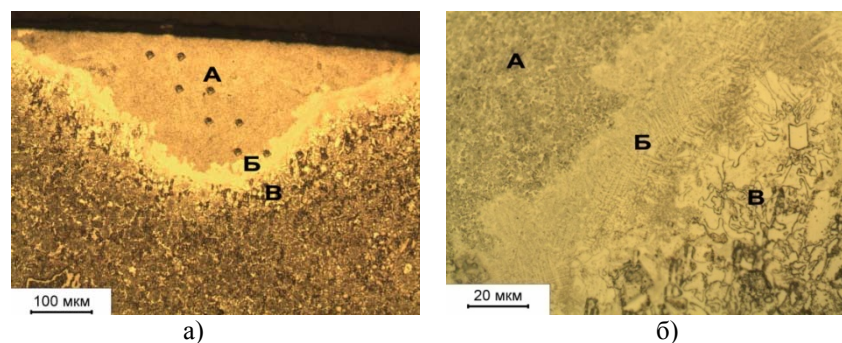


Рис. 3. Микроструктура поперечного сечения литого ядра покрытий «сталь 10P6M5+20% WC»

Структура ЗТВ (зона В, рис. 2б) состоит из зёрен исходной матрицы и эвтектики по границам зерен, которая частично подверглась переплаву в ходе воздействия лазерного луча (см. слабо протравленные участки границ зерен, находящиеся в непосредственном контакте с литым ядром, рис. 2б). Это обусловлено более низкой температурой плавления эвтектики аустенит – карбид M_6C . В самих зернах матрицы ЗТВ явно фиксируются иглы мартенсита, проходящие через все аустенитное зерно, в то время как в основном покрытии мартенситные иглы оптической металлографией не фиксируются (так называемый бесструктурный мартенсит, рис. 2б).

На рисунке 3 представлена микроструктура поперечного сечения оплавленного ядра в покрытии «сталь 10P6M5+20% WC». Видно, что зона А в данном покрытии занимает практически 80...90% объема литого ядра. Зона Б примыкает непосредственно к ЗТВ и имеет дендритное строение, рисунок 3б. Зона термического влияния имеет грубые выделения эвтектического карбида M_6C , объемная доля которых значительно выше, чем в основном материале покрытия (рис. 3в). Это обусловлено не полным растворением более грубых исходных эвтектических карбидов M_6C и последующим их ростом в ходе кристаллизации расплавленного объема. Данная причина является основной в формировании и развитии трещин как по ЗТВ, так и по объему самого литого ядра.

Образующаяся в данном исследовании микроструктура согласуется с результатами публикаций [3-5]. В данных исследованиях были обнаружены тёмные и светлые зоны в литом ядре с ультрадисперсной структурой, обладающей химической однородностью. Структура светлой зоны имеет дендритно-ячеистое строение, междендритное расстояние в которой не превышает 0.5 мкм, и состоит из непрерывной сетки эвтектических карбидов, γ - и α -фаз. Тёмная зона более грубая по структуре и состоит из кристаллов γ - и α -фаз и сетки эвтектических карбидов [4, 5].

Микротвёрдость. На рисунке 4 представлены профили микротвёрдости облучённых лазером покрытий сталь 10P6M5 и «сталь 10P6M5+20% WC». После облучения покрытия сталь 10P6M5, зона А имеет твёрдость близкую по значению исходному материалу и равняется 6.3 ГПа (разброс значений со-

ставил 0.35 ГПа, рис. 4а). В зоне Б значение микротвёрдости выше, чем в основном материале и равняется 8.1 ГПа (разброс значения 0.5 ГПа). В ЗТВ микротвёрдость такая же, как и в исходном покрытии.

В покрытии «сталь 10P6M5+20% WC», после облучения лазером, твёрдость в зонах А и Б ниже, чем в основном покрытии и составляет 6.7 и 7.9 ГПа соответственно (в основном покрытии HV=9 ГПа, рис. 4б). Разброс значений микротвёрдости в этих зонах не превышает 0.3 ГПа. В ЗТВ значения микротвёрдость не существенно отличаются от значений в основном покрытии.

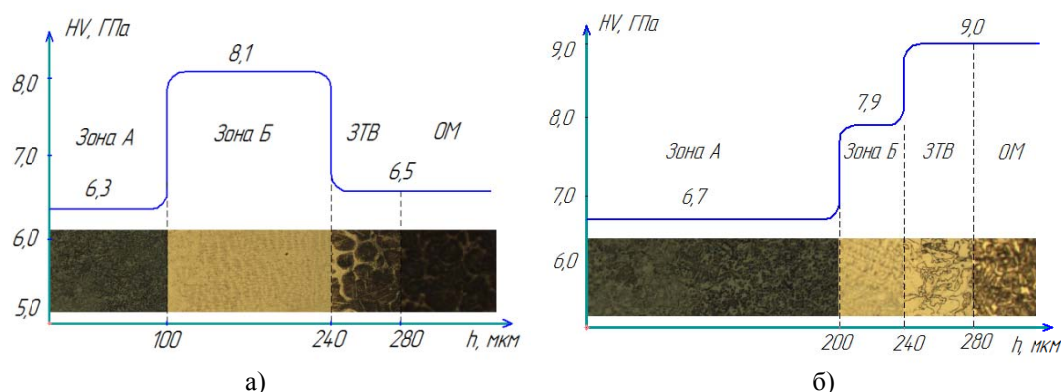


Рис. 4. Распределение средних значений микротвёрдости по зонам литого ядра и ЗТВ облучённых лазером ($\tau_{\text{имп}}=15$ мс) покрытий сталь 10P6M5 а), «сталь 10P6M5+20% WC» б)

Проведенные исследования нуждаются в более детальном анализе структуры с помощью рентгенофазового анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии.

Литература.

1. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Гнусов С.Ф., Дураков В.Г. Электронный луч в формировании неравновесных структур. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 115 с.
3. Kwok C.T., Cheng F.T., Man H.C. // Surface & Coatings Technology, 202 (2007), P.336–348.
4. Benyounis K.Y., Fakron O.M., Abboud J.H. // Materials and Design, 30 (2009), P.674–678.
5. Liu Z. H., Zhang D. Q., Chua C.K., Leong K.F. // Materials Characterization, 84 (2013), P.72 – 80.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЗЕРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ

Д.Б. Шатко¹, к.т.н., доцент, В.С. Люшин^{1,2}, к.т.н., доцент, В.Н. Бакуменко², студент

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

² Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел./факс: 8 (384-51) 6-26-83

E-mail: lwsfoa@rambler.ru

Введение

В настоящее время большое количество работ посвящено исследованию влияния формы абразивных зерен на процесс резания. Результаты данных исследований убедительно доказывают важность параметра «коэффициент формы» абразивного зерна [7, 11, 20, 21, 23, 24]. Исходя из этого, можно утверждать, что в долгосрочной перспективе разработка новых конструкций шлифовальных инструментов на гибкой основе с использованием классифицированных по признаку формы абразивных зерен не утратит своей актуальности.

Комплексный подход к проблеме изучения влияния формы абразивных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов на гибкой основе позволил уделить большое внимание всем стадиям их жизненного цикла. В частности решен широкий спектр задач, касающийся анализа формы единичных абразивных зерен, изучения их режущей способности и прочности, изготовления опытных партий инструментов, на конструкции которых получены патенты на изобретения, а также исследования их характеристик.

Методика исследования

Рассмотрим ключевые этапы данной работы.

Как известно, при изготовлении шлифовальных зерен по технологии, предусматривающей дробление слитков абразивного материала на различном оборудовании с последующим рассевом на ситах, абразивные зерна приобретают произвольную форму. Форма может варьироваться в достаточно широком диапазоне: от пластинчатых (иглообразных) до изометрических (сферообразных) разновидностей [6]. Применительно к абразивным материалам установлено, что форма зерна, приобретаемая им в процессе изготовления, во многом зависит от химсостава выплавляемого слитка, его размеров, режима охлаждения, способа дробления и т.д. Влияние этих параметров предопределяет форму и геометрию зерна в ходе измельчения абразивного слитка.

С целью выделения из стандартной абразивной массы фракций зерен с одинаковой формой использовались модернизированный вибрационный сепаратор [1, 7] и электростатический сепаратор. В качестве примера ниже приведен принцип действия вибрационного сепаратора (рис. 1). Узкокласифицированный по крупности абразив, подлежащий сепарации, равномерно поступает из питателя-дозатора 1 на вибрирующую деку 2. Под воздействием направленных колебаний, вызываемых вибровозбудителем, а также в результате действия сил собственной тяжести и трения, происходит передвижение абразивных зерен 3 по плоскости деки. Менее шероховатые частицы округлой формы, так называемые изометрические зерна, скатываются вниз по плоскости в соответствующие ячейки-приемники 4. Зерна промежуточной формы перемещаются преимущественно в поперечном направлении и собираются в боковых ячейках. Плоские и игольчатые зерна поднимаются вверх по наклонной плоскости и попадают в верхние приемники.

После сепарации каждая фракция зерен подвергалась дальнейшей оценке по параметру формы, для чего привлекались качественные и количественные подходы [23].

Принцип оценки формы зерна по качественным методам основан на отнесении зерна по некоторым признакам в соответствующую группу форм – изометрическую, промежуточную и игольчатую (пластинчатую). Наряду с быстротой оценки формы зерен при использовании методов качественной оценки, им присущи характерные недостатки, а именно субъективность классифицирования, поскольку оценка формы зерна осуществляется по одной проекции, тогда как само зерно является объемным телом. Исходя из этого, можно рекомендовать методы качественной оценки лишь при первоначальном анализе форм абразивных зерен.

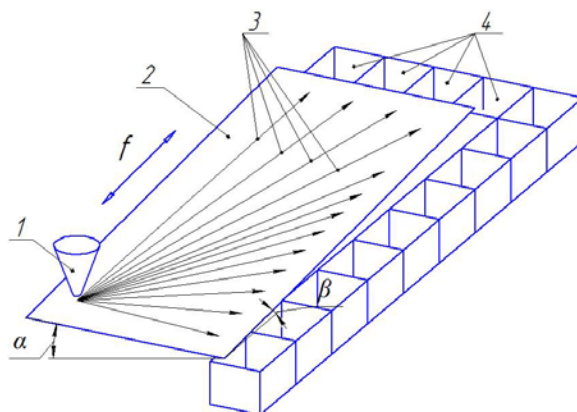


Рис. 1. Распределение шлифовального зерна по вибродеке в зависимости от формы

Для исследования влияния формы шлифовальных зерен на эксплуатационные характеристики шлифовальных инструментов более предпочтительны методики количественной оценки, базирующиеся на определении параметра «коэффициент формы» – K_ϕ , для расчета которого необходимо получить проекцию зерна на горизонтальной поверхности [15]. Известны следующие наиболее распространенные подходы к определению коэффициента формы:

Коэффициент формы рассчитывается как отношение максимальной длины проекции (l) к ее ширине (b):

$$K_\phi = \frac{l}{b} \quad (1)$$

При другом подходе коэффициент формы определяется как отношение описанной вокруг проекции зерна окружности (D) к вписанной в нее окружности (d):

$$K_{\phi} = \frac{D}{d} \quad (2)$$

Перечисленные методы определения коэффициентов формы основаны на обработке горизонтальной проекции зерна, что приводит к неточностям при анализе.

Методика, основанная на исследовании двух проекций – горизонтальной и боковой при оценке формы зерна, дает более точные результаты измерений и позволяет исключить неточности в сравнении с методами оценки формы в одной горизонтальной плоскости. Графическая интерпретация метода оценки формы абразивного зерна по двум проекциям представлена на рис. 2.

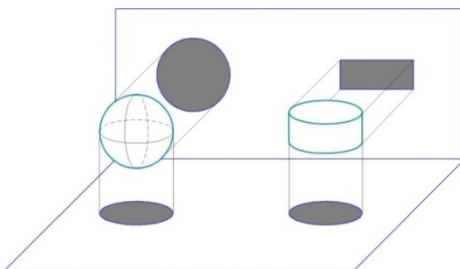


Рис. 2. Оценка формы зерен по горизонтальной и боковой проекциям

Количественная характеристика формы зерна в данном случае имеет следующий вид:

$$K_{\phi}^o = \frac{K_{\phi}^z}{K_{\phi}^b}, \quad (3)$$

где K_{ϕ}^o - объемный коэффициент формы;

K_{ϕ}^z - коэффициент формы горизонтальной проекции;

K_{ϕ}^b - коэффициент формы боковой проекции.

Помимо оценки по параметру коэффициент формы единичные абразивные зерна из каждой выделенной фракции исследовались также на режущую способность, ударную и статическую прочность. Результатом данных исследований явилось выявление закономерностей влияния не только формы, но и угла ориентации абразивных зерен на их режущую способность и ударную прочность [12, 22].

После выделения требуемого количества абразивных зерен с одинаковой формой были изготовлены опытные партии шлифовальных инструментов на гибкой основе – лепестковые круги и ленты [5, 14]. С целью всесторонних исследований влияния формы зерен на эксплуатационные характеристики, были изготовлены три группы инструментов в соответствии с требованиями ГОСТов, содержащих в своей структуре узкоклассифицированные по форме зерна – изометрические со средним коэффициентом формы $K_{\phi} \approx 1,2$, промежуточные ($K_{\phi} \approx 1,6$) и игольчатые ($K_{\phi} \approx 2,2$).

На рис. 3 приведен фрагмент рабочего участка лепесткового круга и шлифовальной ленты.

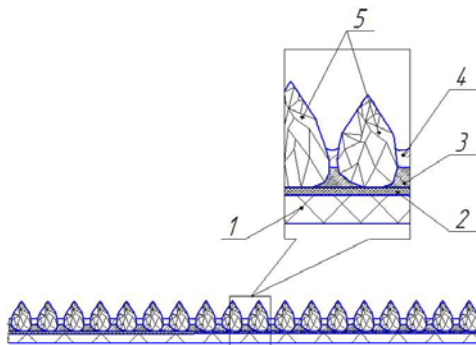


Рис. 3. Участок инструмента на гибкой основе из ориентированных зерен с контролируемой формой (1 – гибкая тканевая основа, 2 – слой аппрета, 3 – основной слой связующего вещества, 4 – закрепляющий слой связующего вещества, 5 – абразивные зерна заданной формы)

При изготовлении опытных партий инструментов для улучшения процесса резания абразивные зерна заданной формы ориентировались на поверхности гибкой основы электростатическим способом на специально спроектированной установке по оригинальной технологии. Конструкция данной установки позволяет практически полностью воспроизвести в лабораторных условиях заводской технологический процесс изготовления шлифовальной шкурки, к достоинствам которой следует отнести компактность, простоту конструкции, многофункциональность и легкую перенастраиваемость. Помимо этого, в отличие от заводского конвейера, здесь имеется возможность нанесения абразивных зерен с помощью электростатического поля под различными углами наклона к поверхности основы.

С целью изучения влияния формы шлифовального зерна на эксплуатационные характеристики, опытные партии инструментов на гибкой основе были подвергнуты испытаниям на износ и режущую способность, также проведены исследования шероховатости обработанной поверхности, температуры в зоне резания и сил резания при шлифовании [8, 9, 10, 16, 17].

Следует отметить, что процесс шлифования инструментом на гибкой основе – достаточно сложное и нестабильное явление, зависящее от многих факторов: свойств абразивного материала и его зернистости, свойств связки и её твёрдости, свойств гибкой основы, геометрических параметров инструмента, вида и режимных параметров шлифования и т.д. Все вышеперечисленное характерно как для лепестковых шлифовальных кругов, так и для шлифовальных лент, поскольку наличие гибкой основы вносит коррективы в процесс шлифования и предопределяет отличия от размерно-стабильных шлифовальных инструментов – отрезных и обдирочных кругов, брусков, сегментов и пр. [3, 4, 13, 18].

Исследования эксплуатационных характеристик опытных шлифовальных инструментов на гибкой основе проводились на плоскошлифовальном станке модели 3Г71.

Основной целью исследований являлось изучение влияния формы абразивного зерна на выходные параметры, при математической обработке использовались модели, достоверно описывающие механизмы протекания процессов. В качестве входного переменного параметра служил коэффициент формы (K_ϕ) шлифовального зерна.

Математическая обработка полученных экспериментальных данных производилась на компьютере с использованием программного пакета “STATISTICA 6.0” с помощью стохастического моделирования методом множественной корреляции. Данное программное обеспечение позволяло обработать полученный массив экспериментальных данных в автоматическом режиме и исследовать форму связи между выходными параметрами процесса шлифования и коэффициентом формы (K_ϕ) шлифовального зерна [2, 7].

Результаты и обсуждение.

Ниже приведены некоторые зависимости, полученные экспериментальным образом при исследовании лепестковых шлифовальных кругов.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты [17, 19]:

1. При переходе от изометрической ($K_\phi = 1,2$) к игольчатой ($K_\phi = 2,2$) разновидности формы зерна, находящегося в структуре лепесткового круга, кривые режущей способности монотонно возрастают на всех видах сталей примерно в 1,56 раза. В случае же перехода от зерен с $K_\phi = 1,2$ к стандартному кругу с $K_\phi = 1,75$ режущая способность возрастает незначительно в среднем в 1,29 раза. В интервале $K_\phi = 1,75 - K_\phi = 2,2$ наблюдается тенденция некоторого увеличения режущей способности.

При увеличении твердости обрабатываемой заготовки, т.е при переходе от стали 45 (HB 187) в состоянии поставки к закаленной ШХ 15 (HRC 65) режущая способность снижается в среднем в 1,51 раза в зависимости от применяемой формы зерна.

2. Износ лепестковых кругов при переходе от изометрической формы зерна ($K_\phi \approx 1,2$) к кругам с игольчатой разновидностью зерна ($K_\phi \approx 2,2$) пропорционально возрастает порядка в 1,3 раза. При переходе же к кругам, изготовленным по стандартной технологии ($K_\phi \approx 1,75$) износ возрастает не существенно – в среднем в 1,12 раза, причём данная тенденция наблюдается в большей или меньшей степени при обработке всех разновидностей стали.

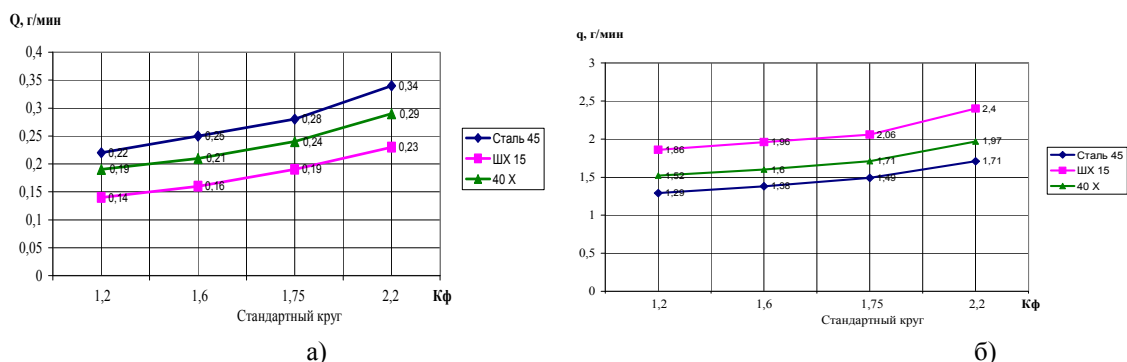


Рис. 4. Зависимость режущей способности а) и износа б) лепесткового круга от коэффициента формы шлифовального зерна при обработке различных видов сталей

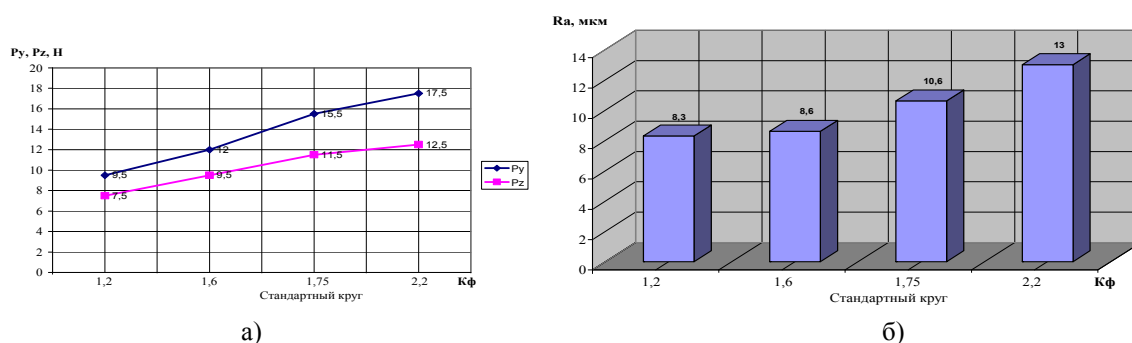


Рис. 5. Влияние коэффициента формы шлифовального зерна на: а) составляющие силы резания и б) шероховатость обработанной поверхности

3. Оценка силовых зависимостей процесса шлифования опытными лепестковыми кругами говорит о том, что при переходе от кругов с изометрической формой ($K_{\phi} = 1,2$) к кругам с игольчатой формой ($K_{\phi} = 2,2$) радиальная составляющая силы резания возрастает в среднем в 1,8 раза, а тангенциальная составляющая возрастает в 1,66 раза.

4. Анализ полученных данных показывает, что обработка лепестковыми кругами характеризуется небольшой температурой в зоне резания, что связано с конструктивными особенностями данного инструмента, небольшими нагрузками процесса шлифования и вентиляционным эффектом. Наибольшая зафиксированная разница в абсолютных значениях температуры между кругами с изометрической и игольчатой формой зерна невелика, и составляет порядка 15 – 20 °С для применяемых режимов обработки.

При увеличении твердости обрабатываемой заготовки температура в ее поверхностном слое возрастает в среднем в 1,2 раза для всех разновидностей опытных кругов.

5. Обработка кругами из зерен изометрической формы позволяет достичь более высокого качества обработанной поверхности, чем кругами с игольчатой формой зерен. Так, при обработке образцов из стали 45, разница между кругами с $K_{\phi} = 1,2$ и $K_{\phi} = 2,2$ по параметру шероховатости R_a составляет 36%. По отношению к стандартному кругу, увеличение шероховатости у игольчатых зерен составляет 18,5 %, а применение изометрических зерен приводит к уменьшению шероховатости на 17,5 %.

Выводы:

Полученные результаты исследований позволяют сформулировать следующие основные рекомендации по применению новых конструкций шлифовальных инструментов на гибкой основе, для более рационального использования их возможностей:

- для обдирочных и черновых работ целесообразно применять инструменты из зерен с большими значениями K_{ϕ} (т.е. игольчатой и пластинчатой формы);
- для чистовых работ, где предъявляются высокие требования к качеству обрабатываемой поверхности, предпочтительны инструменты с малыми значениями K_{ϕ} (т.е. из зерен изометрической формы) [15, 17-20].

В целом проведенные исследования показали, что при целенаправленном подходе к выбору формы и ориентации шлифовальных зерен и более полного использования их потенциальных возможностей, можно существенно повысить эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов на гибкой основе.

Литература.

