

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки «Машиностроение»
Кафедра оборудования и технологии сварочного производства

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование механизма газообразного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C покрытий УДК 621.793:669.11:539.375

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Майтаков Максим Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Дегтерев Александр Сергеевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Чистякова Наталья Олеговна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	Кандидат технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП ИНК ТПУ	Киселев Алексей Сергеевич	Доцент, к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки (специальность) - Машиностроение
Кафедра - Оборудования и технологии сварочного производства

Утверждаю:
Зав. кафедрой ОТСП
_____ Киселев А.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

На выполнение выпускной квалификационной работы

В форме: _____ магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ41	Майтакову Максиму Юрьевичу

Тема работы:

Исследование механизма газоабразивного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-Спокрытий	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Покрyтия, нанесенные плазменной наплавкой порошка ПР-Х18ФНМ, а также, покрyтия, сформированные ручной дуговой наплавкой электродами Т-590, изношенные в ходе производственных испытаний поверхности пластин с экспериментальными покрyтиями
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор, включающий: особенности условий работы мельничных вентиляторов и дымососов котельных станций; классификацию материалов, применяемых для упрочнения деталей, работающих в условиях газоабразивного изнашивания; характер разрушения газоабразивным потоком этих материалов.

	<p>2. Исследование микростроения покрытий, наплавленных по двум различным технологиям.</p> <p>3. Лабораторные испытания на абразивное и газоабразивное изнашивание Fe-Cr-V-Mo-Спокрытий, полученных ППН и покрытий, сформированных наплавкой электродами Т-590.</p> <p>4. Анализ рабочих поверхностей образцов после лабораторных и производственных испытаний.</p> <p>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэф-фективность и ресурсосбережение</p> <p>6. Социальная ответственность</p> <p>7. Заключение и выводы</p>
Перечень графического материала	<p>1. Тема диссертации</p> <p>2. Обоснование выбора данной темы</p> <p>3. Актуальность работы</p> <p>4. Цель и задачи исследования</p> <p>5. Исследования, проводившиеся для решения поставленных задач</p> <p>6. Заключение и выводы</p>
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
1. Литературный обзор 2. Материалы и методы исследования 3. Результаты и обсуждения 4. Заключение	Дегтерев Александр Сергеевич
5. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
6. Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	Литературный обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.09.2014
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Дегтерев Александр Сергеевич	-		25.09.2014

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Майтаков Максим Юрьевич		25.09.2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля
 Направление подготовки (специальность) - Машиностроение
 Кафедра – Оборудования и технологии сварочного производства
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2014/2015 и 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
02.04.2016	1. Литературный обзор	25
12.04.2016	2. Материалы и методы исследования	10
13.05.2016	3. Результаты и обсуждения	25
26.05.2016	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
26.05.2016	5. Социальная ответственность	15
30.05.2016	6. Заключение и выводы	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Дегтерев Александр Сергеевич	-		25.09.2014

СОГЛАСОВАНО:

зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселёв Алексей Сергеевич	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа – 104 с., 22 рисунка, 19 таблиц, 22 использованных источника, 1 приложение.

Ключевые слова: газоабразивное изнашивание, плазменно-порошковая наплавка, абразивное изнашивание, мельничные вентиляторы, дымососы, Fe-Cr-V-Mo-C покрытия, электроды Т-590.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является механизм газоабразивного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-Спокрытий.

Цель работы – провести сравнительный анализ износостойких свойств покрытий, полученных плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ и покрытий, сформированных ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590, а также исследовать механизм газоабразивного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-С упрочняющих слоев.

В работе исследованы микроструктуры покрытий, наплавленных по двум различным технологиям, изношенных после лабораторных и производственных испытаний.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ отечественной и зарубежной литературы, сформулирована актуальность исследований с постановкой задачи;
- проведен анализ материалов, используемых для восстановления деталей, работающих в условиях газоабразивного изнашивания.
- проведены лабораторные и производственные испытания на газоабразивную износостойкость Fe-Cr-V-Mo-Супрочняющих слоев и покрытий, наплавленных электродами Т-590.
- исследован механизм газоабразивного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-Спокрытий.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Сварка — технологический процесс получения неразъёмного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их нагреве (местном или общем), и/или пластическом деформировании.

Плазменно-порошковая наплавка - современный способ нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность при изготовлении и восстановления изношенных деталей машин.

Газоабразивное изнашивание - износ происходит в результате воздействия потока твердых частиц, увлекаемых потоком газа, является разновидностью абразивного изнашивания

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- ВКСМ – выпрямитель кремниевый сварочный многопостовой;
- УПН– установка для плазменной наплавки;
- ПП – проволока порошковая

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 23.208-79 – «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы»
- ГОСТ 23.201-78 – «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя».
- ГОСТ 12.3.039-85 ССБТ. «Плазменная обработка металлов
- ГОСТ 12.1.003-83 – «Шум. Общие требования безопасности»;
- СНиП 23-03-2003 – «Защита от шума»;
- ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные»;

- ФЗ-123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность»;
- ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность»;
- ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные»;
- ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	15
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	18
1.1 МЕЛЬНИЧНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ И ДЫМОСОСЫ.....	18
1.1.1 Характеристика вентиляторов и дымососов.....	18
1.1.2 Износ лопастей вентиляторов и дымососов.....	19
1.2 МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГАЗОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ	20
1.3 ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГАЗОАБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ	26
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2.1 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ	29
2.2 ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА НАПЛАВКИ	30
2.3 ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШЛИФОВ.....	31
2.4 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ.....	32
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	35
3.1 СТРУКТУРА МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ НАПЛАВКИ.....	35
3.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗНАШИВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ.....	36
3.3 СТРУКТУРА МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ ИЗНАШИВАНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ	37
3.4 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ	41
3.5 СТРУКТУРА МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ ИЗНАШИВАНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ	43
4 ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	47
4.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	47
4.1.1 FAST – анализ	47
4.1.2 SWOT– анализ.....	51
4.2 ОЦЕНКА ГОТОВНОСТИ ПРОЕКТА К КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ	54
4.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	56
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	56
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	57
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	58
4.4 БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (НТИ)	61
4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	61
4.4.2 Специальное оборудование для научных работ.....	62
4.4.3 Основная заработная плата	62

4.4.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	64
4.4.5	Отчисления на социальные нужды.....	65
4.4.6	Накладные расходы	66
4.5	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ	67
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	68
	ВВЕДЕНИЕ.....	68
5.1	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ	68
5.1.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	69
5.1.2	Защита органов дыхания от сварочных аэрозолей	70
5.1.3	Защита от поражения электрическим током.....	72
5.1.4	Шумы и вибрации.....	74
5.1.5	Недостаточное освещение.....	75
5.1.6	Микроклимат	76
5.2	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	78
5.3	БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	79
5.4	ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	81
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	87

Введение

В системе пылеприготовления оборудования котельных станций, работающих на твердом топливе, важными составляющими элементами являются мельничные вентиляторы. Они осуществляют пневматический транспорт угольной пыли фракцией менее 100 мкм от циклонов к питателям пыли, и далее – в топку парогенераторов.