1. Анахин В.Д., Плисс Д.А., Монахов В.Н. Вибрационные сепараторы. – М.: Недра, 1991. – 160 с.
2. Боровиков В.П., Боровиков И.П. “STATISTICA”. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., Информационно-издательский дом “Филинъ”, 1998. – 608 с.
3. Гдалевич А.И. Финишная обработка лепестковыми кругами. – М. Машиностроение, 1990. – 112 с.
4. Иванов И. Ю., Носов Н.В. Эффективность и качество обработки инструментами на гибкой основе. – М.: Машиностроение. – 1985.
5. Коротков А.Н. Шатько Д.Б. Усовершенствование конструкции лепесткового круга. Обработка металлов № 2/2009. Новосибирск, 2009. С. 34-35.
6. Коротков А.Н. Эксплуатационные свойства абразивных материалов. – Монограф. Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 122 с.
7. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Шатько Д.Б. Оценка формы шлифовальных зерен. Обработка металлов 2/2004. Новосибирск, 2004. С. 43-44.
8. Коротков А.Н., Люкшин В.С. Эксплуатационные свойства шлифовальных шкурок из зерен с разной формой// Труды XIV научной конференции, посвященной 300-летию инженерного образования России. – Филиал ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2001. – С 74–76.
9. Коротков А.Н., Шатько Д.Б. Влияние формы абразивного зерна на эксплуатационные характеристики лепестковых кругов// Обработка металлов. – 2005. – №2(27). С. 37–39.
10. Коротков А.Н., Шатько Д.Б. Повышение эксплуатационных возможностей лепестковых шлифовальных кругов. Сборка в машиностроении, приборостроении. № 10/2008. Москва. С. 44-48.
11. Мурдасов А.В., Хшиво Л.Н. Свойства абразивных зерен в зависимости от их формы// Тр. Уральский фил. Всес. н.-и. ин-та абразивов и шлифования, 1968. – сб. 1. – С. 22–27.
12. Нетребко В.П., Коротков А.Н. Прочность шлифовальных кругов. – М.: Агентство Российской печати, 1992. – 104 с.
13. Паньков Л.А., Костин Н.В. Обработка инструментами из шлифовальной шкурки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 235 с.
14. Патент 2245240 С1 В 24 D 13/00. Лепестковый круг / А.Н. Коротков, Д.Б. Шатько – заявл. 30.09.2003. ; Оpubл. 27.01.2005, Бюл. №3.
15. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227. Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен (Programm) / В.С. Люкшин, Н.А. Алехин. - №2003612419; Заявлено 21.11.03; Оpubл. 20.01.04.
16. Шатько Д.Б. Исследование эксплуатационных характеристик экспериментальных лепестковых кругов. Обработка металлов № 1/2008. Новосибирск, 2008. С. 28-29.
17. Шатько Д.Б. Повышение эффективности использования лепестковых шлифовальных кругов за счет зерен с контролируемой формой : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Шатько Дмитрий Борисович. – Томск, 2005. – 212 с.
18. Щеголев В.А., Уланова М.Е. Эластичные абразивные и алмазные инструменты. – Л.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
19. A. Korotkov, D. Shatko. Prospective Designs of Flap Grinding Wheels – New Opportunities and Approaches to Import Substitution of Grinding Tools // Applied Mechanics and Materials – 2015. v. 788, pp. 313-317.
20. Korotkov A., Korotkova L., Gubaidulina R. Effect on grains form on performances grinding wheels. – Applied Mechanics and Materials, Vol. 682 (2014), p.p. 469-473. Trans Tech Publications, Switzerland.
21. V. Korotkov, E. Minkin. Forecasting of operational indicators of grinding tools with the controlled form and orientation of abrasive grains // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91 (2015) 012041. doi:10.1088/1757-899X/91/1/012041
22. V S Lyukshin, A V Barsuk, R R Fazleev. Cutting capacity and strength of single grinding grains // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91 (2015) 012047. doi:10.1088/1757-899X/91/1/012047
23. V.S. Lyukshin. Evaluation of Abrasive Grain Form // Applied Mechanics and Materials – 2014. v. 682, pp. 148–153.
24. V.A. Korotkov, S.I. Petrushin. Research of Operational Characterizations of Cutting Discs with Oriented Abrasive Grains // Applied Mechanics and Materials – 2014. v. 682, pp. 224–230.

ИМИТАЦИЯ ТОРМОЖЕНИЯ ПРОТИВОВКЛЮЧЕНИЕМ

А.А. Курилин, студент группы 3-10402

Научные руководители: Валентов А.В., Ретюнский О.Ю.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Данный стенд предназначен для изучения работы асинхронного двигателя (рис.1) при различных режимах работы:

- пуск двигателя;
- торможение (противовключением и остановка без торможения);
- реверс.

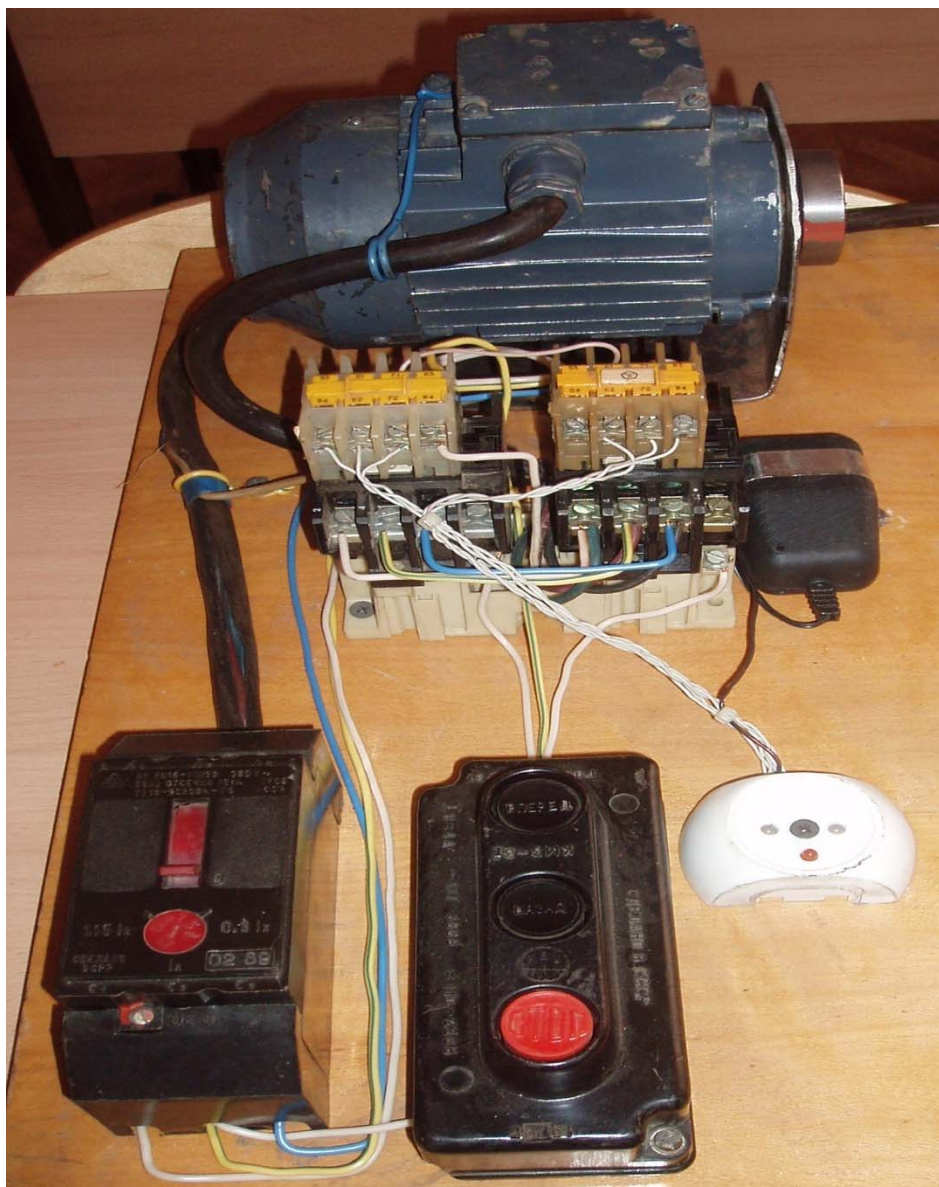


Рис. 1. Общий вид установки

Схема управления стендом (см. рис. 2) состоит из следующих компонентов:

- вводного автомата;
- пускателей K1 и K2;
- кнопочного поста;

- асинхронного двигателя;
- корпуса с тремя светодиодами;

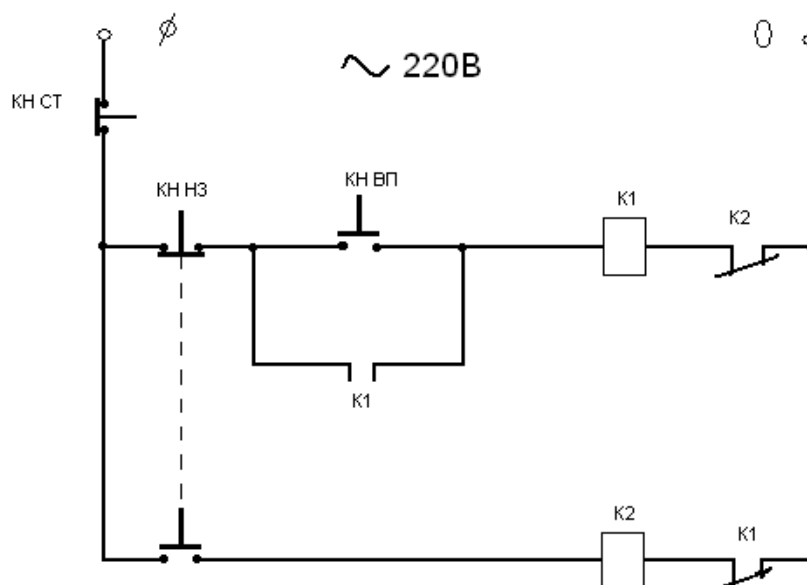


Рис. 2. Схема управления

Включение двигателя осуществляется нажатием кнопки КН ВП, тем самым подавая напряжение на катушку пускателя К1. Пускатель блокируется замыканием нормально открытого контакта К1, в результате чего при отпускании кнопки КН ВП цепь пускателя К1 остается под питанием.

При нажатии на кнопку КН НЗ цепь питания катушки пускателя К1 разрывается, одновременно подается питание на катушку пускателя К2, крутящий момент на валу двигателя меняет свое направление. При отпускании кнопки цепь питания катушки К2 разрывается, блокировка К2 в схеме не предусмотрена.

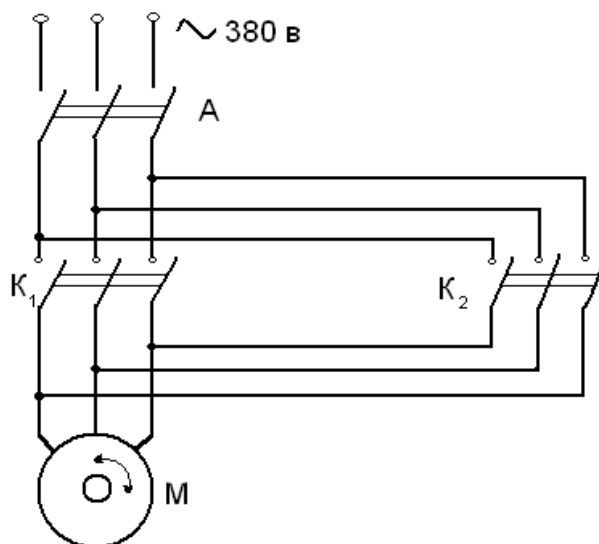


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема

Кнопка КН СТ предназначена для разрыва цепи питания катушек обоих пускателей К1 и К2. Торможение осуществляется путем противовключения, то есть посредством пускателя К2.

При индикации происходит смена цветов светодиодов. Назначим работу стенда: зеленый и красный светодиод вверх и один – красный вниз (рис.4), а при торможении противовключением красный и зеленый – вверх и красный вниз (рис.5).



Рис. 4. Работа двигателя



Рис. 5. Имитация торможения противовключением

В работе приведены основные результаты научных исследований при торможении противовключением и без торможения, где проведены 25 опытов со снятием значений средней величины и показаны на графике (рис.6.).

Основные результаты научных исследований

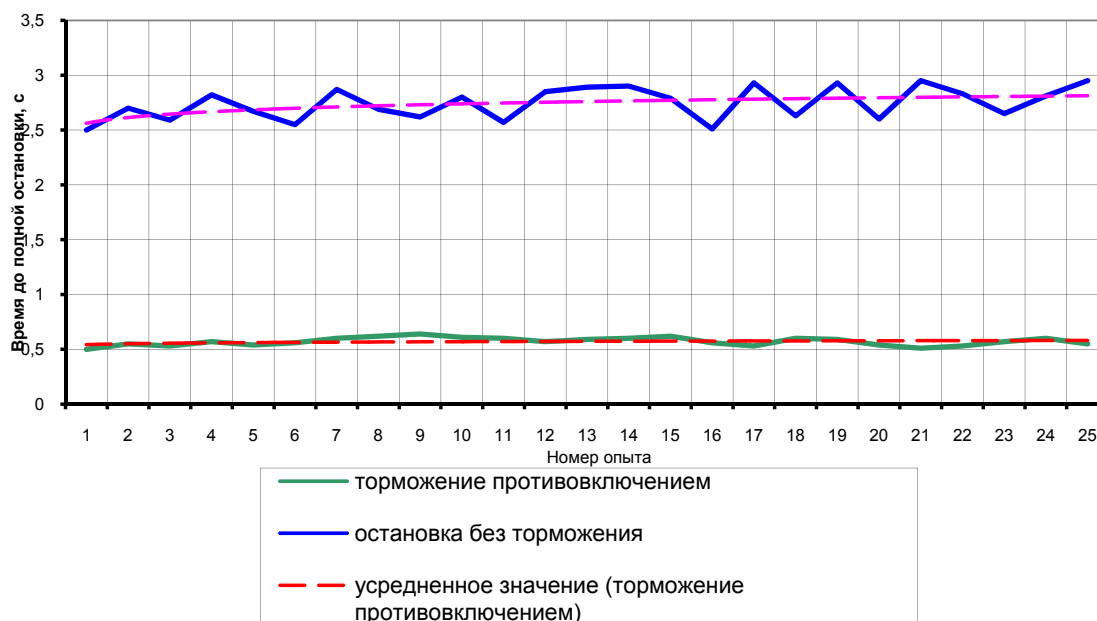


Рис. 6

Из графика видно, что по 25 опытам, проведенным по каждому виду торможения, значения различные. Это связано с неточностью измерения времени до полной остановки, скоростью реакции измерителя (человека, снимающего характеристики).

С помощью данного стенда можно проводить несколько лабораторных работ по дисциплине «Электрические машины и электропривод» для специальности 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в АПК» ЮТИ ТПУ всех форм обучения:

1. Изучение работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазной сети (при установке в схеме конденсатора емкостью 10 мкФ, то есть стенд требует дополнительной проработки).

2. Изучение способов торможения асинхронного двигателя:

- остановка асинхронного двигателя без торможения;
- торможение противовключением;
- имитация торможения противовключением с помощью светодиодов.

3. Индикация.

Также с помощью стенда можно проводить работы по дисциплине «Автоматика». В частности – изучение элементов автоматики и электроники.

Литература.

1. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Логос, 2000.
2. Ванурин В.Н. Электрические машины. – М.: Колос, 1995.
3. Шичков Л.П., Коломиец А.П. Электрооборудование и средства автоматизации сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1995.
4. Мякишев Н.Ф. Электропривод и электрооборудование автоматизированных сельскохозяйственных установок. – М.: Агропромиздат, 1986.

КЛАСТЕРНАЯ САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРИ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ

Ю.А. Орлова, А.В. Джес, Л.И. Квеглис

ВКГУ им. С.Аманжолова

Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Ворошилова, 148

E-mail: orlova_ua87@mail.ru

При деформационном упрочнении в зонах локализации деформации может происходить структурная перестройка, в том числе: мартенситные переходы, механохимические реакции с образованием новых фаз. Необходимо понимать природу и механизмы этих реакций, с целью управления технологическим процессом при получении изделий высокого качества.

Известно, что мартенситные превращения в металлах и сплавах идут по определенным ориентационным схемам. Эти схемы, как правило, представляются плоскими двумерными сетками. Однако, трехмерная модель может более полно описать особенности мартенситных превращений.

Мы предлагаем модели кластерной самоорганизации мартенситного перехода из фаз с ОЦК, ГПУ решетками и икосаэдрической фазы в фазу с ГЦК-решеткой. Эта фаза может быть промежуточной при прямых и обратных мартенситных переходах. Модели основаны на представлениях, имеющих в литературе [1-4].

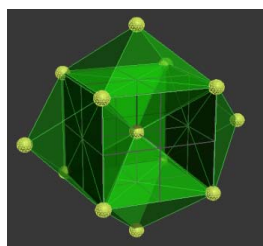
Цель данной работы - показать методом сравнения моделей и электронографического анализа, что при мартенситных превращениях происходит кластерная самоорганизация.

Результаты и их обсуждения. Кластером называют группу атомов, объединение которых может рассматриваться как самостоятельная структурная единица, обладающая определёнными свойствами, существенно изменяющимися при удалении или добавлении хотя бы одного атома [1].

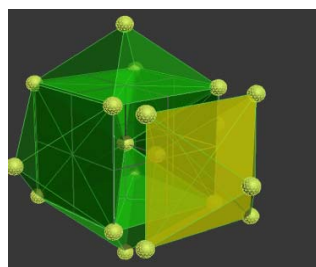
Из литературы известно, что при затвердевании расплава вначале появляются кластеры тетраэдров и октаэдров [3], но октаэдров присутствует значительно меньше, чем тетраэдров. На основании этого тетраэдры легко собираются в икосаэдры.

Мартенситное превращение в сталях и других сплавах, например - $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$, можно описать с помощью кластерного подхода. Например, известно превращение ГЦК аустенита в углеродистой стали в мартенсит ОЦК решетки. Алгоритм ГЦК сборки требует чередования кластеров (октаэдров и тетраэдров). Поворачивая и сдвигая кластеры, формирующие ГЦК решетку, можно по заданному алгоритму получить кластеры ОЦК решетки. При этом межатомные расстояния изменяются незначительно. Мы предлагаем переход из ОЦК фазы в ГПУ фазу через промежуточную фазу с ГЦК решеткой. Возможность такого превращения была показана в работе [1].

На рис. 1а. приведена кластерная модель ОЦК решетки. Здесь куб состоит из шести неправильных октаэдров, один из которых для наглядности удален.



а)



б)

Рис. 1. а) Кластерная модель ОЦК решетки; б) Переход из структуры с ОЦК решеткой в структуру с ГЦК решеткой

Мартенситное превращение из ОЦК в ГЦК происходит благодаря появлению вакансий в центре ОЦК. Тогда, сформировавшийся ГЦК кластер притянется в полость ОЦК решетки строго по размеру, а октаэдр станет центром зарождения и роста ГЦК-решетки.

Дифракционная картина, полученные от фольги Ni-Ti и схемы ее расшифровки приведены в работе [5].

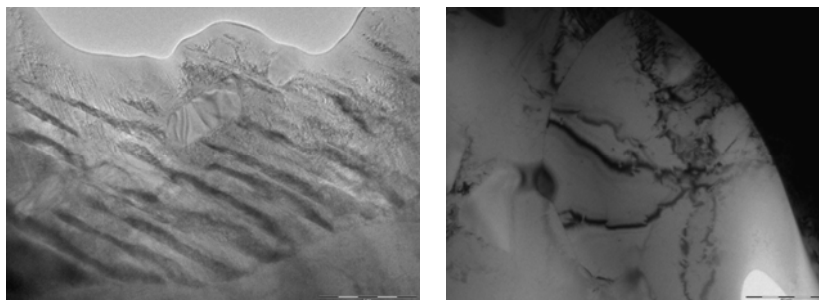
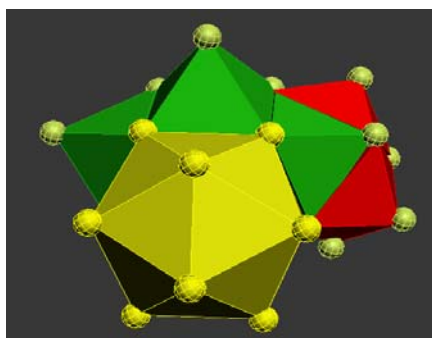


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения пластически деформированного образца $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$ в зоне разрыва: слева – зарождение линзовидного кристалла, справа – край линзовидного кристалла с изгибными контурами

В работе [6] предложена сетка на основании расшифровки картин микродифракции электронов от образца никелида титана, полученных в процессе мартенситного перехода исходной структуры с ОЦК решеткой в структуру с ГЦК решеткой.

Впервые фаза с такой решеткой в никелиде титана была получена авторами работы [7]. Предложенные модели хорошо подтверждаются экспериментами по дифракции электронов, полученными в нашем исследовании, а так же в работах [6-7]. Впервые трехмерное моделирование мартенситных превращений в сплаве $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$ предложено в работах [8]. Автор считает, что именно кластерные модели могут наиболее точно описывать структурные фазовые превращения. Однако, на наш взгляд он выбрал кластеры не совсем удачно. Наиболее обосновано понятия о кластерах предложены в работах [1,4, 9].

Опираясь на кластерные модели, можно показать, как из ОЦК решетки через ГЦК фазу можно перейти в ГПУ решетку и в икосаэдр (рис. 3.). Линзовидные кристаллы формируются с помощью трансформации кристаллитов ОЦК, ГЦК и ГПУ-решеток в тетраэдрически упакованную икосаэдрическую фазу.



- 1 – Желтый – тетраэдры ГЦК и ГПУ фаз
- 2 – Зеленый – неправильные октаэдры ОЦК фаз
- 3 - Красный – првильные октаэдры ГЦК и ГПУ фаз

Рис. 3. Кластерная модель перехода из структуры с ОЦК решеткой в структуру с ГЦК и ГПУ решетками, а так же в структуру с икосаэдрическую фазу

В экспериментах зарубежных авторов [10-11] показано, что икосаэдрические фазы наиболее устойчивы к механическому разрушению. В работе [10] показано возникновение икосаэдрической фазы в нержавеющей стали под действием ударного нагружения. Природа самоупрочнения стали Гадфильда тоже связана с возникновением икосаэдрической фазы, наряду с другими структурами Франка-Каспера [4,11]. При больших градиентах давления, которые возникают при пластической деформации и создают неравновесные условия, формируются икосаэдрические фазы [11].

Выводы:

1. Сделан анализ возможных схем мартенситных превращений для сталей и никелида титана.

2. Показано, что кластерные трехмерные модели являются более подходящими для описания механизмов мартенситных превращений.

3. Предложенные модели хорошо подтверждаются экспериментами по дифракции электронов и рентгеновских лучей.

4. Предложенные кластерные модели позволяют получить все ориентационные соотношения, которые известны для мартенситных превращений из фаз с ГЦК решеткой в фазы с ОЦК, ГПУ решетками и в икосаэдрическую фазу.

Литература.

1. Бульёнков Н.А., Тытик Д.Л. Модульный дизайн икосаэдрических металлических кластеров // Известия АН (сер. хим.) 2001. № 1. С. 1.
2. Мишина И.В., Чечикова А.О. Кластерная модель мартенситного превращения в стали. // Молодежь и наука 2012.
3. Медведев Н.Н. Метод Вороного-Делоне в исследовании структуры некристаллических систем. М.: СО РАН, 2000. - 214 с.
4. Пирсон У. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. М.: Мир, 1977.
5. А.М. Казначеева, С.Т. Толеугожина, Л.И. Квеглис, Г.С. Бектасова. Электронографический анализ процесса кластерной самоорганизации в металлах и сплавах.// Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент.– Караганда: КарГУ, 2015. с. 207-212.
6. Р.Б. Абылкалыкова, Г.Б. Тажибаева, Ф.М. Носков, Л.И. Квеглис. Особенности мартенситного превращения в никелие титана// Известия РАН. Серия физическая, 2009, том 73, №11, с. 1642-1644.
7. Пынько В.Г., Квеглис Л.И., Корчмарь В.С.// ФТТ. 1971. Т.13 №11. С.33-34.
8. Крапошин, Нгуен Ван Тхуан. Модель кристаллической структуры R-мартенсита в сплавах с эффектом памяти формы на основе NiTi.
9. Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы. М.: Наука, 1986. - 366 с.
10. Sidhom H., Portier R., An icosahedral phase in annealed austenitic stainless steel // Philosophical Magazine Lett., 1989, V.59, №.3, P.131-139.
11. Shechtman D., Blech I., Gratias D., Cahn J.W. Metallic Phase with Long-Range Orientation Order the No Translational Symmetry// Phys. Rev. Lett. 1984, V. 53, P. 1951-1953.5-328

РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОГО КЛАССИФИКАТОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ

А.А. Ласуков, к.т.н., доц., П.С. Громыко, ст. гр. 10300, VI курс

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: lasukow@rambler.ru

Обработка изделий в условиях мелкосерийного и единичного производства имеет свои особенности. Технологический процесс на изделия подробно не разрабатывается. Иногда назначается маршрут обработки, а далее приходится полагаться на опыт станочника. Применяется универсальное оборудование и инструмент. При необходимости разработки технологического процесса тратится большое количество времени, что приводит к увеличению сроков подготовки производства. Современное машиностроение характеризуется интенсификацией внедрения новых технических решений, освоением наукоемких технологий, сокращением сроков морального устаревания новой продукции, постоянно меняющейся конъюнктурой рынка. В этой ситуации обеспечение гибкости производства является важной задачей [1].