Полученные в результате сгорания твердого топлива дымовые газы из газоходов парогенераторов всасываются дымососами и выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы.

Работа, как дымососов, так и мельничных вентиляторов связана с двумя особенностями. Во-первых, по данным [1] температура рабочего тела в дымососах может достигать 450 °К, а в мельничных вентиляторах может быть выше 320 °К. Во-вторых, рабочие тела и тех и других насыщены твердыми примесями. В воздухе присутствует угольная пыль, а в дымовых газах зола.

Потому в ходе эксплуатации описанных элементов котельных станций наблюдается интенсивный и неравномерный износ их рабочих лопастей, дисков и стенок камер. Неравномерный износ лопастей приводит к снижению мощности вентиляторов и дымососов, разбалансировке роторов, способствующей вибрации подшипников, и в конечном итоге приводящей к выходу из строя подшипниковых узлов. Время непрерывной работы дымососов, не подверженных мероприятиям по повышению износостойкости, в ряде случаев может достигать лишь двух - трех недель [1].

Для увеличения сроков эксплуатации между ремонтами рабочие поверхности лопастей мельничных вентиляторов и дымососов в настоящее время упрочняют ручной дуговой наплавкой электродами Т-590. Неизбежный же ремонт элементов дымососов и мельничных вентиляторов, в зависимости от степени их износа, может осуществляться следующим образом:

-полной заменой ротора и его наплавкой электродами Т-590;

-полной заменой отдельных изношенных лопаток новыми и их наплавкой электродами Т-590;

-заменой отдельных участков лопаток и их наплавкой электродами Т-590;

-восстановление толщины лопаток до требуемых размеров электродами для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей перлитного класса и последующей их наплавкой электродами Т-590.

Металл системы Fe-Cr-C-V в полной мере не может обеспечить эффективное сопротивление износу золой или угольной пылью. К тому же ручная дуговая наплавка, не смотря на низкую себестоимость и возможность применения в монтажных условиях, характеризуется значительной глубиной проплавления основного металла и ее непостоянством, высокими тепловложением в упрочняемую поверхность и потерями наплавленного металла на угар, разбрызгивание и огарки, низкой производительностью.

Частый ремонт роторов нежелателен, так как сопровождается остановкой работы котлов, ограничением потребителей, высокими материальными и временными затратами. Запуск и остановка котлов также являются технологически сложными процессами. Потому увеличение срока эксплуатации между ремонтами дымососов и мельничных вентиляторов - актуальная и важная задача.

Известно, что сплавы, высоколегированные ванадием системы Fe-Cr-V-Mo-C способны успешно конкурировать с высокохромистыми чугунами и быстрорежущими сталями. Но развитие подобных материалов в качестве присадочных при дуговой наплавке сдерживала способность ванадия образовывать шпинели, приводящие к трудноотделимости шлаковой корки. При плазменно-порошковой наплавке эта проблема теряет свою значимость.

Цель работы: провести сравнительный анализ износостойких свойств покрытий, полученных плазменной наплавкой порошка Pr-X18ФНМ и покрытий, сформированных ручной дуговой наплавкой покрытыми

электродами Т-590, а также исследовать механизм газообразного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-C упрочняющих слоев.

1 Литературный обзор

1.1 Мельничные вентиляторы и дымососы

1.1.1 Характеристика вентиляторов и дымососов

Дымососы предназначены для всасывания дымовых газов из газохода парогенератора и выпуска их через дымовую трубу в атмосферу. В паровых генераторах, работающих на угольной пыли, в систему пылеприготовления входят мельничные вентиляторы (экспаустеры), которые забирают из циклонов воздух с мелкими фракциями угольной пыли и подают эту смесь к питателям пыли, а далее — в топку парогенератора. Так как развиваемое дымососами и мельничными вентиляторами давление мало, то они мало чем отличаются от обычных вентиляторов, например, от дутьевых вентиляторов, подающих воздух в топку парогенератора [1].

Тем не менее, условия работы дымососов и мельничных вентиляторов выделяются двумя особенностями, накладывающими отпечаток на конструкцию этих машин и на их расчет.

Первая особенность – повышенная температура рабочего тела: температура газов в дымососах составляет (390— 450) ° К, а температура воздуха в мельничных вентиляторах превышает 320° К. Тепло по валу переходит подшипникам и вызывает нагрев масла выше допустимой величины. Простой способ охлаждения подшипников заключается в вводе трубки, пропускающей воду в масляную ванну корпуса подшипника. Масло из ванны подшипника с помощью смазочных колец попадают в зазор между вкладышем и шейкой вала. Масло, подогреваемое в подшипниках, стекает в ванну и отводит теплоту [1].

Вторая особенность - присутствие в рабочем теле твердых примесей: золы в дымовых газах и угольной пыли в воздухе. Зола и угольная пыль изнашивают рабочие лопасти, диски и стенки спиральной камеры. Это приводит к разбалансировке рабочего колеса, потере прочности, сокращению

межремонтных сроков и к падению экономичности работы установки. Потому при изготовлении, и в процессе эксплуатации дымососов и мельничных вентиляторов принимают специальные меры для уменьшения износа. В качестве мер защиты применяют сменные защитные листы из твердых материалов. Листами бронируются корпуса вентиляторов и газоходы в местах, где меняет направление поток и вызывает падение абразивных частиц на поверхность [1].