Экономика на современном этапе диктует требования к повышению качественных показателей изделий, а также к частой смене объекта производства, что приводит к необходимости качественного изменения работы на этапе технологической подготовки производства [2, 3].

Особенностью разработки технологических процессов является наличие большого количества вариантов и слабая формализация многих проектных задач, что и будет отражаться на проектных решениях в условиях мелкосерийного производства. По причине слабой формализации процесса технологического проектирования при выполнении задач нерасчетного характера (выбор заготовки, разработка маршрута обработки детали, выбор станков, инструментов и т.д.) решения принимаются на основе выбора вариантов из известных типовых представителей. Это значит, что типовые реше-

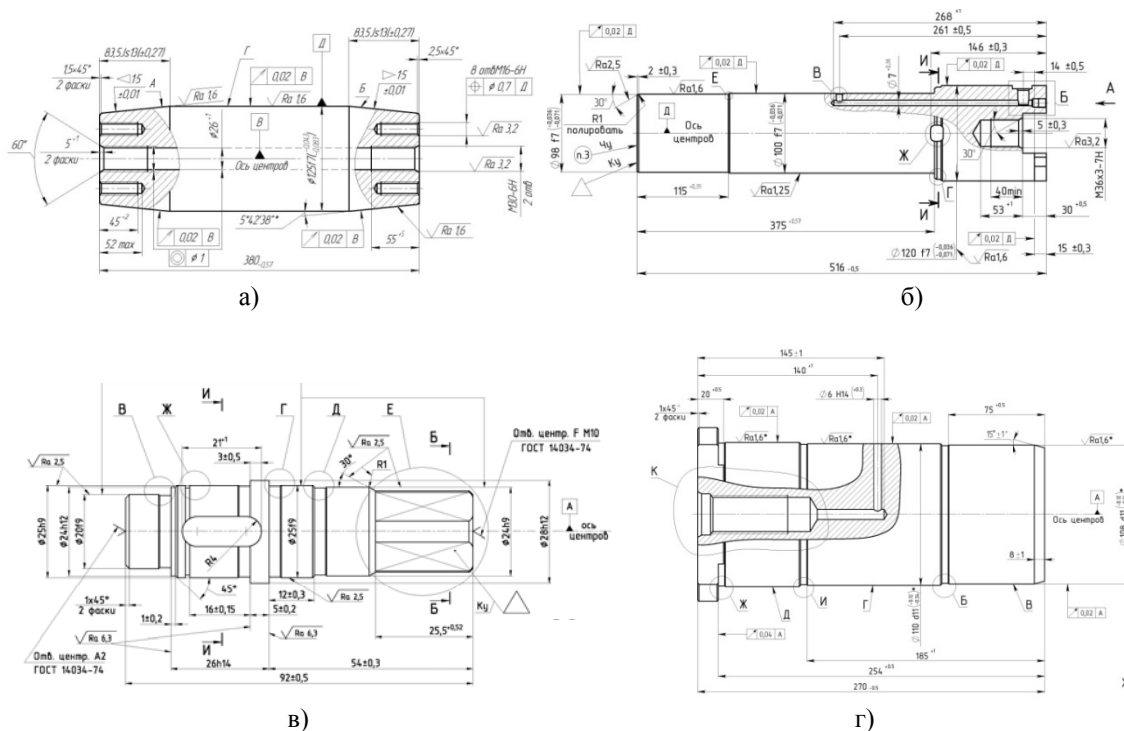
ния являются основой формализации для выполнения задач неформального характера при проектировании технологических процессов с помощью ЭВМ.

В виду этого на ООО "Юргинский машиностроительный завод" принимается решение создать системный классификатор маршрутных технологических процессов изготовления типовых деталей на основе группирования последних по основным конструктивно-технологическим [4, 5, 6] или экономическим [7] признакам. При этом детали объединяются в более крупные группы, что позволит увеличить серийность выпуска продукции, а также приведет к сокращению сроков проектирования технологических процессов за счет принятия типовых решений. При этом для отдельных групп деталей, схожих по тем или иным признакам, можно назначать одни и те же высокопроизводительные методы обработки с использованием переналаживаемой оснастки.

При разработке системного классификатора в условиях ООО «Юргинский Машиностроительный завод» стремились сформировать описания набора типовых решений, которые охватывают полный набор конструктивно-технологического разнообразия деталей и условий, когда может быть применено каждое из этих решений. В итоге возникают предпосылки к сокращению сроков технологической подготовки производства, простоте внесения изменений в разработанный технологический процесс, надежности хранения данных за счет использования политики учетных записей, простоте тиражирования, возможности совместной работы технологов над частями одного проекта, простоте обмена информацией между различными подразделениями предприятия [8].

При выполнении работы была проанализирована широкая гамма номенклатуры изделий и примерных технологических процессов их изготовления, изучены технические характеристики оборудования, применяемого на предприятии, а также используемое технологическое оснащение. Большое внимание уделялось отработке деталей групп на технологичность, что является важной составляющей проектирования операций [9].

В качестве примера приведем системный классификатор на валы средних размеров, производимых на ООО "Юргинский машиностроительный завод". На рисунке 1 приведены примеры деталей, которые были объединены в одну технологическую группу. Для отбора деталей в определенную группу явились следующие признаки: габаритные размеры деталей, общие конструктивные элементы (лыски, отверстия, ступени и др.), общие технологические признаки и др. Это позволит применить одинаковые инструменты и оборудование при проектировании вариантов технологического процесса обработки и ускорить проектирование с применением ЭВМ [10].



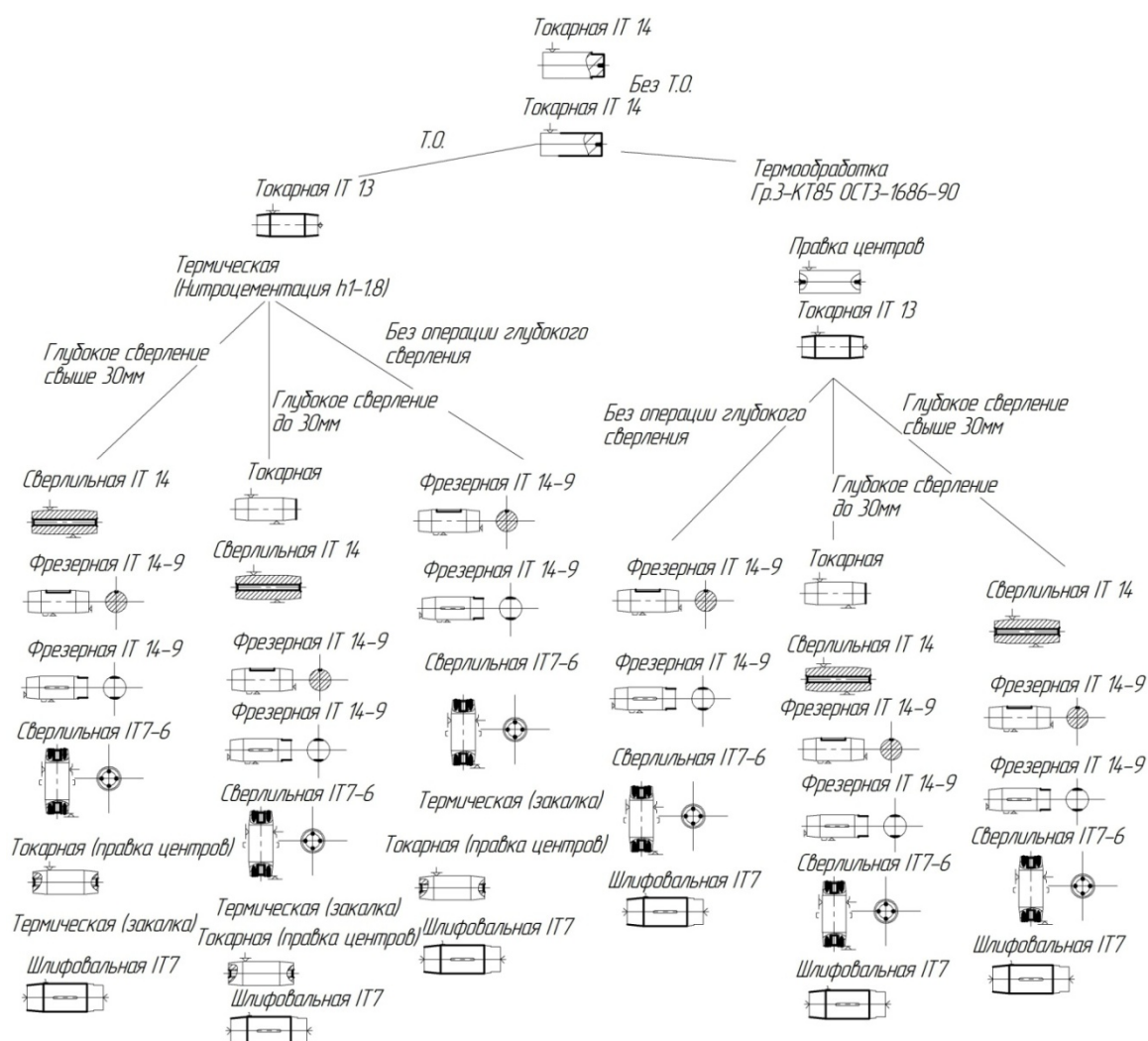


Рис. 2. Дерево маршрутных технологических процессов

Далее создается комплексная деталь, которая включает в себя все основные конструктивные элементы (в данном случае за комплексную можно принять деталь, изображенную на рис. 1,а). Затем на основе анализа базовых технологических процессов формировались различные технологические маршруты обработки деталей в зависимости от термической обработки, выполнения некоторых специфических операций, особенностей производства изделий в условиях предприятия и др. Технологический маршрут, изображенный в виде древовидной структуры (рис. 2), представляет собой маршрут обработки комплексной детали.

При составлении маршрута обработки деталей входящих в группу, выбор ветви дерева, по которой осуществляется движение (включением в маршрут или удалением из него избыточных технологических операций) производится в зависимости от наличия или отсутствия тех или иных элементов конструкции и условий обработки (наличие фасок и отверстий на деталях, пазов, термической обработки и т.д.).

Представленный пример показывает, что на основе разработки системных классификаторов технологических процессов изготовления деталей можно для условий единичного и мелкосерийного производства искусственно увеличить объемы производства по приведенной программе. Это дает перспективы по проектированию и использованию специальную групповую оснастку при изготовлении деталей, увеличив точность и производительность процесса при обработке. Уменьшается объем применяемой универсальной оснастки и оборудования, а также сроки технологической подготовки производства, связанные с проектированием технологического процесса.

Проделанная работа может стать основой для повышения эффективности технологической подготовки производства, расширения системы материально-технического обеспечения производства, дальнейшего расширения нормативной справочной базы, общего повышения уровня производственной культуры сотрудников.

Литература.

1. M.I.M. Wahaba, S.J. Stoyanb A dynamic approach to measure machine and routing flexibilities of manufacturing systems International Journal of Production Economics Volume 113, Issue 2, June 2008, Pages 895–913
2. Технологические процессы в машиностроении / Схиртладзе А.Г., Богодухов С.И., Сулейманов Р.М., Бондаренко Е.В., Проскурин А.Д. – Москва: Машиностроение, 2009. – 640 с.
3. Waguih ElMaraghya, Hoda ElMaraghya, Tetsuo Tomiyamac, Laszlo Monostorid Complexity in engineering design and manufacturing // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2012. – Vol. 61. – pp. 793–814.
4. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. Т.1 / Митрофанов С. П. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1983. - 403 с.
5. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2 т. Т.2 / Митрофанов С. П. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1983. - 375 с.
6. Gallagher C.C., Knight W.A. Group Technology, Production Methods in Manufacturing, Ellis Horwood, Chichester, England. 1986.
7. 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. – 2015. – Vol. 91. – P. 012088
8. Ласуков А.А., Навроцкий С.С. Системный классификатор маршрутных технологических процессов изготовления деталей типа "Вал" в условиях ООО "Юргинский машзавод" // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы III Международной науч.-практ. конференции, г.Новокузнецк, 28-30 ноября 2013г. - Новокузнецк: филиал КузГТУ в г.Новокузнецке, 2013. - С.348-351.
9. Сапрыкин А.А., Вальтер А.В. Производительность процесса 2,5-координатного формообразования и технологичность изделий сложной пространственной формы // Технология машиностроения. – 2008. – № 2. – С. 20 - 22.
10. Ciurana J., Garcia-Romeu M.L., Castro R., Alberti M. A system based on machined volumes to reduce the number of route sheets in process planning // Computers in Industry. – 2003. – Vol. 51. – pp. 41-50.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ СПЛАВА $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Н. Кантай, А.М. Казначева, Г.С. Бетасова, к.фил.н, доц.

ВКГУ им. С.Аманжолова,

070020, Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Ворошилова, 148

E-mail: nurgan85@mail.ru

Сплавы с памятью формы широко используются в медицине, в космической технике и как конструкционные материалы. Несмотря на большой опыт создания таких материалов до сих пор остаются невыясненными механизмы структурообразования при пластической деформации в сплавах на основе никелида титана. Никель-титановые сплавы нашли широкое применение потому, что наряду с уникальным свойством запоминать форму, они немагнитны, имеют высокие деформирующие свойства, низкую плотность, коррозионную стойкость и стойки во всех климатических условиях [1-5].

Целью работы является исследовать особенности структурных превращений при мартенситных переходах в образцах сплава $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$, подвергнутых растягивающей нагрузке методами дифракции и микродифракции электронов.

Объектами исследования были выбраны сплавы TiNi , отличающиеся содержанием никеля от 48 до 52 атомных процентов. Сплавы были изготовлены в АО «Ульбинский Металлургический завод» (город Усть-Каменогорск). Внешний вид исходного образца после растяжения приведен на рисунке. 1.



Рис. 1. Внешний вид исходного образца после растяжения (длина 4 см)

Растяжение образца проводилось на электромеханической универсально испытательной машине WDW-5E с максимальной нагрузкой 5кН. Построение диаграммы нагружения проходило в координатах «нагрузка-удлинение» (рис.2).

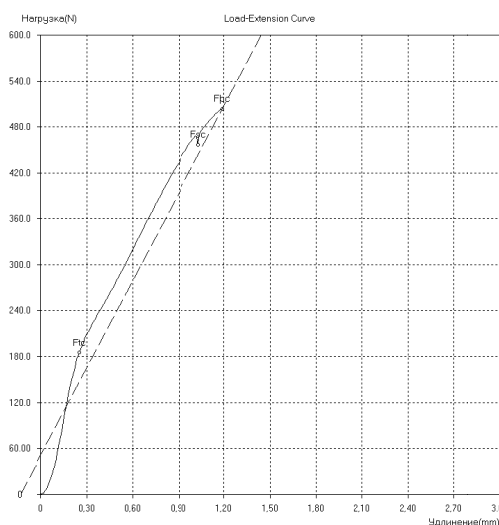


Рис. 2. Диаграмма растяжения образца $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$

Приготовление образцов проводилось на Hitachi FB-2100 для просмотра на просвечивающем электронном микроскопе Hitachi HT 7700. На рисунке 3 показано электронномикроскопическое изображение зоны локализации деформаций. В зонах локальных напряжений наблюдаются линзовидные кристаллы. Методом дифракции электронов (рис.4) исследованы структурные превращения при мартенситных переходах в сплаве $\text{Ni}_{51}\text{Ti}_{49}$. При расшифровке дифракционных спектров обнаружены совпадения межплоскостных расстояний 110 ОЦК, 111ГЦК, 002ГПУ, свидетельствующие о возможности кластерного механизма перехода из фазы с ОЦК решеткой в фазу с ГПУ решеткой через промежуточную фазу с ГЦК решеткой.

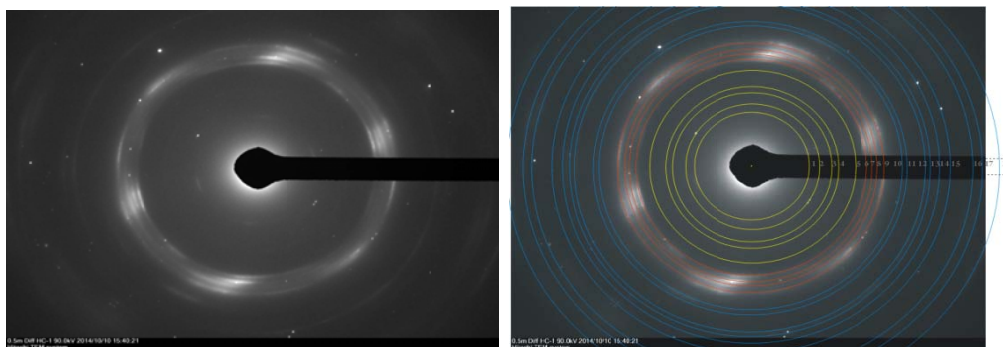


Рис. 3. Дифракционная картина участка, содержащего линзовидные кристаллы



Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение линзовидных кристаллов

Выводы:

1. Обнаружены совпадения межплоскостных расстояний 110 ОЦК, 111ГЦК, 002ГПУ, свидетельствующие о возможности кластерного механизма перехода из фазы с ОЦК решеткой в фазу ГПУ решетку через промежуточную фазу с ГЦК решеткой
2. С помощью электронной микроскопии удалось обнаружить линзовидные кристаллы в зонах локализации напряжения

Литература.

1. Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцова З.П. Эффект памяти формы. Л.:ЛГУ, 1987. 216с.
2. Малыгин Г.А., Размытые мартенситные переходы и пластичность кристаллов с эффектом памяти формы // УФН 171, 2, 187 (2001).
3. Потекаев А.И., Клопотов А.А. Козлов Э.В. и др. Слабоустойчивые предпереходные структуры в никелиде титана. Томск: изд. НТЛ, 2004. 296 с.
4. Otsuka K., Ren X., Physical metallurgy of Ti-Ni-based shape memory alloys // Progr. Mat. Sci. 2005. 50. P. 511-678.
5. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Ясенчук Ю.Ф. и др. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения. Томск: МИЦ, 2006. 296 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ АНОДА ПРИ АНОДИРОВАНИИ СПЛАВА АД31

*Н.Ф. Коленчин, к.т.н., вед. научн. сотр., В.Н. Кусков, д.т.н., проф., П.Н. Шадрина, мл. научн. сотр.
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. +7-912-923-9950
E-mail: vnkuskov@yandex.ru*

Одним из направлений эффективного использования озона является создание условий наибольшего его содержания в рабочем растворе для анодирования. Причем взаимодействие газа с алюминием может протекать по двум сценариям: непосредственное участие молекулярного озона в оксидообразовании или реакции с его продуктами распада: синглетного (активированного) кислорода или химически активных радикалов. В современных технологиях очистки воды с использованием озона предусмотрены операции по увеличению степени диспергирования газа для достижения наибольшего его растворения в жидкости [1]. Наиболее эффективными являются установки, применяющие методику инъекции. За счет измельчения газового пузырька увеличивается площадь контакта с жидкостью и его распределение в ней.

Исследовали технологию формирования оксидного слоя на алюминиевом сплаве АД31 в озоносодержащем сернокислотном электролите [2, 3] при минимальном значении межэлектродного промежутка, когда катод совершал колебательные движения с частотой от 100 до 300 Гц. Схема установки –представлена на рис. 1. Концентрация озона в воздушной смеси составляла 3мг/л, плотность тока 5 А/дм², температура электролита 10 °С, продолжительность анодирования 30 минут. Опробованы два варианта колебательного контура. Первый, когда плоскости анода и катода размеща-

лись горизонтально и вектор колебаний был направлен навстречу друг другу. При втором варианте катод совершал возвратно-поступательные движения вдоль поверхности анода. Расстояние между электродами не превышало 3 мм. Для оценки влияния предлагаемой технологии сравнение проводили с результатами анодной обработки алюминиевых сплавов в озоносодержащем электролите [4]. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Установлено, что введение озона в смесь с воздухом увеличивает конечную толщину оксида алюминия на 30 - 67 %. Применение ультразвукового воздействия на электролит снижает интенсивность формирования оксидного покрытия в случае добавления озона в газовую смесь, и конечная толщина покрытия за 30 мин анодирования оказывается меньше приблизительно на 7 %, а при использовании барботажа воздухом увеличивается на 75 % [5]. Но в обоих случаях твердость покрытия увеличивается на 2 – 5 HRC в зависимости от расположения электродов и частоты вибрации анода.

Анализ экспериментальных данных позволяет выбрать параметры вибрации анода, позволяющие получить лучшие по толщине и твердости покрытия. В частности, зазор между электродами должен составлять 2 – 3 мм, частота вибрации - 300 Гц.

Дополнительно образцы 4 и 11 исследованы методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Концентрации элементов в поверхностных слоях образцов в атомных процентах приведены в табл. 2. Концентрации рассчитаны по интегральным интенсивностям соответствующих спектров с учетом коэффициентов элементной чувствительности базы данных SpecsLab.

Поверхностный слой эталона и образцов насыщен углеродом, содержание которого на глубине не более 5 нм не более 4 ат. %. В крайней правой колонке приведено отношение суммарной концентрации кислорода к суммарной концентрации алюминия и кремния. Из табл. 2 видно, что внешний слой содержит адсорбированный кислород. Отношение концентрации кислорода на глубине 0,5 - 5 нм к концентрации алюминия, которая для стехиометрии Al_2O_3 соответствует 1,5, показывает, что у образца 4 этот показатель значительно выше. У образца № 11 отмечается присутствие кремния на всей исследуемой глубине. В процессе съемки исследуемые поверхности образцов накапливают положительный заряд, что проявляется в смещении РФЭС пиков в сторону больших энергий связи относительно истинных положений (сдвиг зарядки). В целом РФЭС пики кислорода уширены и многокомпонентны, что связано как с неоднородностью зарядки поверхности, так и наличием кислорода в неэквивалентных химических состояниях. Спектры алюминия образца 11 - однокомпонентные. А вот спектры поверхности образца 4 имеют несколько пиков, но все они относятся к окисленному алюминию (Al^{3+}), так как на спектре Оже-области линии металлического алюминия не наблюдается, а Оже пик оксида - одиночный.