В мельничных вентиляторах есть необходимость принимать специальные меры для предотвращения попадания угольной пыли в подшипники.

1.1.2 Износ лопастей вентиляторов и дымососов

Правильная компоновка проточной полости машины и системы газоходов, которая позволяет уменьшить или исключить попадание угольной пыли на внутренние поверхности, которые ограничивают поток, снижает износ.

Износ мельничных вентиляторов и дымососов зависит от частоты вращения. Если подача и давление заданы, то следует уменьшить частоту вращения рабочего колеса. Но размеры машины при этом будут увеличены. Трение абразивных частиц распределится по большей поверхности, износ будет существенно снижен [1].

Во время протекания газа с пылью через рабочее колесо, поток твердых частиц меняет направление из осевого на радиальное. Абразивные частицы в результате центробежной силы попадают на втулку и основной диск, изнашивая их. Поток, пересекая вращающуюся решетку лопастей, приводит их к разрушению [1].

Полностью предотвратить износ невозможно. Поэтому уменьшение износа достигается наплавкой твердых металлов в областях, подверженных

износу. Благодаря этому срок службы рабочего колеса увеличивается в несколько раз.

1.2 Материалы, применяемые для изготовления и упрочнения деталей, работающих в условиях газоабразивного изнашивания

В работе [3] проведены исследования на газоабразивное изнашивание сплавов на основе плавленных карбидов вольфрама $WC+W_2C$ (релит). Образцы были наплавлены плазменно-порошковым методом композиционными сплавами в один слой. В качестве образцов использовались композиционные сплавы, состоящие из сферических гранул карбида вольфрама и матрицы Ni-Cr-Si-B. Авторы сделали вывод, что износ сплавов на базе плавленных карбидов вольфрама несущественно зависят от свойств и твердости матрицы при малых углах атаки (до 15°).

В условиях комнатной температуры износостойкость сплавов Ni-Cr-Si-В сравнивалась с износостойкостью сплавов С-Cr-Ni-Si-Mn. В первом случае износостойкость превосходит в 2,7 раза. Но при высоких температурах износостойкость существенно снижается [3].

Сферические гранулы карбида ванадия в качестве армирующей фазы увеличивают износостойкость композиционных сплавов на 10-12% по сравнению с дробленными карбидами. Карбиды при изнашивании оказывают теневого эффект, защищая при этом матрицу [3].

В работе [6] проведен обзор наплавочных материалов, стойких к газоабразивному воздействию. При наплавке контактных поверхностей уравнительных клапанов доменных печей широко применяется порошковая лента ПЛ-АН 111. Лента имеет высокие эксплуатационные и технологические свойства, но она очень дорогая, т.к. при её изготовлении используется оболочка из никелевой ленты. Поэтому авторы этой работы предложили заменить ленту

ПП-АН 111 на наплавочный материал на основе железа, ориентируясь на сплавы типа высокохромистых чугунов, легированных сильными карбидообразующими элементами (V, Nb, W, Mo).

В то же время для повышения газообразивной износостойкости требуется обеспечить в наплавленном металле содержание упрочняющей карбидной фазы не менее 30-35% и малую величину раскрытия трещин. Это реализовано при создании наплавочных материалов на основе никелевой матрицы, армированной карбидами[7,8].

В условиях газообразивного изнашивания трещины в наплавленном слое могут являться очагами разрушения и «продувов». Величина раскрытия трещин и их направление определяются технологией наплавки. Трещины под углами 0-30° по отношению к газовому потоку не должны иметь ширину раскрытия 0,05 мм., а под углами более 30° - 0,1 мм [6].

Установлено[6], что повышение газообразивной износостойкости наплавленного металла обеспечивается при легировании его бором в количестве 3–5 %. Для наплавки контактных поверхностей уравнильных клапанов нашла применение порошковая проволока ПП-АН 170 (ПП-Нп 80X20P3T). Содержание упрочняющей карбоборидной фазы до 40 %. Склонность наплавленного металла к образованию трещин – повышенная. При легировании бором (3–5 %) сильно снижаются пластические свойства, что приводит к увеличению количества трещин, величины их раскрытия и отколам. Механическая обработка вследствие высокой твердости и хрупкости наплавленного слоя затруднена.

Авторами работы [9] разработан сплав системы Fe–C–Cr–B–V с пониженным содержанием бора (1,8–2,2 % B) и дополнительно легированный ванадием (1,5–2 % V). Такой наплавленный металл обладает несколько более высокой пластичностью. Испытания металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-260X14P2Ф2НЗ, показали, что его износостойкость в 1,5–1,8

раза выше, чем при использовании ПП-АН 170. Однако, эта электродная проволока также не нашла широкого применения из-за недостаточной трещиностойкости наплавленного слоя.

На основании этих опытов могут быть сформулированы следующие принципы разработки наплавочного материала на железной основе.

За счет легирования сильными карбидообразующими элементами (V, Nb, W, Mo, Ti) можно обеспечить повышение газоабразивной износостойкости наплавленного металла. Карбидная фаза в таких сплавах имеет повышенную твердость и более округлую форму. При этом обеспечивается повышение износостойкости за счет модифицирования наплавленного металла [9].

В структуре наплавленного металла необходимо избегать образования хрупкого мартенсита, путем легирования аустенитообразующими элементами (Ni, Cu, Mn) [6].

Твердость наплавленного металла должна быть относительно невысокой HRC 48–54. При большей твердости металл хрупок, процесс шлифования затрудняется. Происходит «разбивание» краев трещин, имеющих в наплавленном металле [6].

Для дополнительного повышения износостойкости может использоваться эффект дисперсионного твердения наплавленного металла в процессе термической обработки (отжига), обычно используемой для снятия напряжений после наплавки, а также в процессе эксплуатации [6].

Исследования [13] образцов с покрытием ОТ4-1 (хим. состав в мас. %: до 0,3Fe, до 0,1 C, до 0,15 Si, 0,7...2 Mn, до 0,05 N, 94,1...98,3 Ti, 1...2,5 Al) и EP718ID сплавов (ХН45МВТЮБР-ИД) и EI961 стали (13X11H2B2MФ) на газоабразивный износ показали, что результаты изнашивания зависят от угла атаки. При $\alpha = 70^\circ$ износ является более интенсивным, чем для тангенциального потока при $\alpha = 20^\circ$. Тем не менее, ОТ4-1 сплав титана с покрытиями на основе TiN, ZrN, VN и VC показывает обратную зависимость: газоабразивное

изнашивание более интенсивное при малом угле атаки. Характер повреждения образца зависит от типа состава сплава и композиционного покрытия.

ER-7 и EK-7 многослойные покрытия, которые были разработаны на заводе гражданской авиации Уральского и предназначены для защиты лопастей компрессора на выполнение работ по ремонту TV2-117 и TV3-117 вертолета GTE, также имеют низкую устойчивость к эрозии. Также изучены VT8-1 титановый сплав и EI961 стали с ER-7 и EK-7 покрытиями на газоабразивный износ. Полученные результаты показывают, что сопротивление эрозии ER-7 и EK-7 покрытий в значительной степени зависит как от размера частиц эрозионной среды и угла атаки. Например, в случае кварцевого песка со средним размером частиц 240 мкм при угле падения $\alpha = 70^\circ$, оба покрытия (ER-7, EK-7) демонстрируют недостаточное сопротивление к размывающему действию пылевоздушного потока. При угле падения $\alpha = 20^\circ$, защитное действие покрытий существенно выше. Относительная износостойкость уменьшается в 1,5-2,5 по сравнению с износостойкостью с непокрытым основным материалом. Эрозионная стойкость покрытия ER-7 несколько выше, чем у покрытия EK-7 [13].

Среди многослойных покрытий, высокое сопротивление газоабразивному износу имеют материалы:

- (а) VN, VC, Cr₃C₂, ZrN и TiN, с титановой матрицей;
- (б) Cr₃C₂, VN, TiC со стальной матрицей.

Испытания показывают, что сопротивление газоабразивному изнашиванию существенно зависит от толщины покрытия [13].

В работе [14] сравнили износостойкость покрытий на основе Fe-Cr-B-Al со сталью 12X1МФ, которая используется на тепловой электростанции для защиты котлов.

Ввиду существенной пористости электродуговых покрытий нанесенной порошковой проволокой, их газоабразивная износостойкость при комнатной температуре ниже, чем для 12Х1МФ стали, твердость которой равна 400 HV. Трещины, появляющиеся в покрытиях с более высоким уровнем твердости вследствие наличия значительных растягивающих напряжений, образующихся в процессе распыления (выше 100 МПа) также оказывает отрицательное воздействие на износостойкость покрытий. Таким образом, износостойкость покрытия из Fe-Cr-B-Al системы (12% Al) с твердостью 560 HV близка к износостойкости анализируемой стали. В то же время, износостойкость покрытия с 2% Al и твердостью 930 HV в два раза ниже [14].

При повышении температуры испытания, потеря массы покрытий уменьшается (по сравнению со сталью) и износостойкость покрытия становится выше, даже при 400 °С. Потеря массы стали в результате газоабразивного износа является возрастающей функцией от температуры для всех углов падения абразивных частиц. Это можно объяснить образованием более толстой пленки оксидов железа (без труда разрушаемой абразивным материалом) на поверхности стали [14].

При температурах выше 400 °С, начинается процесс рекристаллизации в покрытии и сеть микротрещин частично или полностью заполняется продуктами коррозии газа. Это снижает уровень растягивающих напряжений или даже приводит к образованию сжимающих напряжений, что способствует повышению износостойкости покрытия [14].

Если угол падения абразивных частиц равен 30°, то поверхность химически однородных покрытий изнашивается равномерно. На поверхности химически гетерогенных покрытий, обнаружено наличие шероховатостей. По данным спектрального анализа, они образуются твердыми фазами: железными боридами, легированные хромом [14].

В процессе газоабразивного износа при комнатной температуре, покрытия изнашивались в результате появления микротрещин (или распространения уже существующих трещин) и вырывание заметных фрагментов покрытий как в объеме, так и вдоль направления потока [14].

В процессе высокотемпературного газоабразивного износа, покрытия изнашивались слабо из-за пленки Fe_2O_3 оксида железа. При температурах 300 - 600 °С, ударопрочный фрагменты оксидных пленок Cr_2O_3 и Al_2O_3 образуются в основном на поверхности, так и между лунками в покрытие [14].

При повышении температуры испытания, трещины, образовавшиеся в покрытиях заполнены продуктами коррозии (легированного железа, хрома и оксидов алюминия), что приводит к выравниванию сопротивления износу гомогенных и гетерогенных покрытий [14].

В работах [16-22] приведены исследования на газоабразивный износ таких материалов как алюминий, медь, мягкая и нержавеющей сталь.

Алюминий 6061 проявлял повышенную устойчивость к эрозии, тогда как нержавеющей стали 304 и 316 показали худшие характеристики в процессе износа. Предполагалось, что температура в помещении может повлиять на поведение этих материалов.

Большинство исследуемых материалов проявляли пластическую деформацию из-за максимальной скорости эрозии, которая была достигнута при меньших углах атаки (30 ° и 45 °). Скорость эрозии значительно снизилась при более высоких углах атаки (60 °, 75 ° и 90 °). Нержавеющие стали 304 и 316 имели более высокий ущерб от эрозии при 60 °С.

Типичные механизмы износа, такие как рыхлости, нерегулярные вмятины, царапины, кратеры, хрупкое разрушение, характеризующейся трещинами, расположены в случайных местах на поверхности образцов в данном исследовании [16].

Износостойкие рубцы образовывали эллиптическую форму при 30° и 45° , что является характерной чертой, когда образцы подвергаются воздействию при низких углах атаки ($\alpha \leq 45^\circ$), в то время как почти круглая форма наблюдалась при 60° и 90° [15].

1.3 Характер разрушения материалов при газоабразивном изнашивании

Механизм, закономерность и картина газоабразивного или эрозионного изнашивания являются наиболее сложными из всех видов изнашивания. Эрозионное изнашивание характеризуется ударным воздействием абразивной частицы, направленным под углом к поверхности. Этот угол называется углом атаки и изменяется от 0 до 90° .