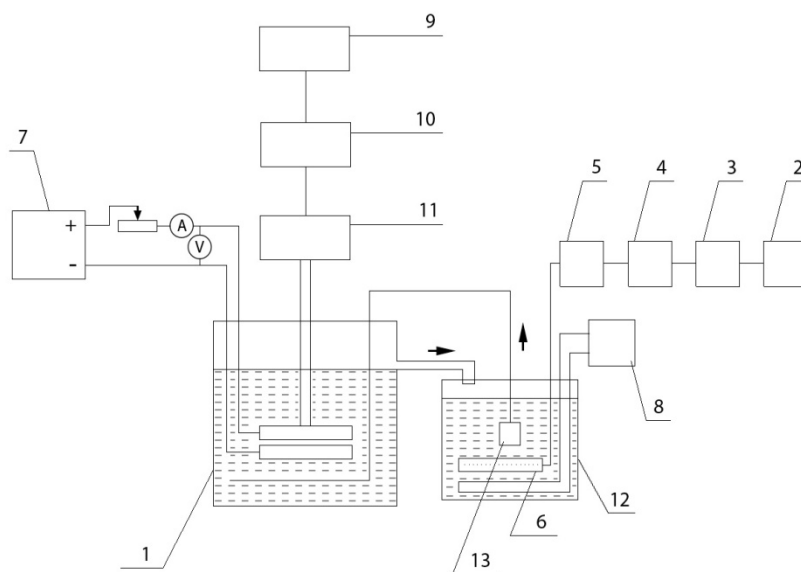


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с вибрацией анода: 1-ванна; 2-компрессор; 3-абсорбционный осушитель воздуха; 4-генератор озона; 5-ротаметр; 6-барботер; 7-источник тока; 8-холодильная установка; 9-низкочастотный генератор сигналов; 10-усилитель сигналов; 11-генератор колебаний; 12-накопительная емкость; 13-насос

Таблица 1

Параметры анодирования и свойства покрытий

№ образца	Покрытие		Параметры вибрации анода			Технология анодирования
	толщина, мкм	твердость HRC	расположение электродов	частота, Гц	зазор, мкм	
1	23	58	горизонтальное	100	2	барботаж воздушной смесью
2	25	60	горизонтальное	100	3	
3	28	61	горизонтальное	200	3	
4	29	62	горизонтальное	300	3	
5	22	58	вертикальное	100	1	
6	24	59	вертикальное	200	1	
7	27	62	вертикальное	300	1	
8	30	61	вертикальное	100	1	барботаж озono-воздушной смесью
9	40	63	вертикальное	100	2	
10	39	64	вертикальное	200	2	
11	43	65	вертикальное	300	2	
12	27	60	горизонтальное	100	3	
13	37	62	горизонтальное	200	2	
14	39	63	горизонтальное	300	3	
15	32	67	вертикальное	100	2	барботаж озono-воздушной смеси с ультразвуковым воздействием
16	34	67	вертикальное	200	2	
17	40	69	вертикальное	300	2	
18	26	64	горизонтальное	100	3	
19	35	65	горизонтальное	200	3	
20	37	65	горизонтальное	300	3	

Таблица 2

Содержание элементов в поверхностных слоях образцов 4, 11 и эталонного образца алюминия, ат. %

Образец	Глубина, нм	O	Al	Si	S	C(o)/C(met)
4	0	32.1	7.4	1.4	следы	3.41
	0.5	25.9	12.6	0.6	следы	2.05
	5	24.9	16.0	следы	следы	1.55
11	0	37.6	12.8	2.4	следы	2.48
	0.5	33.6	21.4	2.2	следы	1.42
	5	33.9	24.7	2.2	следы	1.26
Эталон Al	0	33.1	19.9	0.0	0	1.67
	0.5	45.3	47.7	0.0	0	0.95
	6.5	7.9	87.6	0.0	0	0.09

Выводы:

1. Установлено, что введение озона в воздушную смесь для барботажа электролита при анодировании алюминиевого сплава Д16 в 10 %-ном водном растворе серной кислоты увеличивает конечную толщину оксидного покрытия на 30 - 67 %, а одновременные ультразвуковое воздействие и продувка электролита озono-воздушной смесью – только на 7 %. Однако твердость покрытия увеличивается на 2 – 5 HRC в зависимости от частоты вибрации анода.
2. Ухудшение свойств (толщины и твердости) оксидного покрытия при совместном использовании вибрации и ультразвука происходит, предположительно, из-за «расфокусировки» ультразвуковой волны, что снижает энергетическое воздействие кавитационных пузырьков на поверхность растущего оксида. Это может быть обусловлено изменением толщины и строения двойного электрического слоя на границе твердого тела с электролитом.

3. Алюминий в анодной оксидной пленке находится в виде Al^{3+} и имеет включения кремния, а кислород присутствует в избытке и может образовывать различные соединения.

Литература.

1. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. 2008. Том 14. № 14. С. 861 – 869.
2. V.N. Kuskov, N.F. Kolenchin. Prospects for the replacement of steel parts for oil and gas equipment by aluminum parts. WIT Transactions on Ecology and the Environment. T. 190. V. 2. Pp. 801-805, 2014.
3. N.F. Kolenchin, V.N. Kuskov. Increase in term of operation of oil-field equipment due to material replacement. Izvestiya of Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences. Vol. 13. № 1 (2). Pp. 456-458, 2011.
4. N.Ph. Kolenchin, V.N. Kuskov, P.N. Shadrina. New technologies of anodizing components of oil and gas industry equipment made of aluminum alloys. Applied Mechanics and Materials. Vol. 770. Pp 121-125, 2015.
5. N.F. Kolenchin, V.N. Kuskov, P.N. Shadrina. Influence of anodization technology on wear resistance of D16t aluminum alloy. International Journal of Applied Engineering. Volume 10, Number 17, (2015). Pp 37894-37896.

МЕТОДЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ПОСЛОЙНЫМ СИНТЕЗОМ

*В.В. Ворошилов, М.А. Рябов, студенты группы 10730, Н.А. Сапрыкина, к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 8(384-51) 7-77-63
E-mail: mr.viktor10@list.ru*

На протяжении длительного времени формообразование изделий осуществлялось по двум направлениям: с удалением материала, без удаления материала (рис. 1). К технологии обработки с удалением материала относят все виды обработки резанием, электрохимическую, электроэрозионную обработку, плазменную, лазерную резку и т.п. Для реализации этой технологии и достижения требуемой точности требуется наличие большого количества инструментов, форма которых, как правило, определяет геометрию получаемых поверхностей [16, 36,49].



Рис. 1. Классификация методов формообразования изделий.

К технологиям обработки без удаления материала относят обработку давлением, литейные технологии и термообработку. Данные технологии применяются в промышленном производстве заготовок и готовых изделий с использованием литейных форм, штампов и кованых инструментов. Постепенно повышались точность и производительность этих технологий, усложнялась геометрия изделий, но до конца двадцатого века новых методов формообразования создано не было. Появление

систем автоматизации проектирования (CAD/CAM/CAE) повлияло на развитие новой технологии формообразования – аддитивной [1].

Аддитивные технологии (см. рис. 1) направлены на создание сложных объемных изделий путем последовательного добавления материала (или материалов) [2]. К данным способам относятся - напыление, наплавка, осаждение, быстрое прототипирование. Изготовление сложных изделий с помощью этих методов в большинстве случаев не требует сложной формообразующей оснастки. В свою очередь технологии быстрого прототипирования позволяют изготавливать как физические модели изделий, не предназначенные для функционального использования в каких-либо устройствах, так и функциональные изделия.

В настоящее время сложно назвать область деятельности, где не используются технологии быстрого прототипирования RP (RapidPrototyping) представляющие собой послойный синтез физической копии на основе 3D CAD-модели. Они стремительно вошли в современную промышленность, медицину, фармацевтику, криминалистику, археологию, дизайн, архитектуру, образование, то есть практически во все сферы деятельности человека, вооруженного компьютером, и стали неотъемлемой частью процесса материального производства, будь то серийная продукция или единичные изделия. Современный инженер не мыслит себе создание новой продукции вне цепочки CAD/CAM/CAE, внутри которой важнейшее место занимает RP-технология [3].

При проектировании новой машины часто возникает необходимость в опытных образцах изделия в целом или его составных частей. Метод лазерно-компьютерного макетирования (ЛКМ), представляет собой разновидность RP-технологии и позволяет в считанные часы получать изделия-прототипы, которые могут использоваться: маркетологами - в рекламе; конструкторами - для оценки дизайна, функциональности, эргономичности; технологами - для оценки технологичности и проектирования всей необходимой технологической оснастки.

Область применения технологий быстрого прототипирования определяется достижимой точностью и качеством изготовления детали. Можно выделить основные сферы применения этих технологий:

1. Прототипы для оценки проекта. На этапе конструирования они позволяют оценить визуальные, эргономические и другие характеристики будущих изделий.
2. Прототипы для функциональной оценки (рис. 2) [4]. Модели объектов создаются для физического моделирования процессов и явлений.
3. Модели для дальнейшего производственного процесса – литейные и др.
4. Производство функциональных изделий, которое предполагает изготовление единичных функциональных изделий сложной формы.
5. Изготовление имплантатов, макетов органов в биомедицине.
6. Производство оснастки индивидуальных дизайнерских изделий в ювелирной промышленности.

Существует большое количество технологий быстрого прототипирования, которые отличаются друг от друга применяемым материалом и способом его нанесения. Перечислим основные из них.

Стереолитография (Laser Stereolithography)- это исторически первый и наиболее распространенный метод быстрого прототипирования. Метод основан на послойном отверждении жидкой фотополимеризующейся композиции лазерным лучом, направляемым сканирующей системой. При добавлении в фотополимеризующуюся композицию металлических или керамических порошков изменяются свойства полимера и усложняется процесс синтеза. Лазерная стереолитография (ЛС) позволяет получать наиболее точные и сложные модели (рис. 3), а применяемые материалы обладают рядом преимуществ (прочность, прозрачность, влагостойкость, простота обработки поверхности, возможность склейки и т.д.).

Преимуществами данной технологии являются: ставнительно высокие механические свойства получаемых прототипов; отсутствие ограничений по сложности исполняемой геометрии; высокая и легко прогнозируемая скорость выполнения прототипа; малый расход материала, обуславливающий низкую цену. К недостаткам этой технологии относят нежелательное искривление полимеризуемой поверхности и расслоение деталей.

Направления дальнейшего развития стереолитографии:

- 1 промышленная эксплуатация стереолитографов;
- 2 создание миниобъектов;
- 3 создание биосовместимых композиций и объектов с внутренней структурой;
- 4 развитие программного обеспечения для стереолитографии и медицинских приложений.

Технология FDM (FusedDepositionModeling)- заключается в послойной укладке расплавленной полимерной нити в соответствии с геометрией математической модели детали, разработанной в системе CAD [7]. Нити изготавливаются из сополимера химических составов акрилонитрила

(Acrylonitrile), бутадиена (Butadiene) и этилен-бензола (Styrene) (ABS), поликарбоната (PC) или воска. Термопласт выдавливается через специальную головку с определенной температурой, переходя при этом в полужидкое состояние (рис. 4). Затем он наносится тонкими слоями на неподвижное основание с очень высокой точностью. Слои затвердевают и соединяются друг с другом. Применяется данная технология в единичном производстве.

Модель, изготовленная с применением этой технологии, называемой WaterWorks, остается гладкой и чистой, без рисков и царапин, с сохранением мельчайших деталей. Применение FDM технологии позволяет изготавливать тонкостенные детали и детали со сложными внутренними полостями. Кроме того, возможно параллельное изготовление нескольких деталей, если они вписываются в рабочую зону установки. Полученное изделие можно сразу использовать, поскольку не требуется его последующая доработка. В качестве недостатков данной технологии указывается использование дорогостоящих и не всегда безопасных исходных составляющих.

Преимуществами данной технологии являются: возможность изготовления элементов типа «защелка»; изготовление сложных узлов в сборе; использование ABS и PC материалов для построения прототипа; возможность производить испытания на собираемость и функциональность; изготовление стойких моделей для литья в песчаные формы. По точности и шероховатости FDM- модели уступают LS, но многие задачи могут быть решены за счет этой доступной и дешевой технологии.

Технология LOM (Laminated Object Manufacturing - процесс изготовления объектов с использованием ламинирования) включает в себя лазер, который слой за слоем вырезает контуры сечений по CAD-данным, [7] (рис. 5). CAD - данные поступают в систему управления станком, где с помощью специального программного обеспечения создаются поперечные сечения детали. Луч лазера вырезает контур сечения в верхнем слое, а затем разрезает области лишнего материала для последующего удаления. Новый слой соединяется с предыдущим за счет прокатки термоваликом и создается новое поперечное сечение, которое затем также вырезается. После того, как все слои будут изготовлены, избыточный материал удаляется вручную. Затем поверхность детали шлифуется, полируется или окрашивается. В данной технологии применяются недорогие твердые листовые материалы. Преимуществом LOM- моделей является надежность, устойчивость к деформациям и эффективная стоимость, независящая от геометрической сложности [9]. К недостаткам относятся шероховатость боковой поверхности изделий. Сложно также выполнять последующую обработку изделия из-за возможного расслоения.

Дальнейшее развитие технологии LOM направлено на добавление порошковых материалов (керамики, полимеров) при прессовании листового материала и ламинировании, а также повышение точности формы синтезируемых деталей.

Технология SLS (Selective Laser Sintering) - селективное лазерное спекание, является одной из технологий производства изделий любой геометрии из порошкообразного материала. Свое развитие технология начала в 70-х годах прошлого века. В 1971 году француз Пьер Сиро (Pierre Ciraud) подал заявку на патент, описывающая способ изготовления изделий из порошкового материала.

SLS технологии широко используется во всем мире благодаря своей способности легко и просто создавать очень сложные геометрические формы непосредственно с цифровых данных систем автоматического проектирования (САПР). В то время, как в начале цикла разработки технология в основном использовалась для создания прототипов уменьшенных деталей устройств, то сейчас она все чаще используется для производства запчастей практического применения с небольшим объемом партий. Одним из наименее ожидаемых и быстро растущих применений SLS является его использование в искусстве [10].

Процесс лазерного спекания во многом аналогичен стереолитографии: здесь также применяются лазерный луч и пошагово опускаемая платформа (рис. 6). Однако в качестве строительного материала используется порошок, который подается из питающего контейнера и с помощью специального ролика тонким слоем распределяется по поверхности платформы. Лазерный луч сканирует по поверхности порошка, обводя контур первого слоя будущей модели, а затем сканирует все пространство внутри него. В результате теплового воздействия лазерного излучения частицы порошка оплавляются, а после ухода лазерного луча – затвердевают, образуя спеченную или сплавленную структуру. Таким образом, в процессе изготовления прототипа исходный материал претерпевает два фазовых изменения: из твердого в жидкое, и снова в твердое. Процесс генерации модели продолжается слой за слоем. При этом модель погружена в ванну из неспеченного порошка, являющегося естественной опорой. После извлечения модели из камеры излишки порошка удаляются. Удаляемый порошок можно использовать повторно

Преимуществами данной технологии являются:

1. Прототип позволяет оценить внешний вид детали, проверить надежность конструкции, произвести сборку, проверить работоспособность детали или узла.
2. Не нуждается в поддержке структур в связи с тем, что части строящихся элементов окружены исходным рабочим материалом на протяжении всего времени изготовления, малые деформации и напряжения
3. Изготовление функциональных моделей сложных геометрических форм с высокой точностью
4. Широкий выбор недорогого нетоксичного строительного материала – от пластика до металлического сплава

Недостатками являются:

1. Высокая шероховатость и пористость моделей.
2. Для более полного протекания объемной и поверхностной диффузии, вязкого течения и других процессов, имеющих место при спекании порошка, требуется относительно длительная выдержка под лазерным излучением, это приводит к длительной работе лазера и малой производительности процесса, что делает этот процесс экономически не целесообразным.
3. Сложности с поддержанием температуры процесса в интервале между точкой плавления и температурой твердофазного спекания.

В настоящее время существует большое количество технологий быстрого создания изделий. Они используют различные физические процессы и материалы для создания прототипов. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, область эффективного применения. Во многих случаях изделия, полученные методами быстрого прототипирования можно применять сразу по назначению или после незначительных доводочных операций. Наиболее перспективным направлением развития технологий быстрого создания изделий является селективное (избирательное) лазерное спекание, которое позволяет получать функциональные изделия, является практически безотходной и наиболее универсальной, так как имеет самый широкий выбор недорогих модельных материалов.

Литература.

1. Additive Fabrication Terminology Unraveled. – <http://www.additive3d.com>
2. Зленко М. Технологии быстрого прототипирования - послойный синтез физической копии на основе 3D CAD-модели // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №2 (11). – С. 2– 9.
3. Петрушин С. И., Сапрыкин А. А., Вальтер А. В. Технологии послойного синтеза изделий-прототипов методом селективного лазерного спекания порошков // Технология машиностроения. – 2015 – №. 3. – С. 42–45
4. Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А. Изготовление металлических изделий методом послойного синтеза // Современная техника и технологии: Тезисы 11 междунар. н/п конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 216–218.
5. Live C.L., Leong K.F., Chua C.K., Du Z. Dual material rapid prototyping techniques for the development of biomedical devices. Part 1: Space Creation // Int.J.Adv.Manuf. Technol. – 2001. – V. 18. – P. 717– 723.
6. Технологии быстрого прототипирования в современном производстве. – <http://www.sibai.ru/tehnologii-byistrogo-prototipirovaniya-v-sovremennom-proizvodstve>.
7. Технология FDM. – <http://rp-machines.ru/technology/fdm>.
8. Технологии быстрого прототипирования. – <http://sldt.ru/rp/gallery>.
9. Технология FDM. – <http://www.cad.dp.ua/obzors/prototip.php>.
10. <http://3dcream.ru/tehnologiya-sls-istoriya-sozdaniya-i-razvitiya.html> Технология SLS. История создания и развития.

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАННЫХ ПРОФИЛЕЙ НА СТАНКЕ OKUMA ES-L8 II-М МЕТОДОМ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ

Н.Н. Шамарин, А.А. Моховиков, к.т.н, доц.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: Serper89@gmail.com

Часто в процессе механической обработки деталей сложной конфигурации приходится прибегать к излишней дифференциации технологического процесса и применению специальных приспособлений или дорогостоящего оборудования. Следствием этого является снижение производительности и удорожание объекта производства. Это особенно заметно при обработке деталей имеющих гранные поверхности.

В целях снижения дифференциации технологического процесса механической обработки гранных профилей можно использовать токарные обрабатывающие центры с двумя управляемыми осями (с отсутствующей осью «Y») и приводным инструментом. На таком оборудовании обработка осуществляется путем интерполяции движений заготовки и режущего инструмента. Однако, как показывает производственный опыт эксплуатации станка OKUMA ES-L8 II-M такой метод обладает рядом недостатков, а в частности:

- невысокая производительность;
- отклонение формы контура профиля δ см. рисунок 1;
- ограниченность размеров применяемого инструмента, обусловленная максимальным диаметром цанги;
- невозможность получения инструментом, установленным в осевой приводной блок, гранных профилей удаленных от торца детали.

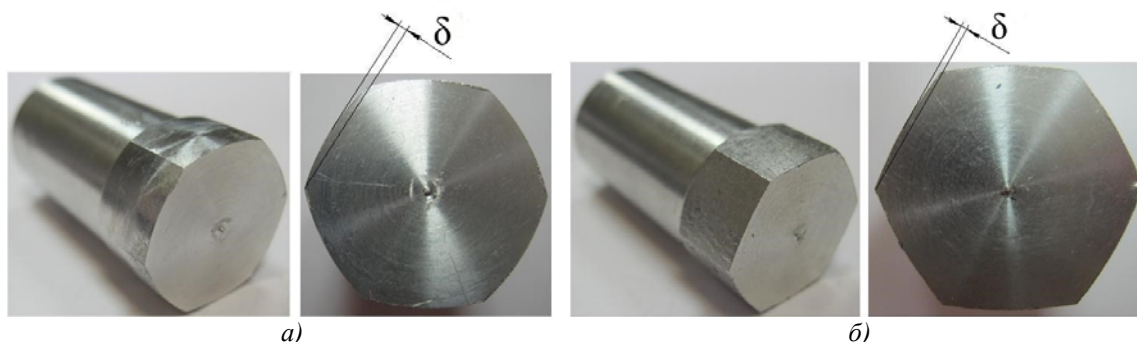


Рис. 1. Пример профиля полученного методом интерполяции на станке OKUMA ES-L8 II-M
а) при помощи осевого приводного блока б) при помощи радиального приводного блока.
 δ – величина отклонений граней профиля

Вероятной альтернативой получения гранных профилей является метод, называемый полигональное точение или фрезоточение некруглых профилей. Это процесс механической обработки гранных профилей, основанный на сочетании двух вращательных движений детали и режущего инструмента, и поступательного движения подачи в осевом или радиальном направлении.

Важным преимуществом полигонального точения, является производительность обработки, которая по основному времени соответствует производительности точения круглых валов.

Процесс полигонального точения характеризуется следующими параметрами:

- Соотношение угловых скоростей детали и режущего инструмента k ;
- Количество режущих элементов инструмента Z ;
- Направление подачи (осевое или радиальное).

На основе анализа работ [1, 2] было выявлено, что в зависимости от схемы обработки (попутная или встречная) и соотношения угловых скоростей заготовки и режущего инструмента, траекториями относительного движения зубьев инструмента могут быть различные циклические кривые. Т.е. грани контура не являются прямыми. Чтобы определить условия получения профиля с минимальным отклонением формы его граней был применен метод графического моделирования с помощью САПР «КОМПАС 3D». Таким образом было выявлено, что предпочтительными являются встречная схема обработки и отношение угловых скоростей заготовки и инструмента $1/2$, а диаметр инструмента должен иметь значение, максимально большее относительно детали.

Также немаловажным является тот факт, что в процессе полигонального точения кинематические углы резания не постоянны [1]. Это необходимо учитывать при проектировании режущего инструмента. Так, например, В случае обработки с продольной подачей по схеме представленной на рисунке 5 необходимо уделить внимание заднему вспомогательному углу α_1 . В момент врезания данный угол имеет максимальное значение, а в момент выхода из зоны резания – минимальное. Таким образом для исключения трения вспомогательной задней поверхности инструмента об обработанную поверхность детали необходимо увеличить задний вспомогательный угол на величину Δ см. рисунок 6.

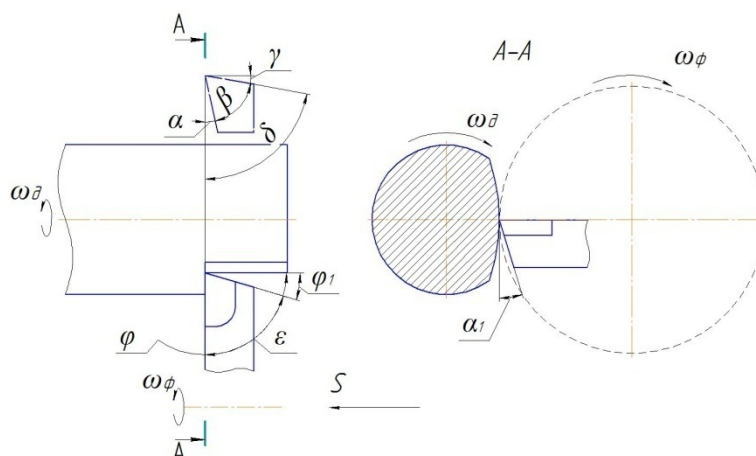
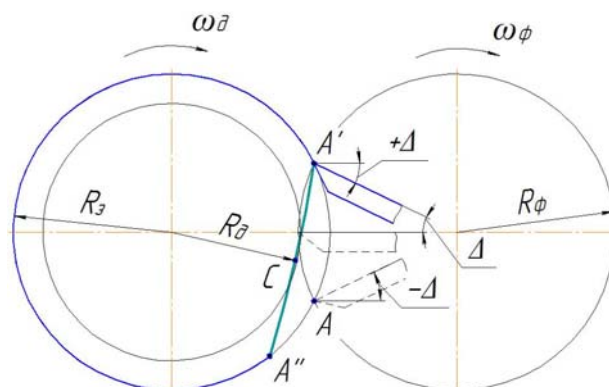


Рис. 5. Углы режущей части инструмента

Рис. 6. Изменение величины Δ в процессе резания

Экспериментальная проверка особенностей формообразования и кинематики при полигональном точении была проведена на станке OKUMA ES-L8 II-M. Для этого был изготовлен инструмент, с увеличенным задним вспомогательным углом режущих элементов до значения $\alpha_1=18^\circ$. Режимы резания были рассчитаны согласно рекомендациям, приведенным в работах [3, 4] и скорректированы согласно технологическим особенностям станка и кинематики процесса полигонального точения см. таблицу 1. При этом соотношения угловых скоростей и количество режущих элементов инструмента приняты согласно рекомендациям, представленным в работе [5]

В результате эксперимента были получены профили различных размеров в диапазоне от 10 до 30 мм, с количеством граней от одной до шести. Примеры данных профилей представлены на рисунке №.

Таблица 1

Возможные параметры для реализации полигонального точения
на станке OKUMA ES-L8 II-M.

Число граней	Количество зубьев фрезы z	Условия		
		Соотношение угловых скоростей детали и инструмента k	Частота вращения детали п/д	Частота вращения инструмента п/ф
1	1	1	70..200	70..200
2	1	1/2	35..200	70..400
	2	1	70..200	70..200
3	1	1/3	24..200	72..600
	3	1	70..200	70..200

Продолжение таблицы 1

Число граней	Количество зубьев фрезы z	Условия		
		Соотношение угловых скоростей детали и инструмента k	Частота вращения детали п/д	Частота вращения детали п/д
4	1	1/4	18..200	72..800
	2	1/2	35..200	70..400
5	1	1/5	14..200	70..1000
	1	1/6	12..200	72..1200
	2	1/3	24..200	72..600
	3	1/2	35..200	70..400



Рис. 8. Примеры полученных образцов

В результате проведенной работы установлена возможность применения на станке OKUMA ES-L8 II-M метода полигонального точения для получения гранных профилей, соответствующих требованиям ГОСТ 6426-73.