Факторы, определяющие величину изнашивания: угол атаки, скорость полета частицы, её форма, размер и твердость, а также свойства материала. Абразивная частица действует на поверхность совместно с соседними, образуя газообразный или воздушный поток. В зоне удара происходит сложный процесс изнашивания. Трудно выделить одну абразивную частицу и увидеть её траекторию движения [2].

В связи с этим все экспериментальные данные это усредненная картина действия движущихся частиц и в итоге индивидуально воздействующих на поверхность изнашивания. Часть частиц, ударяются о поверхность изнашивания не меняя скорости и траектории, а часть вытесняется соседними частицами, не долетев до поверхности соударения [2].

Та часть, которая достигает зоны соударения называется «рабочей» и она составляет лишь определенную долю общего потока. При изучении газоабразивного изнашивания ученые сосредотачивают свое внимание на «рабочих» частицах. В связи с этим чем больше плотность абразивного потока, тем более сложен конечный акт соударения [2].

Угол атаки и скорость потока – основные факторы силового воздействия единичных частиц на поверхность изнашивания.

При малых углах атаки $\alpha=15...30^\circ$ на рельефе поверхности изнашивания хорошо видны риски, ориентированные в направлении потока и имеющие углубления в зоне соударения. В момент удара металл деформируется и выдавливается. При дальнейшем движении происходит микрорезание от частицы. Каждая лунка имеет свою форму, глубину и площадь. В начальный момент удара ширина и глубина лунки максимальная, по мере движения размеры уменьшаются. Лунка имеет кометовидную форму [2].

При угле атаки $\alpha=45^\circ$ лунки становятся более глубокими и менее протяженными, но все равно можно различить направление потока абразивных частиц [2].

При угле атаки $\alpha=90^\circ$ картина меняется. Поток частиц совершает удар по поверхности без движения по ней. Форма и размеры лунок определяются скоростью и размерами частиц, а также твердостью, вязкостью, прочностью и хрупкостью материала [2].

Во время газоабразивного изнашивания проявляется наклеп [2]. Его объем, глубина, численное значение приращения твердости зависят от исходной структуры металла, скорости потока и угла атаки. Именно наклеп провоцирует инверсию износа нормализованных и твердых закаленных сталей при переходе от малых углов атаки к прямому.

Наклеп не всегда является положительным моментом, поскольку он может вызвать охрупчивание и повышение износа путем выкрашивания. В этих условиях хрупкие и твердые фазы в структуре металла в последствии действия частиц потока «вымываются» из вязкой матрицы в которой они закреплены. Благодаря отсутствию вторичного цементита в доэвтектидных сталях их износостойкость выше, чем у заэвтектидных. Еще один отрицательный эффект

удара — это динамический фактор. Известно, что разрушение металла ускоряется при силовых воздействиях, особенно при изнашивании.

В результате проведенных опытов [2] показана роль скорости потока в общем комплексе факторов силового воздействия потока на конечный результат эрозионного изнашивания.

Изменение скорости потока оказывает разное влияние на изменение радиальных и тангенциальных сил. Так, например, при $\alpha=90^\circ$ увеличение скорости потока в 10 раз вызывает пропорциональное увеличение этих сил, а при аналогичном изменении скорости потока при $\alpha=30^\circ$ максимальные тангенциальные силы увеличились значительно меньше [2].

При разных углах атаки соотношение нормальных и тангенциальных сил различно, но, суммируясь, они усиливают воздействие единичной частицы. Это особенно заметно при $\alpha=10\dots 70^\circ$ [2].

При $\alpha=45^\circ$ наблюдается самое интенсивное воздействие потока абразивных частиц. Есть предположение, что сочетание радиальных и тангенциальных сил создает наиболее благоприятные силовые условия на контакте, отсюда максимальный износ. Уменьшение износа с увеличением твердости при малых углах ($\alpha=15^\circ$), объясняется макрорежущим действием абразивных частиц на поверхность изнашивания, а механизм формирования и отделение частиц схож с изнашиванием при трении скольжения: выше твердость – выше износ. Увеличении износа при $\alpha=90^\circ$ связано с нарастанием хрупкого выкрашивания в области высокой твердости под действием радиальных сил: твердые и хрупкие фазы, освобожденные от сравнительно вязкой матрицы, выкрашиваются – износ растет [2].

2. Материалы и методы исследования

2.1 Материалы для наплавки

В качестве наплавочного материала при плазменно-порошковой наплавке использовался промышленный порошок ПР-Х18ФНМ, фракцией от 50 до 200 мкм, химического состава, представленного в таблице 1. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась. Химический состав стали 20 показан в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав промышленного порошка ПР-Х18ФНМ (мас. %, Fe – основа)

C	Cr	Ni	V	Mo
2,1...2,4	17...19	2...3	7...8	2...2,6

Таблица 2 – Химический состав стали 20 (мас. %, Fe – основа)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	0,25	0,04	0,04	0,25	0,25	0,08

Покрyтия наносили на установке УПН-303УХЛ4 с водоохлаждаемым плазмoтронoм. Для более высокого уровня защиты создаваемых упрочняющих слоев от вредного влияния атмосферного воздуха на плазмoтрон устанавливали устройство дополнительного обдува зоны наплавки. Покрyтия наплавляли за один проход током прямой полярности (отрицательный полюс силовой цепи подключен к водоохлаждаемому медному электроду с вольфрамовой вставкой диаметром 5 мм, а положительный – к обрабатываемой пластине). В качестве плазмoобразующего, транспортирующего и защитного газов применяли аргон высшего сорта.

В качестве наплавочного материала при ручной дуговой наплавке использовались электроды Т-590, химический состав которых представлен в таблице 3. В качестве основного материала использовали пластины из стали 20 размером 250×100×10 мм, поверхность которых предварительно шлифовалась.

Таблица 3 - Химический состав электродов Т-590 (мас. %, Fe – основа)

С	Mn	Si	Cr	В
3,2	1,2	2,2	25	1

Наплавку осуществляли с помощью сварочного аппарата ВКСМ-1000 и балластного реостата РБ-306.

2.2 Параметры режима наплавки

При плазменно-порошковой наплавке покрытия наплавляли за один проход в один слой током прямой полярности при расстоянии от плазмотрона до изделия 10...12 мм, расходе плазмообразующего газа 1...2 л/мин, транспортирующего 10...16 л/мин, для дополнительного поддува до 10...15 л/мин, напряжении на дуге 31...42 В.

Режимы наплавки:

- Ток 215-225 А
- Линейная скорость 4,5 м/ч
- Скорость подачи порошка 1,5-1,9 кг/ч
- Размах колебаний 20-22 мм
- Частота колебаний 0,3-0,4 Гц

При ручной дуговой наплавке покрытия наплавляли в один слой в нижнем положении током прямой полярности. Диаметр электродов 5 мм, сила тока 250-280 А.

2.3 Приготовление шлифов

Приготовление шлифов состояло из трех этапов.

Первый этап. Вырезание и заторцовка шлифа. Вырезание образца из исследуемой поверхности происходило с помощью углошлифовальной машинки. Затем образец заторцовывали на плоскость на наждачном круге, попутно производя охлаждение водой, чтобы избежать искажения структуры образца.

Второй этап. Шлифование образца производилась на наждачной бумаге разной зернистости (P320, P400, P600) и на плотной бумаге с применением алмазной пасты разных размеров (зернистость синей пасты 28/20, зеленой 10/7). Сперва шлифование происходило на наждачной бумаге с крупными зернами, после перешли на бумагу с более мелкими зернами. После бумаги переходят на шлифование с помощью алмазной пасты, также, переходя от крупной зернистости к более мелкой.

При шлифовании требуется соблюдать технику. Образец, прижав заторцованной стороной к поверхности наждачной бумаги или плотной бумаги с пастой, водили в одном направлении до исчезновения рисок. При переходе на следующий номер бумаги или пасты шлиф водят в направлении, перпендикулярном к штрихам, пока риски от предыдущего шлифования не исчезнут.

Третий этап. Полирование проводили на вращающемся плоском круге (фетре). Круг смачивается водой с растворенным в ней порошком, пастой ГОИ. Полирование прекращается после удаления всех рисок.

Четвертый этап. Анализ микроструктуры покрытий проводили с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700. Чтобы увидеть микроструктуру, образцы

протравливались методом окунания в течение трёх минут. Состав травителя: 20 мл. HCl , 1 г. $CuCl_2$, 15 мл. H_2O , 65 мл. C_2H_5OH .

2.4 Методы испытания материалов на износостойкость

Анализ литературы показал преобладание механизма микрорезанья при абразивном изнашивании газовым потоком, действующем на рабочую поверхность под малыми углами атаки. Потому в качестве одного из методов лабораторных испытаний на износ был выбран относительно простой метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные частицы, при котором также преобладает микрорезанье. Лабораторные испытания осуществляли в соответствии с ГОСТ 23.208-79 (Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы).

Сущность этого метода заключается в том, что испытуемый образец устанавливается в образцедержатель установки и прижимается к ролику с помощью рычага. Включается установка и ролик начинает вращаться. Включается дозирующее устройство, которое обеспечивает непрерывную подачу абразивного материала. Схема установки представлена на рисунке 3.

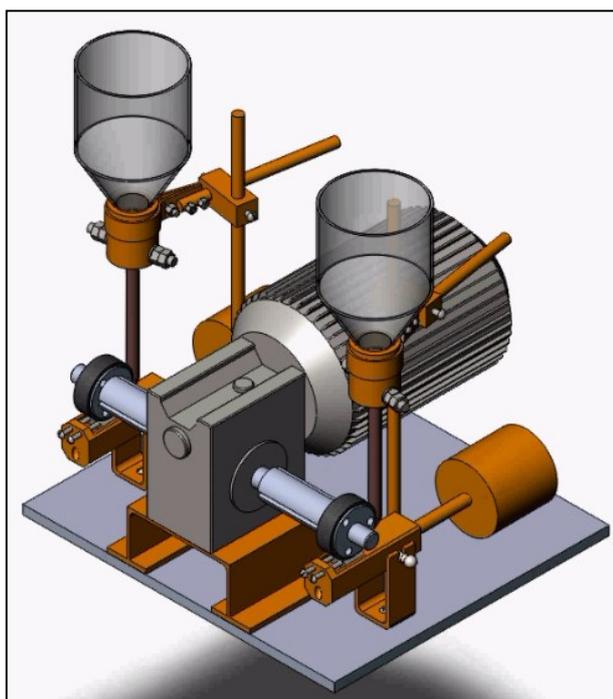


Рисунок 1 - Лабораторная установка для испытания материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные частицы

Твердость каменного угля может достигать 5 единиц по шкале Мооса, приближаясь к твердости кварца (7 единиц по шкале Мооса). В качестве абразивного материала при испытаниях выступал кварцевый песок фракций менее 200 мкм, 200...500 мкм, 500...1000 мкм и электрокорунд фракцией менее 500 мкм. На каждую фракцию песка испытывалось по 2 образца. Время испытания – 15 мин. После испытания потеря массы образцов определялась с помощью весов.

Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя. Лабораторные испытания по оценке износостойкости полученных покрытий осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 23.201-78 (Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов и покрытий на газоабразивное изнашивание с помощью центробежного ускорителя).

Центробежный ускоритель представляет собой ротор, вращающийся вокруг вертикальной оси, с четырьмя радиально расположенными каналами прямоугольного сечения. В эти каналы поступает абразивный материал,

который под действием центробежных сил выбрасывается из ротора и ударяется о поверхность испытуемых образцов, закрепленных вокруг него. Образцы устанавливаются под разными углами атаки. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 4.

При испытаниях на газоабразивное изнашивание применяли кварцевый песок фракцией менее 200 мкм. Время испытания – 30 мин. Одновременно испытывалось 5 образцов. Углы атаки 15°, 30°, 60°, 90°. Величина потери массы определялась с помощью весов.