Исследование показало, что реализация полигонального точения на станке OKUMA ES-L8 II-M возможна, но при ограниченных режимах представленных в таблице 1. Действительные величины отклонения имеют значения ниже поля допуска размера «под ключ» согласно ГОСТ 6426-73. Таким образом, можно сделать вывод, что в ряде случаев для получения гранных профилей возможно применение полигонального точения, в качестве альтернативы способам обработки, предусмотренным производителями металлорежущего оборудования.

Литература.

1. Воронов В.Н. Формообразование и кинематика резания при фрезоточении некруглых профилей // Автоматизация и современные технологии 2001 №7. С. 8–11.
2. Бекасов Д.Л., Воронов В.Н. Классификация схем фрезоточения некруглых профилей // Технология машиностроения. 2008 №7. С. 10–13.
3. Воронов В.Н. Режимные параметры процесса фрезоточения некруглых профилей // Автоматизация и современные технологии 2004 №1. С. 3–5.
4. Бекасов Д.Л. Фрезоточение некруглых профилей с продольной подачей // технология машиностроения. 2008. №3. С. 9–10.
5. Бекасов Д.Л., Воронов В.Н. Классификация схем фрезоточения некруглых профилей // Технология машиностроения. 2008 №7. С. 10–13.
6. ГОСТ 6426-73 Зев (отверстие), конец ключа и размер «под ключ»

ПЕРЕХОД ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Р.А. Мамадалиев, ассистент, В.Н. Кусков, д.т.н., проф., Е.В. Юдина, студент

Тюменский государственный нефтегазовый университет

625000, г.Тюмень, ул. Володарского, 38

E-mail: mamadaliev_it@mail.ru

Введение

Многопроходная ручная дуговая сварка является одним из известных и широко применяемых способов сварки в промышленности. Несмотря на масштабную распространенность, зачастую возникают затруднения с наличием ряда недостатков, которые проявляются в виденепровара, возможных деформаций, шлаковых включений, неоднородности шва, а также увеличение зоны термического влияния.

Сталь 12Х18Н10Т широко используется при изготовлении изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах. Но стоит отметить, что основными трудностями при сварке этой стали является ее склонность к образованию кристаллизационных трещин, повышенный нагрев электрода и возможная потеря коррозионной стойкости сварными швами. Основным металлом для эксперимента выбрали с учетом применяемых конструкционных материалов в энергетической, нефтегазовой, приборостроительной и других ведущих отраслях Тюменского региона.

Цель исследования – Рассчитать кривые термических циклов на различном удалении от источника нагрева и показать влияние температуры на переход легирующих в наплавленный металл.

Материалы и методы исследования

Стыковое сварное соединение пластин размером 150х50х26 мм (длина х ширина х толщина) выполнены электродом марки ОК 61.30 ESAB при помощи инверторного источника питания ARC-200 [1]. Сварку выполняли на постоянном токе обратной полярности с регламентированной силой тока согласно марке электрода, количество проходов равно пяти.

С целью имитации многопроходной сварки при тепловых расчетах на персональном компьютере в программе «Троле» была принята начальная температура от 298К до 798К через 100К. Ось X направлена вдоль шва, ось Y – поперек, а ось Z – по высоте пластины.

На первом этапе в машину вводят теплофизические параметры, размеры пластин, параметры режима. Вычисления выполняют для каждой пластины в отдельности. Далее в зависимости от заданных условий выполнения соединения определяют расчетную схему: движущийся (быстродвижущийся) точечный источник на поверхности полубесконечного тела, движущийся (быстродвижущийся) точечный источник на поверхности плоского слоя. Значения X, Y, Z задают в сантиметрах, принимая Z = 0, то есть рассчитывают температуру на поверхности свариваемых пластин. По полученным результатам построили кривые термических циклов. На рисунке 1 - 4 приведены примеры для различных начальных температур.

Построение кривых термических циклов выполняют в системе координат, где:

- 1) по оси ординат откладываются значения Y при постоянных величинах X, а по оси абсцисс – значения температуры (рис. 1 и 4);
- 2) по оси ординат откладывают значения X при постоянных величинах Y, а по оси абсцисс – значения температуры (рис. 2 и 3).

Для определения химического состава наплавленного металла, электродных стержней и покрытий использовали рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) зачищенного шва на спектрометре X-MET 5000 с пакетом программ X MET. Источником возбуждения служила рентгеновская трубка с родиевым анодом PW 1404/00 (напряжение составляло 60 кВ, сила тока 50 мА). Время на определение одного элемента на глубине 0,1 – 0,5 мм от поверхности составляло около 1 мин.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показаны кривые термических циклов при начальной температуре 298К. Линии на данном графике показывают распределения тепла от шва к краям пластины (по оси X). По ординате Y они симметричны относительно оси шва.

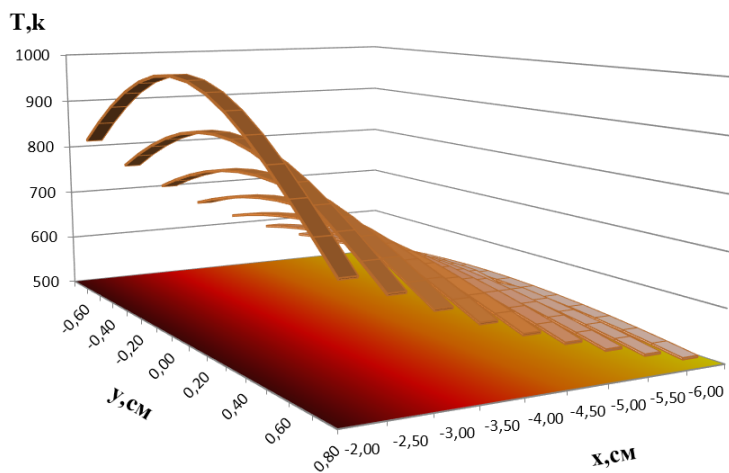


Рис. 1. Кривые термических циклов при постоянных значениях x и начальной температуре 298 К

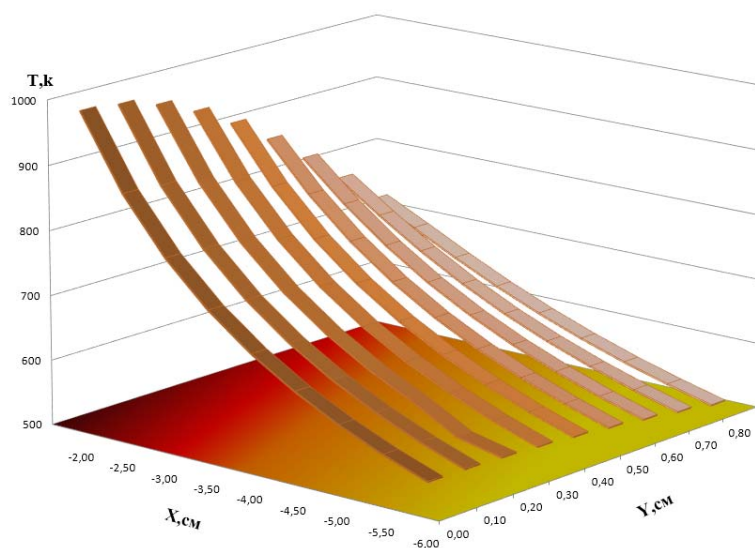


Рис. 2. Кривые термических циклов при постоянных значениях y и начальной температуре 398 К

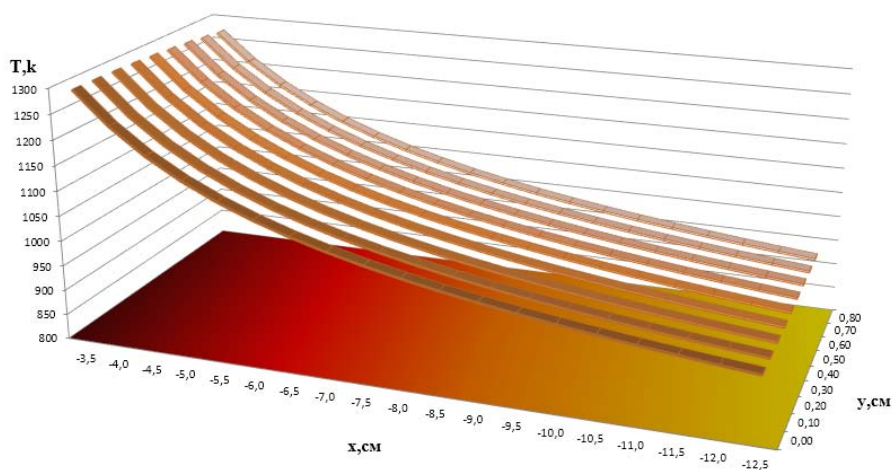


Рис. 3. Кривые термических циклов при постоянных значениях y и начальной температуре 698 К

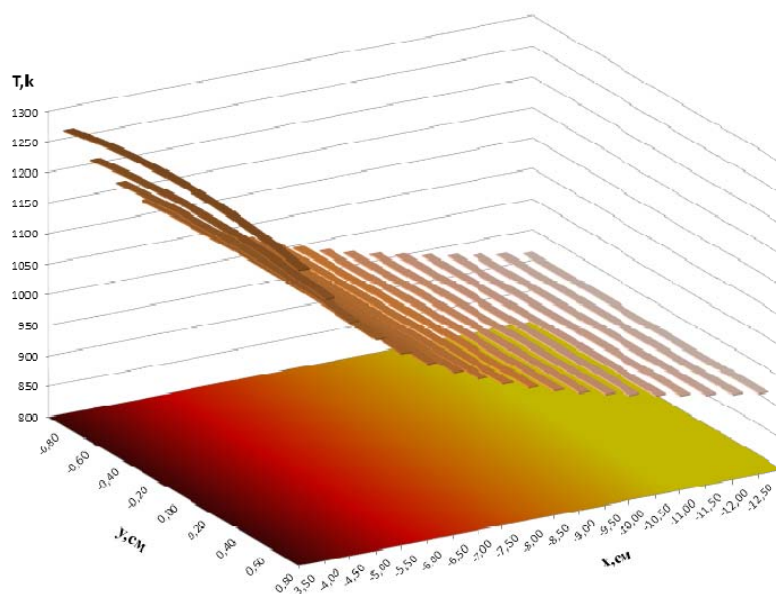


Рис. 4. Кривые термических циклов при постоянных значениях x и начальной температуре 798 К

Естественно, что по мере увеличения начальной температуры максимальные температуры нагрева и ширина зоны термического влияния повышаются. По расчетным кривым можно оценить зоны перегрева, закалки и т.д. Установлена зависимость перехода легирующих элементов в наплавленный металл от температуры (рис. 5).

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Содержание хрома в наплавленном металле составляет от 19,5 до 19,8 %, никеля - от 9,9 до 10,3, что соответствует требованиям ГОСТ, а марганца и титана - меньше 0,7%. При этом выгорание марганца и титана достигает 30-50%, хотя величина уменьшения концентрации указанных элементов 0,3 и 0,2% соответственно.

Количество хрома в наплавленном металле уменьшается незначительно (1,5%). Это сравнимо с погрешностью измерений. Изменение концентрации кобальта, ванадия и меди также находятся в пределах погрешности измерений.

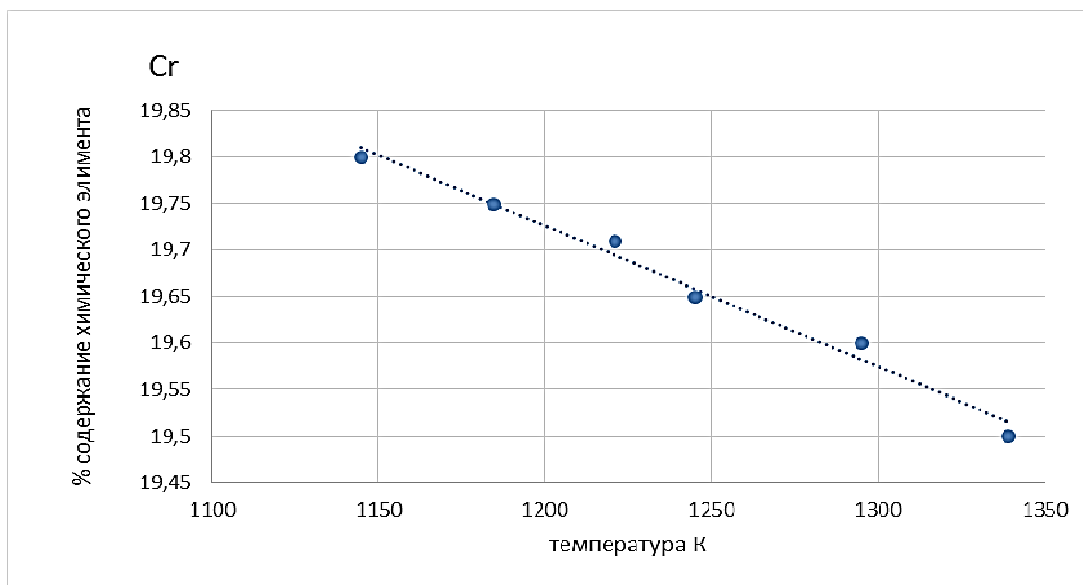


Рис. 5. Зависимость содержания хрома в наплавленном металле от температуры

На рис. 6 и 7 приведены примеры распределения легирующих элементов по длине шва в его верхних слоях (одинаковые цифры по оси абсцисс соответствуют одному проходу). Содержание хрома и титана изменяется в пределах погрешности измерений [2].

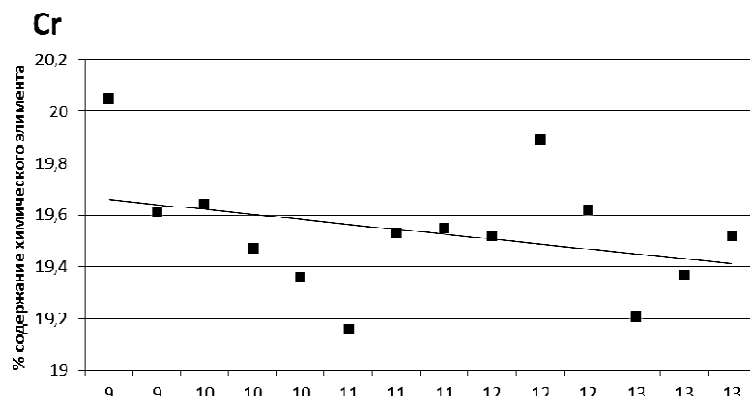


Рис. 6. содержание хрома в наплавленном металле многослойного шва

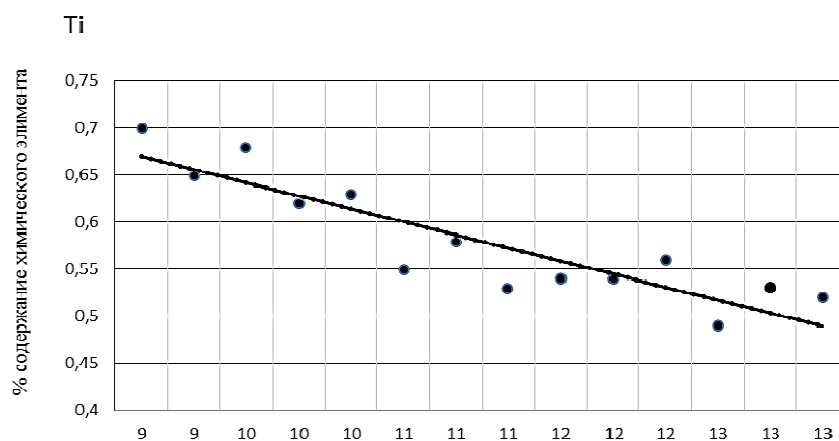


Рис. 7. содержание титана в наплавленном металле многослойного шва

Таким образом применение инверторного источника питания способствует равномерному распределению легирующих элементов по длине и высоте шва.

На рис. 8 показан пример структуры наплавленного (литого) и свариваемого (аустенит) металлов. Кроме границы между ними виден и участок сплавления слоев.



Рис. 8. Микроструктура зоны сплавления

Литература.

1. Влияние источника нагрева на легирование наплавленного металла при получении соединений высоколегированных сталей. Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Галинский А.А. Фундаментальные исследования. 2014. № 11-3. С. 515-518.
2. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12х18н10т Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Фундаментальные исследования. 2013. № 11-9 С. 1794-1797.цц
3. Влияние типа источника питания на тепло- и массоперенос при ручной дуговой сварке Ильященко Д.П., Чинахов Д.А. Сварка и диагностика. 2010. № 6. С. 26-29.
4. Influence of arc welding power supply on structural phase composition of x12crniti 18-9 (din) weld Il'yaschenko D.P., Chinakhov D.A., Danilov V.I., Schlyakhova G.V. Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 770. С. 70-75.

**НАНОРАЗМЕРНЫЕ БОРИДЫ И КАРБИДЫ ДЛЯ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ,
МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СВОЙСТВА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Г.В. Галевский, д.т.н., профессор, В.В. Руднева, д.т.н., профессор, С.Г. Галевский, к.э.н., доцент*

Сибирский государственный индустриальный университет,

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-74-89-13

E-mail: kafcmet@sibsiu.ru

**Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»*

199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2, тел. (812) 328-89-16

E-mail: feanor1985@mail.ru

Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки России № 11.1531/2014/К.

Целью настоящей работы является обобщение и анализ накопленного опыта и результатов, достигнутых авторами в освоении технологий применения нанодисперсных боридов и карбидов хрома, титана и кремния в качестве компонентов гальванических металломатричных композиционных покрытий.

Гальванические покрытия чрезвычайно широко применяются в технологии современного машиностроения. Уровень традиционных технологических процессов и конструкции оборудования в гальванотехнике практически достиг пика своего развития. Однако современное материаловедение ставит перед исследователями ряд задач по поверхностному упрочнению деталей машин и механизмов, приданию им повышенных механических, антикоррозионных, антифрикционных и эстетических свойств, решение которых невозможно методами традиционной гальванотехники, что определило активную разработку новых направлений в этой области. Одним из таких новых направлений является формирование гальванических композиционных покрытий (ГКП). К данной группе относятся покрытия, осаждаемые в виде тонкого слоя на изделия с электропроводящей поверхностью из электролитов, содержащих дисперсную фазу. Новые композиционные покрытия разработаны на основе матриц из хрома, никеля, цинка, меди, золота, серебра и др. Технология композиционного электроосаждения получила развитие благодаря научным школам профессоров Р.С. Сайфуллина (КГТУ), Г.В. Халдеева (ПГУ), Т.Е. Цупак (РГХТУ), В.Ю. Долматова (СПбГПУ).

Для композиционного электроосаждения традиционно используются микропорошки алмазов, карбидов, боридов, нитридов, силицидов переходных металлов крупностью 1 – 10 мкм. Порошки такой зернистости существенно повышают твердость и износостойкость композиционных покрытий. Однако достаточно высокая крупность порошков и связанное с ней неравномерное распределение частиц в объеме матрицы приводит к повышенной пористости композита и, как следствие, снижению термостойкости, жаропрочности и коррозионностойкости. Эти обстоятельства предопределяют целесообразность технологического применения в процессах электроосаждения нанодисперсных алмазов, боридов и карбидов.

Промышленные технологии синтеза и применения наноразмерных алмазов, или наноалмазов, представлены авторами в работах [1]. Производство включает в себя детонационный синтез, химическую очистку и кондиционирование продукта. С применением наноалмазов разработаны композиционные электрохимические покрытия на основе хрома, никеля, олова, цинка, меди, золота, серебра, алюминия, железа, различных сплавов. При введении наноматериалов в электроосаждаемые

покрытия существенно повышаются их микротвердость, износостойкость, антикоррозионная стойкость, улучшается внешний вид, уменьшается пористость. Наряду с достоинствами наноалмазов и преимуществами применения их в технологии ГКП специалисты-гальваники отмечают целый ряд проблемных вопросов их применения: чрезвычайно высокий уровень дисперсности, скорее определяемый способом получения, чем востребованный сферой применения; связанная с этим поставка наноалмазов потребителю в виде водной суспензии, значительная склонность к коагуляции, быстрая потеря седиментационной устойчивости, необходимость реализации сложной многооперационной технологии приготовления и эксплуатации электролита, ограниченный ресурс работы хром-алмазных покрытий в условиях повышенных температур (более 473-573 К) вследствие разрушения из-за окисления частиц наноалмазов, импрегнированных в поверхностные слои хромовой матрицы, при нагреве обрабатываемого инструмента в процессе эксплуатации.

Промышленная технология производства нанопорошков боридов и карбидов титана, хрома и кремния описана авторами в работах [2-7]. Производство включает плазменный синтез и, при необходимости, рафинирование нанопорошков. В табл.1 приведены параметры боридо- и карбидообразования для условий трехструйного вертикального прямоточного реактора мощностью 150 кВт и основные характеристики боридов и карбидов. Можно видеть, что по содержанию основных фаз и уровню дисперсности вводимые в обращение материалы в целом удовлетворяют требованиям, представленным к компонентам металлооматричных композиционных покрытий.

Ниже приведены основные характеристики покрытий с наноконпонентами: хром, никель – карбид кремния, никель – карбонитрид, борид хрома, никель – карбид, борид титана, цинк – борид хрома (табл. 2). Условия электроосаждения, структура и свойства покрытий подробно описаны в работах [8-10]. Анализ полученных результатов свидетельствует об идентичности процессов композиционного хромирования, никелирования, цинкования и позволяет выделить в качестве основных факторов повышения эксплуатационных покрытий следующие:

- нанопорошки боридов и карбидов представлены частицами, близкими по форме к сферическим или овальным, не имеющими острых кромок; обладают высокой химической и адсорбционной активностью, образуют устойчивые к седиментации и коагуляции электролиты – суспензии; из-за малых массы и размера эффективно переносятся к покрываемой поверхности;

- во время электроосаждения взвешенные в электролите боридные и карбидные частицы взаимодействуют с поверхностью растущего осадка благодаря гидродинамическим, молекулярным и электростатическим силам, что приводит к образованию композиционного покрытия;

- при электролитическом осаждении хрома, никеля и цинка наночастицы выступают в качестве центров кристаллизации, от которых начинается кристаллизация металла; при этом вследствие большого количества частиц, участвующих в процессе, кристаллизация носит массовый многозародышевый характер, а образующиеся покрытия имеют малые размеры структурных фрагментов, характерный матовый цвет и практически беспористы;

- совокупность практически безинерционного массопереноса частиц и массовой кристаллизации металлов обеспечивает равномерное осаждение покрытий на эквипотенциальных поверхностях;

- малый размер частиц кристаллитов металла обеспечивает точное копирование микрорельефа поверхности, что увеличивает общую поверхность и прочность сцепления композиционного покрытия с основой;

- повышение качества покрытия – коррозионной стойкости и микротвердости – достигается при малом содержании боридов и карбидов в покрытии (0,5 – 1,0) %, что делает процесс экономичным.

Таблица 1

Параметры боридо- и карбидообразования
и основные характеристики нанопорошков

Параметры синтеза и характеристики	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	SiC
Состав газа - теплоносителя, % об.: - азот / водород / метан	74/25/1	99/-/1	74/25/1	99/-/1	99/-/1
Технологический вариант синтеза	Cr+B+H ₂	Cr+CH ₄	Ti+B+H ₂	Ti+CH ₄	Si+CH ₄
Производительность по сырью, кг/ч	3,6	3,1	3,6	3,2	3,0

Параметры синтеза и характеристики	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	SiC
Количество бора в шихте, % от стехиометрического	100-120	–	100-120	–	–
Количество карбидизатора, % от стехиометрического	–	120-140	–	120-140	120-140
Начальная температура плазменного потока, К	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400
Температура закалки, К	2600-2800	2000-2200	2600-2800	2600-2800	2800-3000
Фазовый состав	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	β-SiC
Содержание основной фазы, %	92-93	92-93,5	92-93	93-93,5	91-92
Выход основной фазы, %	91-92	90,5-91,5	91,5-92,5	92-92,5	87-90
Производительность, кг/ч	3,0	3,4	3,4	3,7	4,05
Интенсивность, кг/ч·м ³	1364	2010	1980	2105	2200
Удельная поверхность, м ² /кг	33000-35000	31000-35000	46000-48000	33000-35000	40000-44000
Размер* частиц, нм	42,0	34,0	36,0	35,0	55,0
Форма частиц	Шаровидная	Шаровидная	Шаровидная	Огран. куб.	Огран.
Окисленность** нанопорошка x10 ⁷ , кг O ₂ /м ²	9,0-9,7	8,0-10,0	5,8-7,6	8,5-9,5	6,5-8,0
* - рассчитывался по величине удельной поверхности; ** - определялась после выдержки на воздухе в течение 24 ч.					