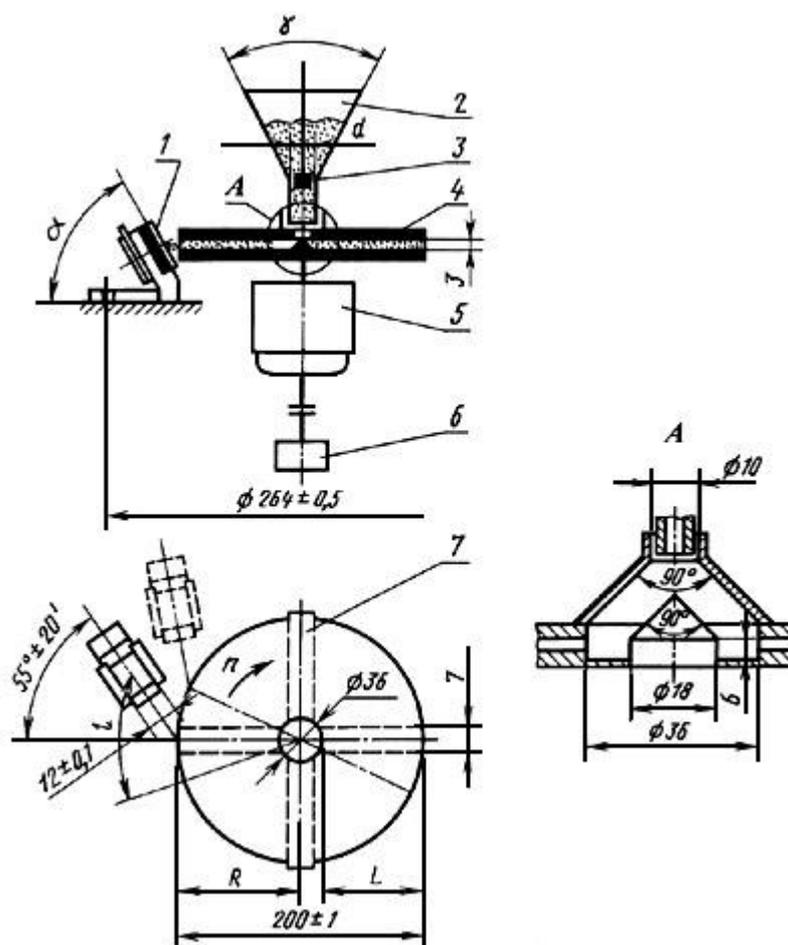


Рисунок 2 - Лабораторная установка на газоабразивное изнашивание

3 Результаты и обсуждение

3.1 Структура материала после наплавки

На рисунке 3 приведена микроструктура покрытия, сформированная плазменно-порошковой наплавкой порошком Пр-Х18ФНМ. Эвтектика на основе карбида M_7C_3 , на рисунке 3 расположена по границам зерен матрицы, образует сетку и имеет скелетообразное строение. Объемная доля эвтектики в сплаве составляет 24...30 %. Карбиды VC имеют округлую форму (средний фактор формы 0,78...0,81), их средние размеры не превышают 2 мкм, а объемная доля достигает 12...13 %. По данным [3] твердость VC принимает значения 2000...3000 HV, а твердость M_7C_3 достигает 1380 HV. Согласно [3] округлая форма высокотвердых включений VC оказывает лучший «теневой» эффект на матрицу, чем карбиды неправильной формы.

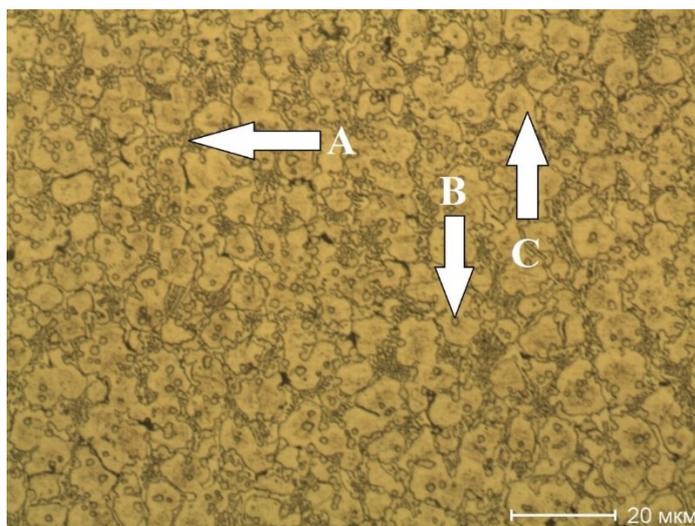


Рисунок. 3 – Микроструктура покрытия, сформированная плазменно-порошковой наплавкой порошком ПР-Х18ФНМ
(А – Эвтектика на основе карбида M_7C_3 , В – карбид VC, С – матрица, состоящая из α - и γ -твердых растворов)

На рисунке 4 приведена микроструктура покрытия, наплавленного электродами Т-590. Здесь можно увидеть эвтектический карбид M_7C_3 , имеющий схожее скелетообразное строение с карбидом M_7C_3 в Fe-Cr-V-Mo-C покрытии. Интенсивная травимость матрицы говорит о высоком содержании мартенсита в

ней, в отличие от покрытий, сформированных плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ, где в матрице преобладает остаточный аустенит.

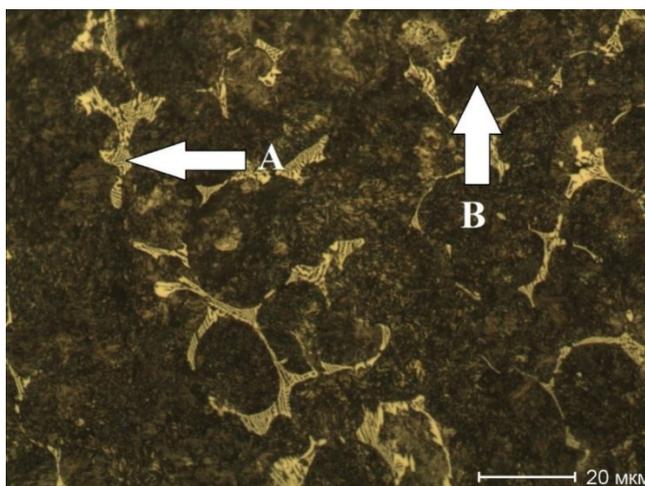


Рисунок. 4 - Микроструктура покрытия, сформированная ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590
(А - M_7C_3 , В - матрица, состоящая из α - и γ - твердых растворов)

3.2 Результаты изнашивания в лабораторных условиях

На рисунке 5 представлена гистограмма, демонстрирующая величину потери массы образцов, полученных по двум различным технологиям упрочнения в зависимости от фракции и вида абразива.