Таблица 2

Основные физико-механические свойства композиционных покрытий с наноконпонентами

Покрывтия	Свойства					
	Микро-твердость ±0,3 ГПа	Прочность сцепления, МПа	Износостойкость**	Скорость окисления** T=1173K	Внутренние напряжения, МПа	Токи коррозии, мкА/см ²
Хром	5,4	27,9-28,8	1			
Cr – НП SiC	9,7	29,3-30,4	2,5	*	*	*
Cr – МП SiC	8,9	28,4-29,2	2,2			
Никель	2,2	29,1-30,3	1	2,55	1,36	0,17
Ni – НП	4,5	29,8-32,1	1,72	1	0,50	0,02
Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	3,2	28,9-30,2	1,54	1,34	0,78	0,11
Ni – МП Cr ₃ C ₂	4,6	31,2-33,3	1,69	1	0,41	0,02
Ni – НП CrB ₂	3,5	29,8-30,6	1,52	1,17	0,72	0,10
Ni – МП CrB ₂	4,4	30,7-32,8	1,70	1	0,52	0,03
Ni – НП TiC	3,3	29,2-29,6	1,50	1,31	0,78	0,12
Ni – МП TiC	5,3	29,5-32,2	1,76	1	0,54	0,02
Ni – НП TiB ₂	3,3	29,1-31,2	1,47	1,24	0,79	0,11
Ni – МП TiB ₂						
Цинк	1,0	*	*	*	*	1,0***
Zn – НП CrB ₂	1,2					2,3***
* - не определялось ** - приведены относительные значения *** - приведена коррозионная стойкость по ГОСТ 9.308-85, относительные значения						
НП – нанопорошок МП – микропорошок						

Литература.

1. Долматов В.Ю. Современная промышленная технология получения детонационных наноалмазов (НА) и основные области их использования // Нанотехнологии – производству – 2006 : Труды международного науч.-практ. конф. М. : Янус-К. 2006. С. 113-151.
2. Руднева В.В. Исследование теплотехнических характеристик трехструйного плазменного реактора/ В.В. Руднева, Г.В.Галевский, С.Г. Галевский, Е.К. Юркова // Изв.вузов. Черная металлургия – 2007. - №2 – С. 57-60.
3. Ноздрин И.В. Исследование характеристик реактора для плазмометаллургического производства тугоплавких боридов и карбидов/ И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева// Изв.вузов. Черная металлургия – 2011. - №8 – С. 27-32.
4. Ноздрин И.В. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока/ И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева// Изв.вузов. Черная металлургия – 2011. - №10 – С. 12-17.
5. Галевский Г.В. Разработка научных и технологических основ плазменного синтеза наноборида титана/ Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова// Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2015. - №2(219) – С.141-150.
6. Ноздрин И.В. Плазменный синтез и физико-химический аттестация нанокарбида хрома/ И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, В.В. Руднева// Изв. вузов. Черная металлургия – 2012. - №12. – С.3-8.
7. Ширяева Л.С. Производство и применение карбида титана (оценка, тенденции, прогнозы)/ Л.С. Ширяева, А.К. Гарбузова, Г.В. Галевский// Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2014. - №2(195) – С.100-108.
8. Ширяева Л.С. Исследование композиционных электрохимических покрытий никель-нанокарбид хрома/ Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева// Гальванотехника и обработка поверхности – 2014. – Т.ХХI.- №2. – С. 53-57.
9. Галевский Г.В. Электроосаждение, структура и свойства композиционного покрытия «никель-карбид титана»/ Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.К. Гарбузова// Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2015. - №1(214) – С.154-164.
10. Галевский Г.В. Металломатричные защитные покрытия с наноконпонентами: формирование, свойства, применение/ Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.К. Гарбузова// Изв. вузов. Черная металлургия – 2015. –Т.58. - №5. – С.335-339.

**НАНОДИСПЕРСНЫЕ БОРИДЫ И КАРБИДЫ: ПЛАЗМОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ПРОИЗВОДСТВО, ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Г.В. Галевский, д.т.н., профессор, В.В. Руднева, д.т.н., профессор, С.Г. Галевский, к.э.н., доцент
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-74-89-13
E-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки России № 11.1531/2014/К.

Целью настоящей работы является обобщение многолетнего опыта и результатов, достигнутых Сибирским государственным индустриальным университетом (СибГИУ) в создании профильного оборудования и освоении технологий производства нанодисперсных боридов и карбидов хрома, титана и кремния. Выбор в качестве объекта исследования технологии производства этих боридов и карбидов обусловлен благоприятным сочетанием у них потребительских свойств (твердости, тугоплавкости, износостойкости и жаропрочности); доступностью сырья; относительной простотой печного синтеза как базовой технологии; устойчивым спросом со стороны потребителей, особенно в качестве наплавочных материалов, материалов функциональных покрытий и модифицирующих комплексов, повышающих жизненный цикл изделий и инструментов в 3 – 4 раза; реальной возможностью достижения новых эффектов при применении их в наносостоянии.

Для экспериментального исследования синтеза боридов и карбидов и их производства совместными усилиями СибГИУ и НПФ «Полимет» создан промышленный плазмотехнологический комплекс, превосходящий по основным характеристикам известные созданные ранее опытные варианты. Основные характеристики реактора приведены в табл. 1. Более подробно теплотехнические, ресурсные и технологические характеристики реактора описаны в работах [1,2]. Плазмотехнологический

комплекс включает трехструйный реактор и системы электро-, газо-, водоснабжения и вентиляции, контрольно-измерительных приборов и автоматики, дозирования шихтовых материалов, улавливания нанодисперсных продуктов и обезвреживания отходящих технологических газов.

Таблица 1

Основные характеристики реактора

Характеристики	Значения
Мощность, кВт	150
Тип реактора	трехструйный прямоточный вертикальный
Тип плазмотрона, мощность, кВт	ЭДП-104А, 50
Плазмообразующий газ	азот
Масса нагреваемого газа, кг/ч	32,5
Внутренний диаметр, м	0,054
Объем реактора, м ³	0,001
Футеровка канала реактора	диоксид циркония
Температура плазменного потока, К	5400 (L*=0) – 2200 (L=12)
Температура футеровки, К	1549 (L=0) – 770 (L=12)
Удельная электрическая мощность, МВт/м ³	2142
Ресурс работы: - анода	3125
- катода	112
Загрязнение карбидов и боридов продуктами эрозии, %	
- анода	Cu – 0,0000954%
- катода	W – 0,0000002%
L* - относительная длина реактора	

Результаты исследования плазмотехнологических вариантов получения боридов и карбидов и их реализации достаточно подробно описаны в целом ряде публикаций, изданных в различное время, в том числе [3-7].

Разработка и освоение плазмотехнологического производства боридов и карбидов хрома, титана и кремния включает два этапа: 1) исследование процессов боридо- и карбидообразования и физико-химических свойств боридов и карбидов в наносостоянии; 2) промышленное освоение исследованных технологических вариантов.

Ниже приведены допустимые пределы изменения параметров боридо- и карбидообразования в условиях промышленного реактора мощностью 150 кВт, основные характеристики боридов и карбидов (табл. 2).

На втором этапе разрабатываются нормативно-техническая документация (технические условия и технологические процессы) и аппаратурно-технологические схемы предлагаемых к реализации в условиях НПФ «Полимет» технологических вариантов производства боридов и карбидов, определяются основные технико-экономические показатели.

Таблица 2

Допустимые пределы изменения параметров синтеза боридов и карбидов в промышленном реакторе мощностью 150 кВт и их основные характеристики

Параметры синтеза и характеристики	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	SiC
Состав газа - теплоносителя, % об.: - азот / водород / метан	74/25/1	99/–/1	74/25/1	99/–/1	99/–/1
Технологический вариант синтеза	Cr+B+H ₂	Cr+CH ₄	Ti+B+H ₂	Ti+CH ₄	Si+CH ₄
Производительность по сырью, кг/ч	3,6	3,1	3,6	3,2	3,0

Параметры синтеза и характеристики	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	SiC
Количество бора в шихте, % от стехиометрического	100-120	–	100-120	–	–
Количество карбидизатора, % от стехиометрического	–	120-140	–	120-140	120-140
Начальная температура плазменного потока, К	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400
Температура закалки, К	2600-2800	2000-2200	2600-2800	2600-2800	2800-3000
Фазовый состав	CrB ₂	Cr ₃ (C _{0,8} N _{0,2}) ₂	TiB ₂	TiC	β-SiC
Содержание основной фазы, %	92-93	92-93,5	92-93	93-93,5	91-92
Выход основной фазы, %	91-92	90,5-91,5	91,5-92,5	92-92,5	87-90
Производительность, кг/ч	3,0	3,4	3,4	3,7	4,05
Интенсивность, кг/ч·м ³	1364	2010	1980	2105	2200
Удельная поверхность, м ² /кг	33000-35000	31000-35000	46000-48000	33000-35000	40000-44000
Размер* частиц, нм	42,0	34,0	36,0	35,0	55,0
Форма частиц	Шаровидная	Шаровидная	Шаровидная	Огран. куб.	Огран.
Окисленность** нанопорошка x10 ⁷ , кг O ₂ /м ²	9,0-9,7	8,0-10,0	5,8-7,6	8,5-9,5	6,5-8,0
* - рассчитывался по величине удельной поверхности;					
** - определялась после выдержки на воздухе в течение 24 ч.					

Переход к промышленному производству нанопорошков боридов и карбидов создает реальные предпосылки для их широкого введения в обращение, по крайней мере, на отечественном рынке наноматериалов. В табл. 3 приведено сопоставление основных технико-экономических показателей получения карбида и борида хрома и карбида кремния в лабораторных и промышленных условиях.

Таблица 3

Сравнение технико-экономических показателей получения нанопорошков в лабораторных и промышленных условиях

Технико-экономические показатели	CrB ₂	Cr ₃ C ₂	SiC
Максимальная мощность реактора, кВт	150/50	150/50	150/50
Содержание основной фазы, %	95,0*/81,0**	96,0/81,0	99,0/94,0
Окисленность x10 ⁷ , кг кислорода/м ²	8-10/18-20	12-14/9-11	0,8/6,7
Производительность, т/год на один реактор	3,2/0,5	3,6/0,6	3,1/1,8
Удельный расход электроэнергии, тыс.кВт·ч/т	75/145	69/140	74/115
Себестоимость, тыс.руб/кг	6,2/15,8	6,6/14,5	6,0/11,0
*/** - промышленный и лабораторный уровни			

За рубежом основными разработчиками и производителями наноматериалов на основе боридов и карбидов являются научно-производственные фирмы «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.» (США), «Tokyo Tekko Co» (Япония), «Hefei Kaier Nanotechnology & Development Ltd. Co» (Китай), «NEOMAT Co» (Латвия), «PlasmaChem GmbH» (Германия), предлагающие их по цене порядка 1200 долл.США/кг при сопоставимом уровне качества и дисперсности.

Литература.

1. Руднева В.В. Исследование теплотехнических характеристик трехструйного плазменного реактора / В.В. Руднева, Г.В. Галевский, С.Г. Галевский, Е.К. Юркова // Изв. вузов. Черная металлургия – 2007. - №2. – С.57-60.
2. Ноздрин И.В. Исследования характеристик реактора для плазмометаллургического производства тугоплавких боридов и карбидов/ И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // Изв. вузов. Черная металлургия – 2011. - №8. – С.27-32.
3. Ноздрин И.В. Синтез и эволюция дисперсности боридов и карбидов ванадия и хрома в условиях плазменного потока/ И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева // Изв. вузов. Черная металлургия – 2011. - №10. – С.27-32.
4. Галевский Г.В. Разработка научных и технологических основ плазменного синтеза наноборида титана/ Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова// Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2015. - №2(219) – С.141-150.
5. Ноздрин И.В. Плазменный синтез и физико-химический аттестация нанокарбида хрома/ И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева, В.В. Руднева// Изв. вузов. Черная металлургия – 2012. - №12. – С.3-8.
6. Ширяева Л.С. Производство и применение карбида титана (оценка, тенденции, прогнозы)/ Л.С. Ширяева, А.К. Гарбузова, Г.В. Галевский// Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2014. - №2(195) – С.100-108.
7. Руднева В.В. Термоокислительная устойчивость нанопорошков тугоплавких карбидов и боридов/ В.В. Руднева, Г.В. Галевский// Изв. вузов. Черная металлургия – 2007. - №4. – С.20-24.

СЕКЦИЯ 3: КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ

РАСЧЕТ ВРЕМЕННЫХ И ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАСТИНЕ

В.А. Тутик, студент, В.Е. Пачков, студент, А.С. Породько, студент

Научный руководитель: Негода Е.Н., к.т.н., доцент

Дальневосточный федеральный университет

Инженерные методы расчета позволяют оценить распределение сварочных напряжений в одномерном случае при простых граничных условиях. Численные методы, в частности метод конечных элементов (МКЭ), позволяют рассчитать напряженно – деформированное состояние сварной конструкции любой сложности при произвольных граничных условиях и достаточно сложной модели материала. Интересным является распределение временных и остаточных сварочных напряжений при относительно простой, но ограниченной геометрии сварного изделия. Для этого в данной работе рассмотрена пластина длиной 500, шириной 200 и толщиной 10 мм с центральным швом. Мощность источника нагрева 6000 Дж/с, скорость сварки – 0.3 см/с. Предел текучести основного материала 400 МПа, коэффициент Пуассона 0.27, модуль упругости 200000 МПа. При расчете учтена температурная зависимость предела текучести. С помощью программы Visual Mesh пластина разбита на 20100 элементов при 24846 узлах (рис. 1).

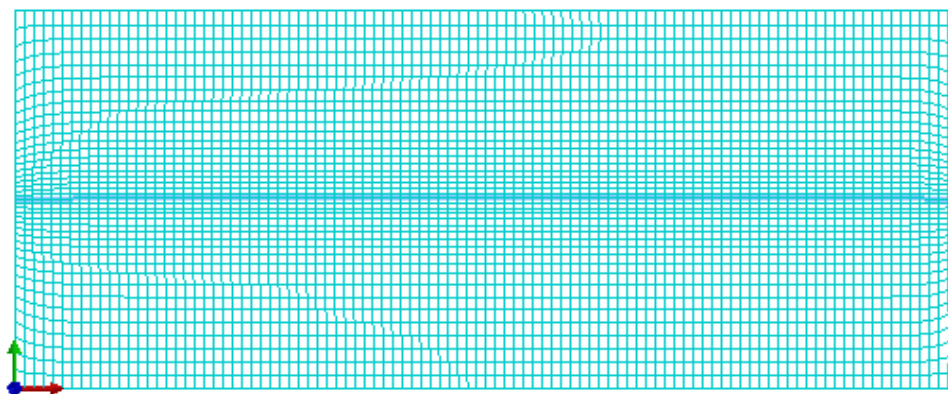


Рис. 1. Разбиение пластины на конечные элементы

Весь период разбит на 100 шагов. На каждом шаге сначала решается температурная задача, а затем термомеханическая. Задача решалась в пакете Visual Weld. На рис. 2 приведено распределение температуры при сварке. Тепловая схема соответствует движению источника нагрева по поверхности плоского слоя. При этом во время окончания движения источника нагрева видно влияние адиабатической границы в виде расширения изотерм на торцевой границе пластины. После окончания выполнения шва пластина охлаждается в течение 2000 с., что достаточно для формирования поля остаточных напряжений. На рис. 3 изображено поле напряжений, продольных относительно шва, σ_x .

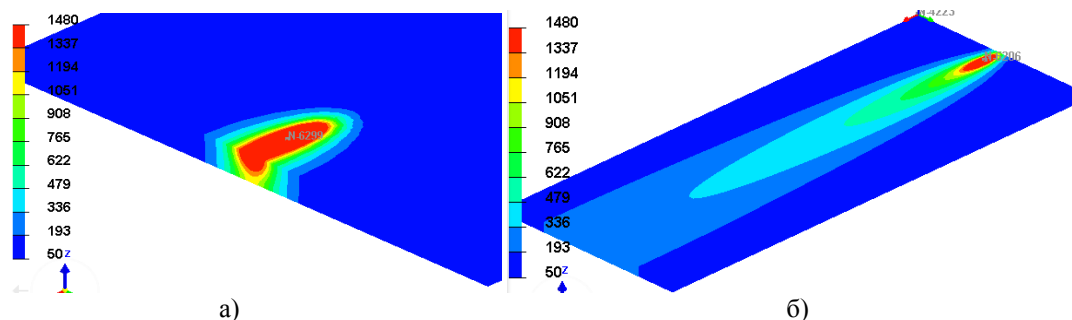


Рис. 2. Температурное поле в начале движения (а) и при окончании сварки (б)

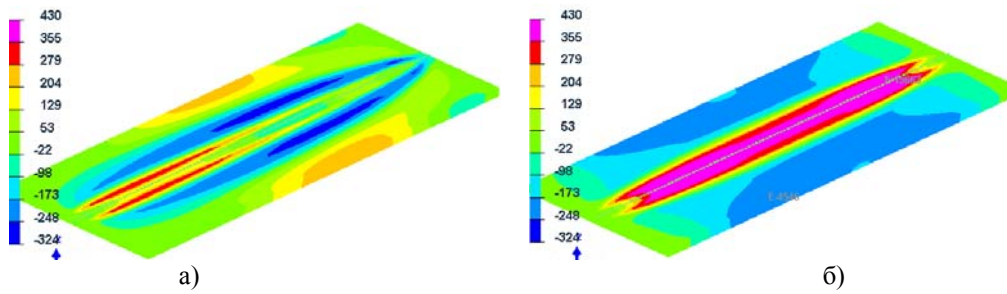


Рис. 3. Распределение напряжений σ_x в момент окончания шва (а) и остаточных (б)

Поперечные относительно шва напряжения σ_y малы во всей пластине, кроме ограниченной области около торцов (краевой эффект), где они могут быть растягивающими при окончании шва и сжимающими в остаточном состоянии (рис. 4).

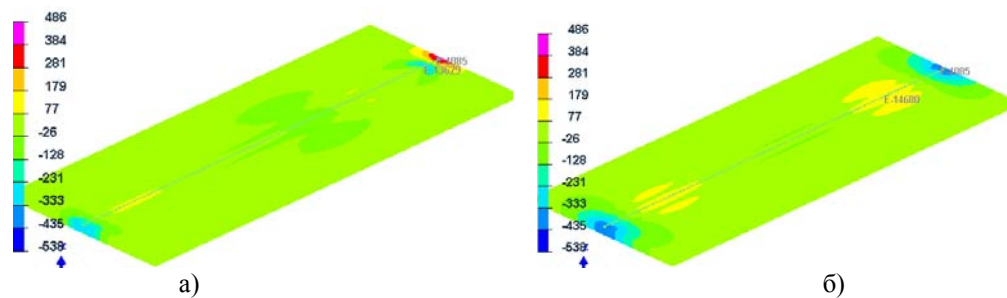


Рисунок 4. Напряжения σ_y в момент окончания шва (а) и остаточные (б)

Интенсивность напряжений представлена на рис. 5.

Напряжения в пластине распределены достаточно сложно. Так, продольные напряжения σ_x (рис.3) незначительны в районе оси шва с отрицательными значениями на периферии шва и нарастающим растяжением в виде двух узких полос в стороне от шва. Зона растяжения остаточных продольных напряжений занимает значительную область – около четверти ширины пластины. Интенсивность напряжений в районе сварочной ванны равны нулю, что связано с температурной зависимостью предела текучести. Сварочная ванна ведет перед собой волну сжатия, что приводит к повышению интенсивности напряжений. В зонах краевых эффектов интенсивность напряжений распределена по особому, с падением значения до 120 в центре шва.

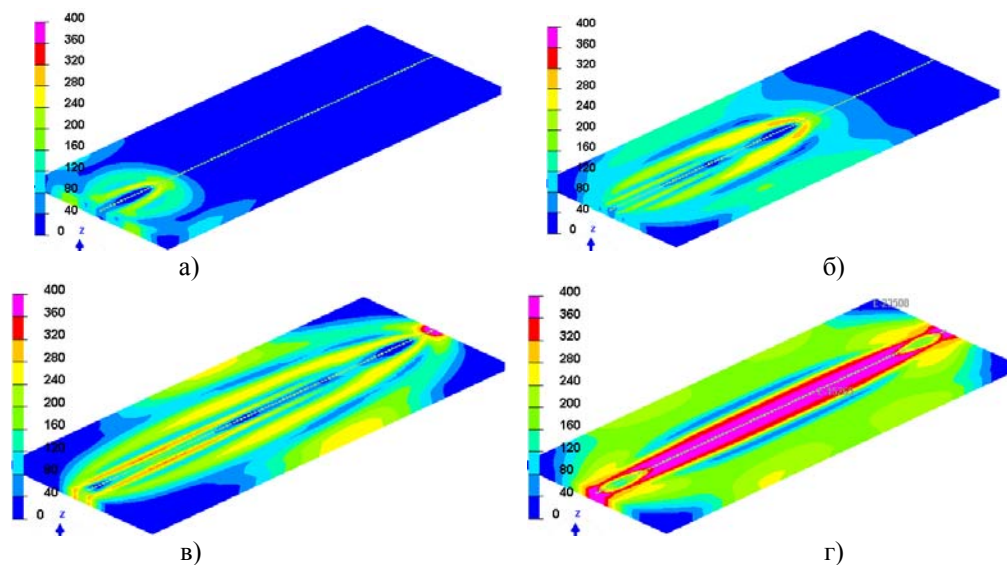


Рис. 5. Распределение интенсивности напряжений в начале шва (а), на середине траектории (б), в конце шва (в) и в остаточном состоянии (г).

Проведенный расчет показал, что компоненты напряжений ϵ_y и ϵ_z не значительны. Таки образом принимаемую в инженерных методах оценки остаточных напряжений и деформаций гипотезу об одномерном напряженном состоянии можно считать справедливой.

Выводы:

1. В указанных условиях реализуется тепловая схема - плоский слой.
2. В процессе сварки поперечные напряжения в зоне краевого эффекта приобретают как положительные, так и отрицательные значения существенной величины.
3. В целом, подтверждается гипотеза об одномерном напряженном состоянии при сварке пластин.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ

М.А. Крампит

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51)-7-77-67

E-mail: savage_jawa@mail.ru

В среде разработчиков и исследователей в различных направлениях науки и техники широко применяются средства моделирования, способные отражать и логику с ошибками и представлять аналоговые и цифровые устройства, а также участвовать в безошибочном проектировании крупных и сложных систем. Широко внедряются эффективные методы автоматизированного моделирования [1].

Программы-имитаторы стали незаменимым инструментом в работе профессиональных электронщиков. В настоящее время существует целый ряд моделирующих программ, и практически все они созданы на основе SPICE, которая была разработана специалистами университета Беркли [2].

SPICE является программой для схемотехнического моделирования с ориентацией на интегральные схемы, впервые выпущенный из университета Калифорнии в Беркли в начале 1970-х годов. До существования SPICE инженеры разработали схемы вручную, возможно, с помощью логарифмической линейки и калькулятора. Прототип был построен с оригинальным дизайном, а его производительность оценивается целей дизайнера.

Разработка многих из схем сегодня было бы невозможно без помощи SPICE. Часто аналоговые схемы содержат сотни или тысячи устройств. Проектирование и анализ включают поиск решений уравнений. Эти уравнения могут быть простые алгебраические формулы или привлекать нелинейных дифференциальных уравнений. Прототипы еще построены, чтобы измерить производительность, но, учитывая затраты работает в сотни тысяч долларов, исполнение должно быть во многом превосходит через компьютерного моделирования до изготовления прототипа начинается [3].

Схемотехническое моделирование разбивается на этапы, выполнение которых направлено на решение сформулированной задачи.

Рассмотрим содержание этапов подробнее.

1. Разбиение электрической схемы на функциональные узлы. Проектирование схем, как правило, ведется по функционально-узловому принципу, поэтому и схемотехническое моделирование логично построить таким же образом. При этом электрическая схема каждого функционального узла дополняется источниками входных сигналов и сопротивлением нагрузки. Здесь необходимо помнить, что такой подход к моделированию автоматически приводит к принятию допущения об однонаправленности распространения электрических сигналов в схеме.

В практическом смысле это означает, что функциональные узлы схемы не влияют на работу друг друга.

2. Подготовка исходных данных для расчета. Подготовка исходных данных для расчета производится в соответствии с документацией на систему схемотехнического моделирования.

Как правило, исходные данные для расчета делятся на два раздела:

- описательная информация об элементах и их межсоединениях в электрической схеме;
- задание на расчет, включающее вид расчета и описывающее его параметры.

К основным видам расчета относятся:

- расчет в статическом режиме (DC), т.е. определение напряжений, токов, мощностей в момент, когда все переходные процессы в системе установились;

-расчет переходных процессов (Transient), т.е. определение напряжений, токов, мощностей как функций времени в диапазоне от $t=0$ до $t=T_{\text{кон}}$;

-расчет частотных (AC), т.е. определение АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ в диапазоне от $f=\text{нач}$ до $f=\text{кон}$. При этом схема моделируется в режиме малого сигнала.

Большую роль при выполнении этого этапа играет правильная постановка задачи расчета, которая отражает компромисс между желанием разработчика и возможностями системы схемотехнического моделирования.

3. Расчет электрических характеристик функционального узла. Этот этап полностью выполняется ЭВМ, контролируется оператором.

В основе выполнения этого этапа лежит математическая топологическая модель электрической схемы, сформированная на основе моделей элементов и схемы их соединения. На основе топологической модели узла строится его аналитическая модель, которая представляет собой систему уравнений. Существует два основных метода перехода от топологической модели схемы к ее аналитической модели – это метод переменных состояния и метод узловых потенциалов. Основные достоинства и недостатки этих методов подробно рассмотрены в литературе. Мы же лишь констатируем, что в большинстве используемых на сегодняшний день подсистемах схемотехнического моделирования, в том числе в системе Spice, применяется метод узловых потенциалов и его модификации.

В процессе выполнения этого этапа возможно получение сообщений об ошибках, которые делятся на две большие группы: синтаксические ошибки и логические ошибки.

К синтаксическим – относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения правил языка описания схемы или задания на расчет. К логическим – относятся ошибки, появившиеся из-за нарушения логики описания электрической схемы, например неправильная нумерация узлов электрической схемы.

В результате выполнения этого этапа пользователь получает расчетные значения характеристик в виде таблиц и графиков.

4. Анализ полученных результатов расчета электрических характеристик.

Анализ полученных результатов расчета проводится по двум позициям:

1. Качественная оценка адекватности математической модели схемы проектируемой схеме.

2. Количественная оценка полученных результатов расчета и соответствие их требованиям технического задания.

В результате анализа по первой позиции разработчик должен выяснить, правильно ли математическая модель схемы отражает его представления о проектируемой схеме. И если неправильно, то разобраться, почему это произошло. Основные причины неправильного поведения математической модели, расположенные по убыванию частоты их появления, следующие:

-наличие логических ошибок в описании моделируемой схемы;

-неправильное применение моделей компонентов электрической схемы;

-математическое обеспечение системы не пригодно для моделирования рассматриваемой схемы.

В результате анализа по второй позиции, необходимо полученные выходные характеристики проверить на соответствие требованиям, регламентированным в техническом задании на проектируемую схему и в технических условиях на применяемую элементную базу. В случае неудовлетворения хотя бы одного из этих требований, необходимо скорректировать электрическую схему (изменить значения параметров ее элементов или сделать структурные изменения схемы) и провести повторное моделирование [4].

Конструирование, изготовление и наладка источников питания имеет свои специфические особенности. Например, авария источника и выход из строя его элементов происходит за тысячные доли секунды, что практически не дает шанса рассмотреть ее причины и последовательность.

В этом случае многих проблем можно избежать, если предварительно смоделировать работу схемы источника. Моделирование позволяет:

-проверять работу элементов источника питания в критических режимах;

-производить замеры, которые обычно проблематичны или даже невозможны на реальном устройстве;

-уточнять и оптимизировать результаты предварительных расчетов, а порой экспериментально подбирать параметры элементов и режимы работы схемы [5].

Но при моделировании схем сварочных источников питания возникает ряд трудностей. Первая трудность – моделирование поведения дуги. Для решения этой проблемы используют схемы замещения дуги.

Сделано предположение, что сварка производится плавящимся электродом, что дуга горит стационарной замыканий дугового промежутка каплей не происходит. На рис. 1 приведена электрическая схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга». Источник питания не имеет корректирующих обратных связей. Дуга замещена нелинейным резистивным сопротивлением R_d [6].

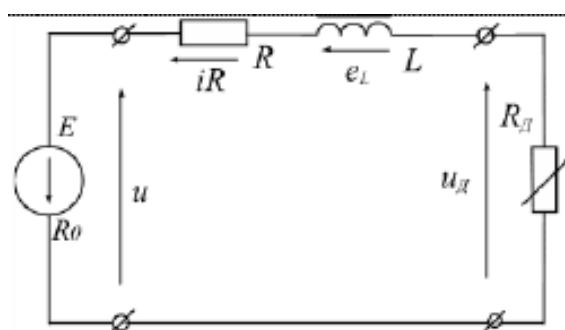


Рис. 1. Схема замещения энергетической системы «источник питания – дуга».

R_0 - внутреннее сопротивление генератора; R - резистивное сопротивление сварочного контура, включающее и сопротивление вылета электрода; L - индуктивность сварочного контура [7]

Усложненная схема, это добавление к сопротивлению катушки индуктивности, которая вносит инерционные свойства (рис. 2).

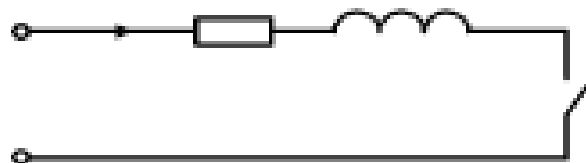


Рис. 2. Схема замещения дуги сопротивлением и катушкой индуктивности

Также, есть схема замещения дуги по способу С.И. Тельного, при котором дуга представляется в виде противоэДС, не оказывающим воздействия на общую цепь (рис.3).

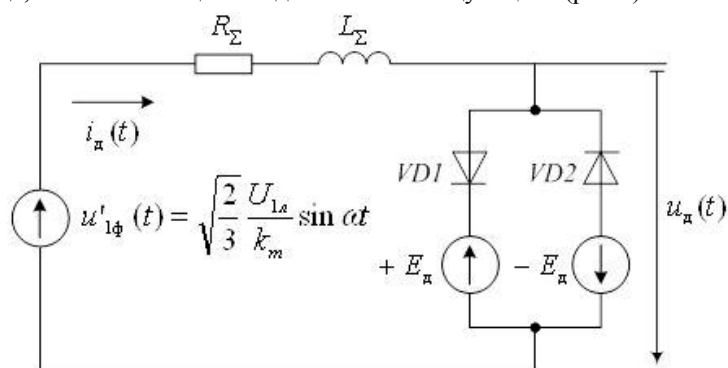


Рис. 3. Схема замещения дуги по способу С.И. Тельного

Вторая трудность – это нелинейность поведения различных компонентов схемы, к примеру нелинейность поведения в работе трансформатора (рис.4 а). Но программа LTSpice позволяет задать нелинейную индуктивность и более реалистично смоделировать поведение источника питания (рис.4 б).

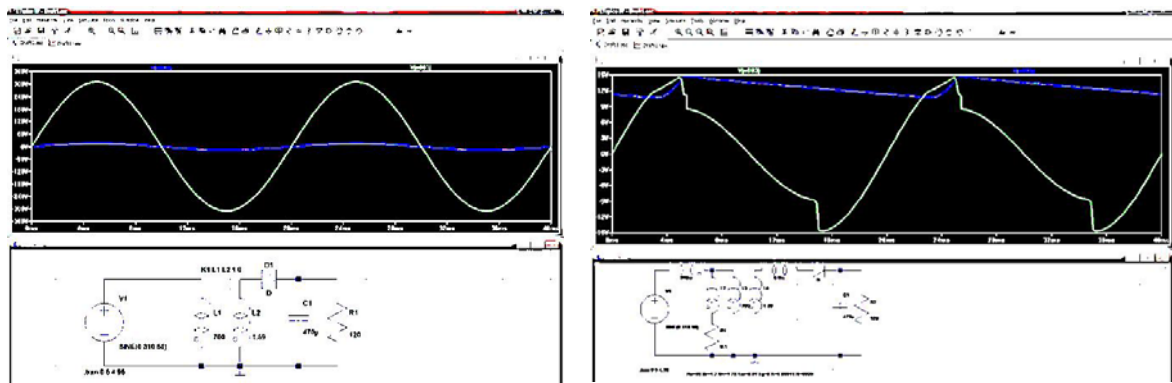


Рис. 4. Моделирование маломощного источника постоянного тока с линейным (а) и нелинейным трансформатором (б)

Также имеется возможность моделирования отдельных участков схемы, которое позволяет на определенных участках схемы получать требуемый выходной сигнал [8].

Более сложным инструментом является библиотека SimElectronics, входящая в состав среды Simulink, имеющая возможности моделирования и симуляции электронных и мехатронных систем. Библиотеки включают модели полупроводников, электродвигателей, устройств управления, сенсоров и приводов. Можно использовать эти компоненты для проектирования электромеханических систем и создания поведенческих моделей для оценки архитектуры аналоговых электрических цепей в Simulink.

Модели SimElectronics могут использоваться для разработки алгоритмов управления в электронных и мехатронных системах, включая кузовную электронику, сервомеханизмы самолетов и аудиоусилители мощности. Полупроводниковые модели учитывают нелинейные и динамические влияния температуры, что позволяет выбирать компоненты в усилителях, АЦП, контурах ФАПЧ и других схемах. Можно параметризовать модели с помощью переменных и выражений MATLAB. Кроме того, в модель могут быть добавлены механические, гидравлические, пневматические и другие компоненты, входящие в состав Simscape, для тестирования системы в одной среде моделирования [9].

Применение программ, симулирующих работу электронных схем, позволяет без больших материальных и временных затрат моделировать источники питания и другие устройства для сварки, обеспечивающие необходимые параметры процесса.

Литература.

1. Никонова Г.В. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БАЗОВЫХ РАЗДЕЛОВ ЭЛЕКТРОНИКИ // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 1 – стр. 148-149 URL: www.rae.ru/meo/?section=content&op=show_article&article_id=4577 (дата обращения: 22.09.2014)
2. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 336 с.
3. <http://pro-spo.ru/system1/3077--spice>
4. Тумковский С.Р. Сервер Spice – первое знакомство: Учебное пособие – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2001. – 42 с.
5. Володин В.Я. Создаем современные сварочные аппараты – М.: ДМК Пресс, 2011 – 352 с.
6. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар, 2011 256 с.: ил.].
7. Богатырев Н.И., Креймер А.С., Баракин Н.С. Асинхронные генераторы для питания сварочной дуги // Научный журнал КубГАУ, №73(09), 2011 // с. 1-28
8. Krampit M. A. , Krampit N. Y. Electronic circuit design of power supplies for welding in Itspice Iv program // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 770. - p. 323-327
9. Моделирование и симуляция электронных и мехатронных систем. URL: http://matlab.ru/products/simelectronics/SimElectronics_rus_web.pdf

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Р.Ю. Некрасов, к.т.н., доц., И.В. Соловьев, О.В. Бекарева
Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (3452)-46-39-59
E-mail: aragorn89_89@mail.ru

В настоящее время в области обработки изделий машиностроения, реализуемой на оборудовании, использующем числовое программное управление (ЧПУ), достигнут некоторый предельный уровень точности обработки, так минимальная дискретность перемещения исполнительных органов для большинства современных станков, составляет 1 мкм, а некоторые из них способны осуществлять перемещения в величинах менее микрона. Дальнейшее повышение точности обработки, реализуемой на оборудовании с ЧПУ, за счёт уменьшения минимально возможной дискреты перемещения исполнительных органов становится невозможным из-за ограничений, накладываемых как самой физикой процесса резания металлов на микронном и субмикронном уровне, так и реальным состоянием оборудования. Например, на микронном и субмикронном уровне критическим становится влияние погрешностей, вызываемых в оборудовании воздействием: силовых нагрузок, тепловых потоков и износом режущей части инструмента, приводящих к изменению формы и пространственного положения, как исполнительных органов станка, так и обрабатываемой детали. В подавляющем большинстве случаев разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ ведётся либо с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР), либо осуществляется встроенными средствами моделирования, непосредственно на панели управления ЧПУ. Надо заметить, что при этом и САПР и панель управления ЧПУ работают с математической моделью обрабатываемой детали, режущего инструмента и оборудования, а любая математическая модель представляет собой некий идеализированный объект, подвергшийся в той или иной степени упрощению. В данном случае упрощаются физико-механические свойства объектов, которые представляются САПР как абсолютно жесткие, не подвергнутые воздействию тепловых потоков и не претерпевающих изнашивания. Следовательно, погрешности, возникающие в технологической системе при реализации управляющих программ (УП), созданных с помощью средств САПР или панели управления ЧПУ, будут унаследованы обрабатываемой деталью. Предотвратить возникновение в технологической системе погрешностей при реализации УП невозможно в силу самой физической природы объектов составляющей таковую, следовательно, остается путь преобразования управляющей траектории (УТ), таким образом, чтобы были скомпенсированы погрешности технологической системы.

Широкое распространение в современном механообрабатывающем производстве станков с ЧПУ приводит к появлению еще одной проблемы, требующей решения – снижение качества продукции производимой технологической системой в процессе эксплуатации. Дело в том, что любой материальный объект подвержен такому явлению, как старение, т.е. постепенному ухудшению его первоначальных характеристик. Технологическая система не является исключением из этого правила, она также подвержена ухудшению своих эксплуатационных характеристик со временем, причем этот процесс протекает тем быстрее, чем интенсивнее используются возможности технологической системы. Одной из главных эксплуатационных характеристик технологической системы является ее способность обеспечивать требуемую размерную точность и качество обрабатываемой поверхности при минимальных производственных затратах. Ухудшение способности технологической системы обеспечивать требуемую размерную точность, связано со многими физическими явлениями, протекающими в процессе эксплуатации. В качестве основных факторов вызывающих старение технологической системы можно выделить следующие:

- изнашивание в процессе эксплуатации трущихся поверхностей элементов технологического оборудования;
- погрешности пространственного положения отдельных элементов технологического оборудования;
- тепловые деформации;
- изменение геометрических параметров режущего инструмента;
- различные виды поломок.

Данные факторы не оказывают влияние по отдельности, независимо друг от друга, но действуют одновременно, тем самым значительно ухудшая эксплуатационные характеристики технологической системы, в условиях постоянно повышающихся требований предъявляемых научно-техническим про-

Предложенная структура АТСО не является полной и исчерпывающей (элементы из которых состоит АТСО приведены в таблице 1), но достаточной, чтобы подойти к вопросу математического моделирования и разработке математических моделей различных процессов протекающих в ней и необходимых для разработки интеллектуальной системы управления обработкой на станках с ЧПУ.

Таблица 1

Элементы составляющие АТСО.

Символ	Наименование элемента АТСО
M	Автоматизированная технологическая система операций(АТСО – ИСДУ)
P	Предмет производства (труда)
P_1	Множество физико-механических свойств материала предмета производства (труда)
P_2	Множество геометрических параметров предмета производства (труда)
W	Исполнители работ по технологической подготовке производства
W_1	Наладчик технологического оборудования и оснастки
W_2	Оператор технологического оборудования
A	Множество средств технологического оснащения
A_1	Технологическая оснастка
A_{1_1}	Множество приспособлений и средств технологической оснастки
A_{1_2}	Множество средств инструментального обеспечения
A_2	Технологическое оборудование
A_{2_1}	Металлорежущий станок
A_{2_2}	Множество средств обеспечения работоспособности инструмента
B	Технические средства автоматизированной системы управления технологическим процессом (ТСАСУ ТП)
B_1	Система средств диагностики
B_{1_1}	Система средств предварительной диагностики подсистем и элементов технологической системы
B_{1_2}	Система средств оперативной диагностики подсистем и элементов технологической системы
B_2	Система обработки данных диагностики
B_{2_1}	Система обработки данных предварительной диагностики технологической системы
B_{2_2}	Система обработки данных оперативной диагностики технологической системы
B_3	Система определения параметров коррекций
B_{3_1}	Система определения параметров коррекций по данным предварительной диагностики
B_4	Система числового программного управления станком (CNC)
B_{4_1}	Система формирования и оперативного ввода коррекций
B_{4_2}	Система оперативных данных о процессе обработки
B_{4_3}	Система числового программного управления станком (PCNC)

В ходе исследования на экспериментальной установке, изображенной на рисунке 2, возможности создания интеллектуальной системы управления обработкой на станках с ЧПУ, осуществлялось силовое нагружение исполнительных органов с целью моделирования погрешностей, возникающих в технологической системе из-за воздействия сил резания, приводящих к отклонению расположения поверхностей обрабатываемой детали, развороту револьверной головки и изменению пространственного положения суппорта. Выяснилось, что полученные в ходе исследования отклонения расположения элементов технологической системы, приводящие к формированию погрешностей обработки, коррелируются с действующими силами резания.

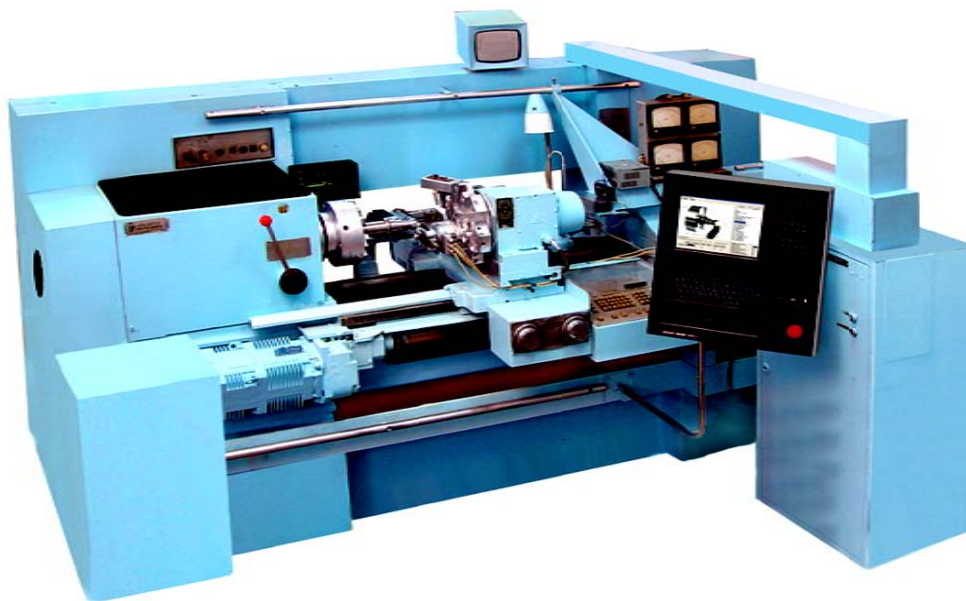


Рис. 2. Экспериментальная установка на базе токарного станка с ЧПУ

По результатам исследования также было отмечено, что ядром интеллектуальной системы управления обработкой на станках с ЧПУ, должен являться диагностический модуль, осуществляющий выполнение процессов диагностики состояния АТСО. При этом процессы диагностики, как следует из рисунка 3, целесообразно разделять на предварительные и оперативные, что обеспечивает снижение трудоемкости наладки конкретных технологических систем и соответствует требованиям, предъявляемым к реализации гибких технологий обработки.

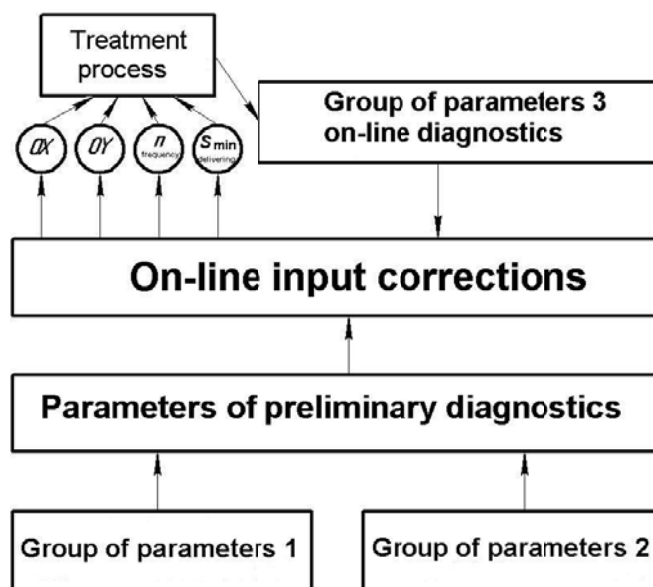


Рис. 3. Взаимосвязь параметров процессов диагностики и управления

Из данной схемы видно, что выделяется три основные группы параметров:

- группа параметров 1, представляет собой параметры предварительной диагностики, служащие для определения величин оперативных коррекций в процессе обработки для всех и всяких деталей и инструмента.

– группа параметров 2, представляет собой параметры предварительной диагностики, служащие для определения величин оперативных коррекций в процессе обработки для конкретной детали и инструмента

– группа параметров 3, представляет собой параметры текущей оперативной диагностики, служащие для определения величин, их суммирования и ввода оперативных коррекций в процессе обработки по траекториям перемещений инструмента и режимам резания.

Данная обобщенная схема диагностики состояния технологической системы позволяет вплотную подойти к вопросу математического моделирования процессов диагностики. Математическая модель автоматизации процесса диагностики не является адекватной процессу диагностики, выполняемому человеком. Математическая модель содержит черты, присущие машинному процессу, и сохраняет основные черты процесса, выполняемого человеком. В данной статье предлагаются математические модели, и их словесное описание, диагностики состояния технологической системы, написанные с помощью языка математической логики и её раздела логики предикатов. В данной статье, в качестве примера, предлагается математическая модель (1) диагностики отклонения поверхностей конструктивных элементов детали под действием силы резания возникающей в АТСО во время обработки, написанной с помощью языка математической логики и её раздела логики предикатов.

$$\forall M \exists B_{1_2}^2 \in \left(\left((P \subset A_{1_1}^1) \in (B_{1_2}^{2_2} \supset B_{1_2}^{2_{2_1}}) \right) \in (B_{1_2}^{2_1} \supset B_{1_2}^{2_{1_1}}) \right) \rightarrow (B_{1_2}^{2_3} \in B_{1_2}^{2_{3_1}})$$

$$M = A \supset P \supset W \supset B$$

$$B_{1_2}^{3_{2_1}} = \{x \in N, F(x)\};$$

$$F(x) = x_1 \cdot q^{n-1};$$
(1)

Читается: для множества АТСО ($\underline{M}$), включающих множество средств технологического оснащения ($\underline{A}$), множество предметов производства (труда) ($\underline{P}$), множество исполнителей работ ($\underline{W}$) и множество технических средств автоматизированных систем управления технологическим процессом ($\underline{B}$) – существует множество систем средств диагностики изменения пространственного положения ($\underline{B_{1_2}^2}$) предмета труда ($\underline{P}$) установленного в технологическое оснащение ($\underline{A_{1_2}^1}$), нагружаемого с помощью устройства ($\underline{B_{1_2}^{2_2}}$) множеством грузов ($\underline{B_{1_2}^{2_{2_1}}}$), измеряемых устройством ($\underline{B_{1_2}^{2_1}}$), включающим шуп ($\underline{B_{1_2}^{2_{1_1}}}$), регистрируемых прибором ($\underline{B_{1_2}^{2_3}}$) множество отклонений ($\underline{B_{1_2}^{2_{3_1}}}$) пространственного положения. Или с точки зрения инженера: диагностика автоматизированной технологической системы операций, состоящей из средств технологического оснащения, предмета производства (труда), исполнителей работ и технических средств автоматизированной системы управления технологическим процессом, по определению изменения пространственного положения заготовки относительно оси OZ при ее нагружении составляющей силы резания P_Z заключается в следующем: на заготовку установленную в приспособлении воздействуют с помощью устройства, имитирующего действие составляющей силы резания P_Z , измерительное устройство, расположенное с противоположной стороны, включающее шуп, определяет величину отклонения, записываемое регистрирующим устройством.