Во всех случаях покрытие, выполненное плазменной наплавкой порошка Пр-Х18ФНМ, демонстрирует в 2...3 раза более высокую износостойкость в условиях контакта с нежестко закрепленными абразивными частицами, чем покрытие, сформированное ручной дуговой наплавкой электродами Т-590.

Гистограмма, показанная на рисунке 6, также свидетельствует о меньшем уровне износостойких свойств покрытий, полученных ручной дуговой наплавкой электродами Т-590 при их газоабразивном изнашивании с помощью центробежного ускорителя при всех исследованных углах атаки абразива (15, 30, 60 и 90°).

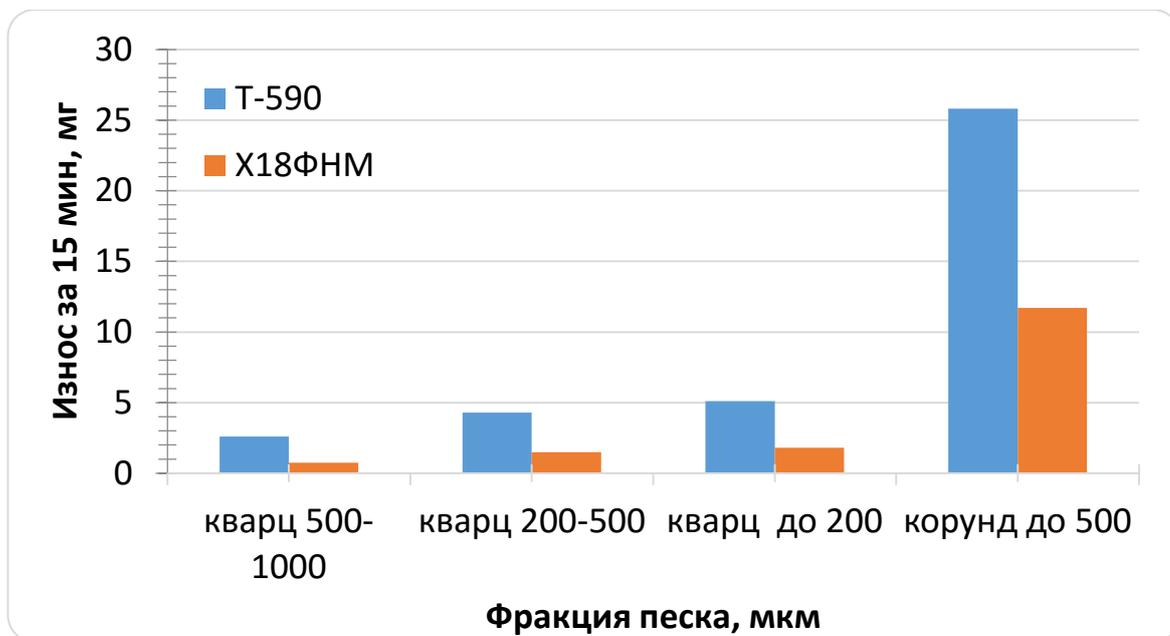


Рисунок 5 – Гистограмма, сравнивающая результаты лабораторных испытаний на абразивное изнашивание двух различных технологий наплавки.

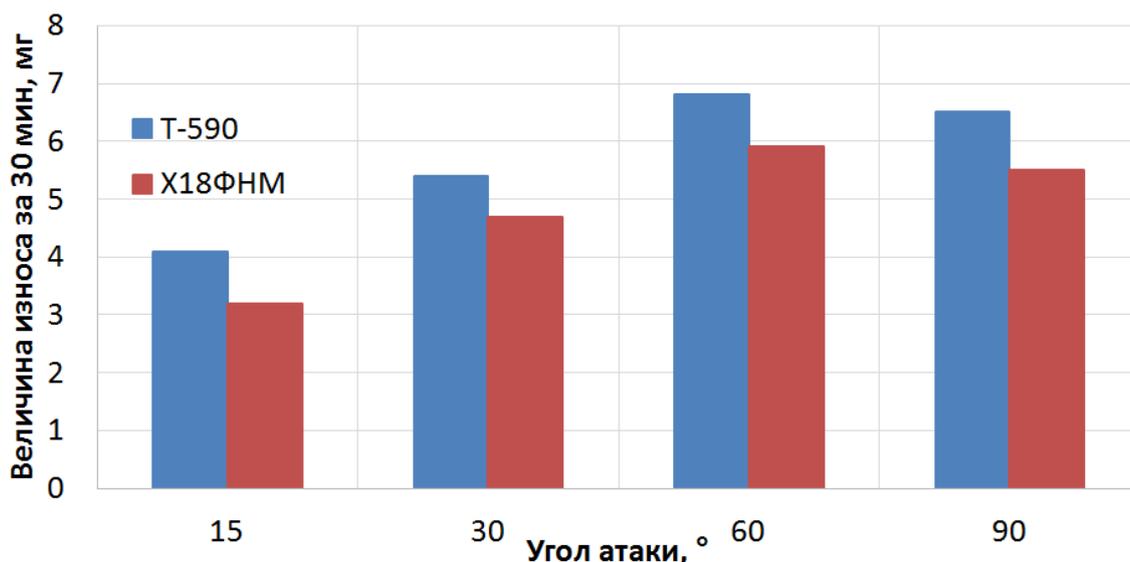


Рисунок 6 - Гистограмма, сравнивающая результаты лабораторных испытаний на абразивное изнашивание двух различных технологий наплавки

3.3 Структура материала после изнашивания в лабораторных условиях

Абразивное изнашивание.

На рисунке 7 слева изображена поверхность, изношенная кварцевым песком, покрытия X18ФНМ, а справа поверхность, изношенная корундом. При таком увеличении Структуру поверхности сложно различить, но видно направление износа. Мелкие множественные риски, расположенные по

направлению движения абразивных частиц кварцевого песка (твердость 7 по шкале Мооса) потока. При изнашивании же корундом формируемые в ходе изнашивания риски имеют большую глубину и непрерывны в пределах выполненных фотографий.