Предложенные подходы к математическому моделированию процессов протекающих в АТСО позволяют решить проблему создания интеллектуальной системы управления обработкой на станках с ЧПУ и, следовательно, снижения размерной точности механической обработки на станках с ЧПУ в результате явления старения. Решение данной проблемы обеспечит уменьшение производственных затрат, связанных с технологической подготовкой производства изделий машиностроительной продукции.

Литература.

1. Гениатулин, А. М. Голографический метод исследования деформированного состояния элементов сборных резцов // Оптико-геометрические методы исследования деформаций и напряжений и их стандартизация. - Горький: НТО Машпром, 1982. - С. 83-84.

2. Ломова О.С. Математическое моделирование структурных изменений в поверхностях заготовок при тепловых возмущениях в процессе шлифования // Омский научный вестник, №2-120, г. Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГТУ, 2013. – С. 95-98.
3. Петрушин С.И., Бобрович И.М., Корчуганова М.А. Оптимальное проектирование формы режущей части лезвийных инструментов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 91 с.
4. Полетика М. Ф., Утешев М. Х. Исследование процессов резания поляризационно-оптическим методом // «Известия Томского политех. института». -1964. - Т 114. - С. 15.
5. Тахман, С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. № 3. С. 64-72.
6. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
7. Янюшкин, А.С., Сафонов С.О., Лобанов Д.В. и др. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств. - Братск: Изд-во БрГУ, 2006. - 302 с.
8. A. I. Afonarov, A. A. Lasukov, Elementary Chip Formation in Metal Cutting, Russian Engineering Research. 3 (2014), pp. 152–155.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА

М.А. Крампит, ассистент, А.Г. Крампит, д.т.н., профессор

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (384-51)-7-77-67

E-mail: krampitm@tpu.ru

Введение

При разработке источников питания для импульсно-дуговой сварки возникает проблема коммутации больших токов при быстротечном изменении процессов и минимальных массогабаритных характеристик источников питания.

Цель работы: найти рациональный способ построения источников питания для импульсно-дуговой сварки.

Задачи:

1. Выбрать рациональный силовой ключ для управления мощной нагрузкой;
2. Выбрать схему управления силовым ключом;
3. Спроектировать и апробировать устройство на выбранной схеме.

Основная часть

В качестве силового ключа в источниках питания применяются тиристоры, биполярные транзисторы и полевые транзисторы с изолированным затвором. Каждая схема имеет ряд своих особенностей, достоинства и недостатки.

При построении источника питания на тиристоре возникает ряд недостатков тиристора, которые сказываются и на источнике питания [1]:

- низкое быстродействие, обусловленное большим временем выключения;
- ограниченная управляемость, выражающейся в возможности отпираания по маломощной цепи управления, а запираания – по силовой цепи;
- возможность отпираания с помощью коротких импульсов напряжения снижает помехоустойчивость устройств с тиристорами.

Возможно также построение источников питания на биполярном транзисторе. Существует три основные схемы включения биполярного транзистора: с общей базой; с общим эмиттером; с общим коллектором. Каждая из них имеет свои недостатки [2].

Недостатки схемы включения с общей базой:

- малое усиление по току, меньшее 1;
- малое входное сопротивление;
- два разных источника напряжения для питания.

Недостатки схемы включения с общим эмиттером:

- худшие температурные и частотные свойства по сравнению со схемой с общей базой.

Недостатки схемы включения с общим коллектором:

- коэффициент усиления по напряжению меньше 1.

Мы рассмотрим построение источников питания для импульсно-дуговой сварки с применением полевых транзисторов с изолированным затвором. В отличие от биполярных транзисторов они управляются напряжением. На сегодня это лучший вариант создания схем с достаточно низким потреблением электроэнергии в режиме статического покоя. Мощность таких транзисторов достигает сотен ватт при небольших их размерах. Также они обладают высокой скоростью работы и хорошей помехоустойчивостью.

Но процесс импульсно-дуговой сварки достаточно сложен. Наложение импульсов тока должно происходить в строго определенный момент для обеспечения переноса капель в сварочную ванну. Ошибка в пару миллисекунд нарушит условие “один импульс – одна капля”, что приведет к увеличению разбрызгивания.

Из-за большого количества факторов, влияющих на процесс сварки, невозможно заранее спрогнозировать процесс и рационально задать все параметры сварки. Любое возмущение сети или проскальзывание механизма подачи проволоки приведет к необходимости увеличения времени паузы. Рациональным решением будет использование обратной связи по напряжению на дуге, т.к. при выравнивании капли на торце электродной проволоки будет уменьшаться длина дуги и, соответственно, и напряжение на дуге (рисунок 1). Регулируя пороговое напряжение, после которого будет происходить наложение импульса, мы сможем добиться стабильного процесса без разбрызгивания.

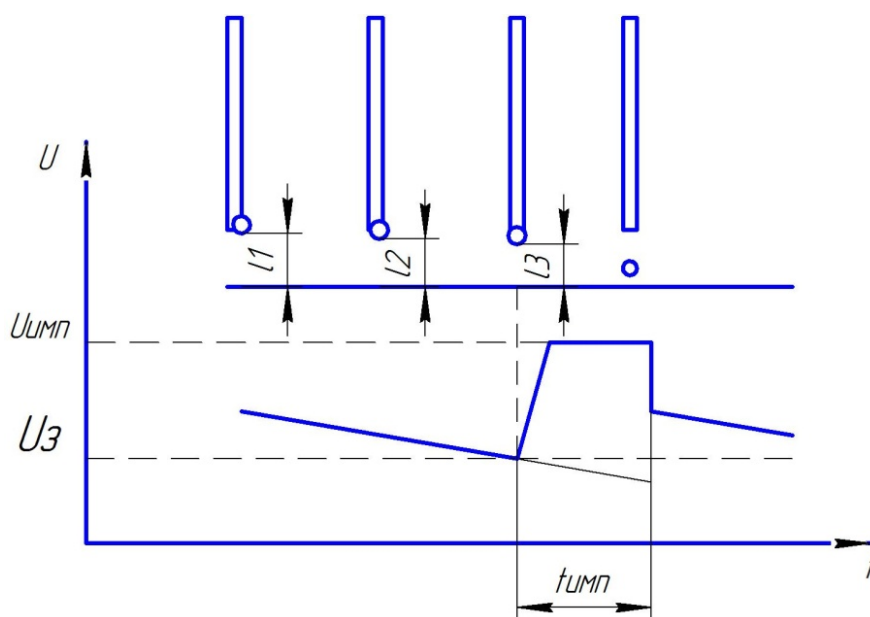


Рис. 1. Принцип управления каплепереносом с ОС по напряжению

Одной из наиболее частых причин выхода из строя электронных устройств, включающих в себя полевой транзистор с изолированным затвором, является превышение допустимого значения напряжения сток-исток [3]. Так при переключении индуктивной нагрузки происходит перенапряжение, в результате которого превышает максимально допустимое напряжение полевой транзистор с изолированным затвором, что вызывает лавинный пробой полупроводника и разрушение транзистора. Для защиты полевой транзистор с изолированным затвором в цепь включается защитный диод VD1 между стоком и истоком.

Переходные процессы в затворе полевой транзистор с изолированным затвором часто происходят из-за разрядов электростатического электричества (ESD). Установка супрессора VD2 между затвором и истоком позволит защитить транзистор от входных переходных процессов. Защитный диод устанавливается со значением обратного напряжения, превышающим входное напряжение полевого транзистора с изолированным затвором (рисунок 2).

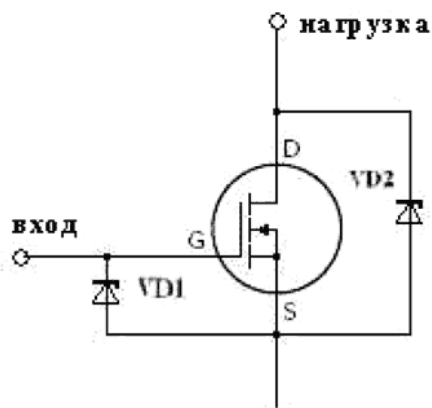


Рис. 2. Схема защиты транзистора

Выводы:

1. Наиболее рациональным способом построения источников питания для импульсно-дуговой сварки является построение на полевых транзисторах с изолированным затвором.
2. Необходимо применение системы защиты транзисторов.
3. Применение микроконтроллера с обратной связью по напряжению позволяет обеспечить управляемый перенос для импульсно-дуговой сварки для частот до 200 Гц.

Литература/

1. http://elteh-student.com/nedostatki_tiristorov__31_285.html
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Биполярный_транзистор
3. <http://www.electrosad.ru/Electronics/zaschita.htm>
4. Крампит А. Г. , Крампит Н. Ю. , Крампит М. А. Устройство, использующее подогрев электродной проволоки // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2011 - №. 7 - С. 9-11
5. Крампит Н. Ю. , Крампит М. А. Импульсно-дуговая сварка с подогревом вылета электрода в паузе // Сварочное производство. - 2014 - №. 3. - С. 8-10
6. Крампит А. Г. , Зернин Е. А. , Крампит М. А. Разработка устройства и исследование процесса импульсно-дуговой сварки с нагревом электрода в паузе [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 3. - С. 1. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13398>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕНительно К ВОПРОСАМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

И.В. Соловьев, О.В. Бекарева

Тюменский государственный нефтегазовый университет
625000, г. Тюмень ул. Володарского, 38, тел. (3452)-46-39-59
E-mail: aragorn89_89@mail.ru

Текущие темпы научно-технического прогресса предъявляют очень высокие требования к качеству продукции машиностроительного производства. Современное машиностроительное производство является по большей части средне- и мелкосерийным, многономенклатурным с частой сменой выпускаемых изделий. Выпускаемая продукция характеризуется повышенной конструктивной сложностью, большим числом оригинальных и уникальных конструкторских решений, реализация которых сопровождается высокими требованиями к качеству, надёжности и ресурсу изделий. Повышение конструктивной сложности, качества изделий, быстрое их обновление наблюдается повсеместно во всех машиностроительных областях. Первостепенное значение имеет широкое и эффективное осуществление гибкой автоматизации в машиностроении – базовой отрасли, определяющей уровень, темпы и пропорции развития всей экономики. Его наиболее актуальные задачи - обеспечение конкурентоспособности продукции и высоких темпов ее обновления, повышение производительности труда, ресурсосбережение – не могут быть успешно решены без использования экономического и технологического потенциала средств гибкой автоматизации. Основу составляют высокопроизводи-

Дроссель I служит для сглаживания пульсаций и стабилизации горения дуги.

Был построен модулятор на основе микроконтроллера и полевого транзистора с изолированным затвором и испытан в качестве основы для устройства с подогревом вылета электродной проволоки током паузы [4], [5]. Расчеты и эксперименты показали высокую энергоэффективность процесса и высокое качество сварных соединений при сниженном энерговыделении [6].

Использование микроконтроллера из семейства AVR с частотой 16 МГц показало точность отслеживания формирования капли на торце электрода при частоте до 200 Гц. Хотя повышение количества различных датчиков и различных параметров для отслеживания может снизить эту точность и появится необходимость применения более мощных микроконтроллеров.

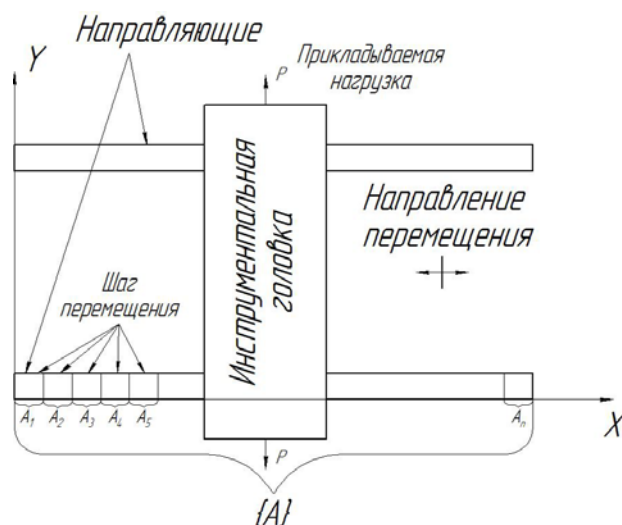
тельное технологическое оборудование с ЧПУ, средства механизации и автоматизации погрузо-разгрузочных и транспортно-складских работ, автоматизирования инструментального обеспечения и контроля, средств вычислительной техники и программного обеспечения.

В настоящее время в области обработки изделий машиностроения на станках с ЧПУ достигнут некоторый предельный уровень точности обработки, так минимальная дискретность перемещения исполнительных органов для большинства современных станков, составляет 1 мкм, а некоторые из них способны осуществлять перемещения в величинах менее микрона. Дальнейшее повышение точности обработки на станках с ЧПУ за счёт уменьшения дискретности перемещения исполнительных органов становится невозможным из-за ограничений, накладываемых физикой процесса резания металлов на микронном и субмикронном уровне. Например, на микронном и субмикронном уровне очень сильным становится влияние погрешностей, вызываемых в технологической системе «станок-приспособление-инструмент-заготовка» воздействием: силовых нагрузок, температурных полей и износом режущей части инструмента, приводящих к изменению формы и пространственного положения, как исполнительных органов станка, так и самой заготовки. В подавляющем большинстве случаев разработка управляющих программ для станков с ЧПУ ведётся либо с использованием САПР, либо осуществляется встроенными средствами моделирования, непосредственно на панели управления ЧПУ. Надо заметить, что при этом и САПР и панель управления ЧПУ работают с абстрактной идеализированной математической моделью, обрабатываемой детали и квазижесткой технологической системой, не претерпевающей в процессе обработки резанием деформаций и изменений пространственного положения исполнительных органов. Следовательно, погрешности, возникающие при реализации управляющих программ, созданных с помощью средств САПР или панели управления ЧПУ, на реальной технологической системе, будут унаследованы обрабатываемой деталью.

С целью повышения точности обработки на станках с ЧПУ, предлагается обеспечить оперативный ввод коррекций в управляющую траекторию перемещения исполнительных органов станка, позволяющий компенсировать погрешности, как самой технологической системы, так и погрешности обработки, возникающие в процессе резания. Для того чтобы вплотную подойти к вопросу обеспечения оперативного ввода коррекций, необходимо иметь стройные математические модели определения величин погрешностей, возникающих в технологической системе. Математическая модель, рассматривающая содержание явления, позволяет абстрагироваться от всех несущественных свойств, характеризующих изучаемое явление. В нашем случае в роли изучаемого явления будет выступать процесс диагностики состояния технологической системы, позволяющий определять величины возникающих погрешностей. Таким образом, математическая модель должна описать свойства процесса диагностики из расчета построения математического описания задач диагностики, пригодного для синтеза алгоритмов. Для определения процедур решения задач необходимо найти такие свойства диагностики, которые позволят выразить её программным путем. Математическая модель автоматизации процесса диагностики не является адекватной процессу диагностики, выполняемому

человеком. Математическая модель содержит черты, присущие машинному процессу, и сохраняет основные черты процесса, выполняемого человеком. Рассмотрим возможность моделирования процесса диагностики технологического оборудования на примере токарных станков с ЧПУ. В процессе обработки при перемещении инструментальной головки вследствие действия сил резания происходит изменения в пространственном положении направляющих, закрепленных на станине. Изобразим принципиальную схему диагностики на рисунке 1.

Подойдём к созданию математической модели диагностики состояния технологической системы и её словесному описанию, применяя язык математической логики и её раздел, логику предика-



тов. В общем случае данную модель можно представить в виде формулы 1:

$$A \times P \rightarrow G \quad (1)$$

где $A = \{x \in R; F(x)\}$ – множество положений инструментальной головки на направляющих; $P = \{k \in N; F(k)\}$ – множество значений прикладываемой к инструментальной головке нагрузки; G – множество значений отклонения пространственного положения направляющих.

Предложенная математическая модель диагностики состояния технологической системы «станок-приспособление-инструмент-заготовка» позволяет подойти к решению задачи повышения точности обработки на станках с ЧПУ. Её решение обеспечит резкое сокращение затрат на производство изделий машиностроительной продукции. Вместе с тем решение этой задачи неразрывно связано с большими трудностями.

Литература.

1. Ломова О.С. Математическое моделирование структурных изменений в поверхностях заготовок при тепловых возмущениях в процессе шлифования // Омский научный вестник, №2-120, г. Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОМГТУ, 2013. – С. 95-98.
2. Тахман, С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. № 3. С. 64-72.
3. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
4. A. I. Afonarov, A. A. Lasukov, Elementary Chip Formation in Metal Cutting, Russian Engineering Research. 3 (2014), pp. 152–155.

ОПИСАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВАРОЧНОЙ ВАННЕ

С.В. Дементьев, студент, А.В. Крюков, к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: earendill@mail.ru

В настоящее время достигнутый уровень компьютерной техники и технологий позволяет во многих случаях заменить изучаемый объект его цифровой моделью, на которой с помощью реализуемых на компьютерах расчетно-логических алгоритмов возможно изучение исходных объектов [1].

Сварка является сложным «мультифизическим» процессом, сочетающим в себе явления различные по своей физической природе, такие как перенос тепла в жидкости и в твёрдом теле, течение жидкости в сварочной ванне, электрические и магнитные поля.

Одним из важных процессов определяющим форму и качество получаемого соединения является гидродинамическое движение металла в жидкой ванне.

Магнитная гидродинамика – наука о движении электропроводящих газов и жидкостей во взаимодействии с магнитным полем. При движении электропроводящей среды, находящейся в магнитном поле, в ней индуцируются магнитные поля и точки, на которые действует магнитное поле и которые сами могут повлиять на магнитное поле.

Таким образом, для расчета необходимо рассмотреть уравнения гидродинамики и электродинамики [2].

Движение расплавленного металла в жидкой ванне описывается уравнением:

$$\rho \nabla (\vec{V}' \vec{V}) = -\nabla p + \nabla (\mu \nabla \vec{V}) + S_m + S_b + S_e - \rho \nabla (\vec{U}_s \vec{V}), \quad (1)$$

где $\vec{V}'$, $\vec{V}$, $\vec{U}_s$ – полная скорость, конвективная составляющая, скорость сварки;

ρ – плотность;

p – давление;

S_m – составляющая описывающая зону сплавления;

S_b – составляющая объемной силы;

S_e – составляющая электромагнитной силы;
 $\rho \nabla(\vec{U}_s \vec{V})$ - термодинамическая составляющая.

Перенос энергии в сварочной ванне представлено следующим уравнением:

$$\rho \nabla(\vec{V}h) = \nabla \left(\frac{k}{C_p} \nabla h \right) + S_l + S_v - \rho \nabla(\vec{U}_s h) \quad (2)$$

где S_L – составляющая скрытой теплоты плавления;

S_V – составляющая описывающая действие капель расплавленного металла.

Граничные условия, используемые в модели, заключаются в гауссовом распределении плотности тока и теплового потока и описываются зависимостями [2]:

$$j(x, y) = \frac{3I}{\pi a^2} \exp\left(\frac{-3(x^2 + y^2)}{a^2}\right),$$

$$q(x, y) = \frac{3Q}{\pi b^2} \exp\left(\frac{-3(x^2 + y^2)}{b^2}\right); \quad (3)$$

где I – ток дуги;

$Q = \eta VI$ - теплота, выделяемая дугой;

a, b – эффективные радиусы источников тока и теплоты,

η – к.п.д. источника тепла;

V – напряжение дуги.

Эффект Марангони представлен также в виде ограничения на поверхности зоны плавления, этот эффект выражается следующими зависимостями [2]:

$$\mu \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x},$$

$$\mu \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\partial \gamma}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad (4)$$

где $\frac{\partial \gamma}{\partial T}$ зависимость поверхностного натяжения от температуры.

Таким образом решение вышеописанных уравнений позволяет получить модель гидродинамических течений в сварочной ванне.

Литература.

1. Прикладная магнитная гидродинамика: Учебное пособие по теоретическому курсу / Под ред. В.Н. Тимофеева, Е.А. Головенко. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007.
2. N. El-Kaddah, M. Arenas and V.L. Acoff Heat transfer and fluid flow in stationary gta welding of γ -TiAl based alloys: effect of thermocapillary flow / Second International conference on CFD in the Minerals and Process Industries . – 1999. –pp.417-422.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Абкарян А.К. 113
 Агеева М.В. 33
 Александрова Ю.С. 23
 Архипова Д.А. 101
 Бабкин К.Д. 56
 Бакуменко В.Н. 126
 Безруких А.А. 7
 Бекарева О.В. 169, 176
 Бетасова Г.С. 140
 Борисов И.С. 44
 Буракова Е.М. 64
 Валентов А.В. 36
 Ворошилов В.В. 145
 Выдмыш П.А. 33
 Габитов Э.К. 25
 Галевский Г.В. 156, 159
 Галевский С.Г. 156, 159
 Гордеев Ю.И. 113
 Громов В.С. 113
 Громыко П.С. 137
 Грубый С.В. 118
 Губайдулина Р.Х. 107
 Данилов В.И. 39
 Дементьев С.В. 9, 178
 Демченко А.И. 11
 Джес А.В. 135
 Дмитриева А.В. 20
 Захаревич Е.М. 118
 Земляков Е.В. 56
 Зубков М.С. 16, 23
 Зыков И.Ю. 123
 Исакин И.А. 123
 Казначева А.М. 140
 Кантай Н. 140
 Карцев Д.С. 61
 Квеглис Л.И. 135
 Кибко Н.В. 78, 84
 Козлова И.В. 116
 Козырев Н.А. 78, 84, 90, 95
 Козырева О.А. 95
 Козырева О.Е. 90
 Коленчин Н.Ф. 142
 Коноводов В.В. 36
 Крампит А.Г. 174
 Крампит М.А. 165, 174
 Крюков А.В. 178
 Крюков Р.Е. 90
 Кузнецов М.В. 72
 Курилин А.А. 132
 Кусков В.Н. 142, 152
 Лапшин В.В. 118
 Ласуков А.А. 137
 Липатова У.И. 90
 Люкшин В.С. 126
 Мамадалиев Р.А. 152
 Мельников А.Ю. 47, 52
 Моховиков А.А. 148
 Музалев В.Н. 39
 Мякишев А.А. 71
 Некрасов Р.Ю. 169
 Норзидоза Ш.С. 107
 Носов Д.Г. 67
 Орлова Ю.А. 135
 Осетковский И.В. 95
 Пачков В.Е. 163
 Перемитько В.В. 64
 Петрушин С.И. 107
 Породько А.С. 163
 Размышляев А.Д. 33
 Рафальский А.С. 11
 Руднева В.В. 156, 159
 Рябов М.А. 145
 Садыков И.Д. 28
 Садыров Р.К. 25
 Сапожков А.С. 23, 64
 Сапрыкин А.А. 101
 Сапрыкина Н.А. 101, 145
 Свитнева Л.М. 7
 Семухин Б.С. 39
 Соловьев И.В. 169, 176
 Солодский С.А. 44
 Сомонов В.В. 56
 Судариков А.В. 14
 Титов Д.А. 78, 84
 Туричин Г.А. 72
 Тутик В.А. 163
 Ушаков А.Г. 116
 Фадеев К.С. 30
 Фивейский А.М. 47, 52
 Цибульский И.А. 72
 Шадрин П.Н. 142
 Шамарин Н.Н. 148
 Шатько Д.Б. 126
 Шолохов М.А. 47, 52
 Юдина Е.В. 152
 Яцинич Д.А. 11

Научное издание

**ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ:
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Сборник трудов
Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых, аспирантов и студентов

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Е.Г. Фисоченко

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 16.11.2015 . Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 21,05. Уч.-изд. л. 19,04.
Заказ 416-15. Тираж 150 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета
Сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru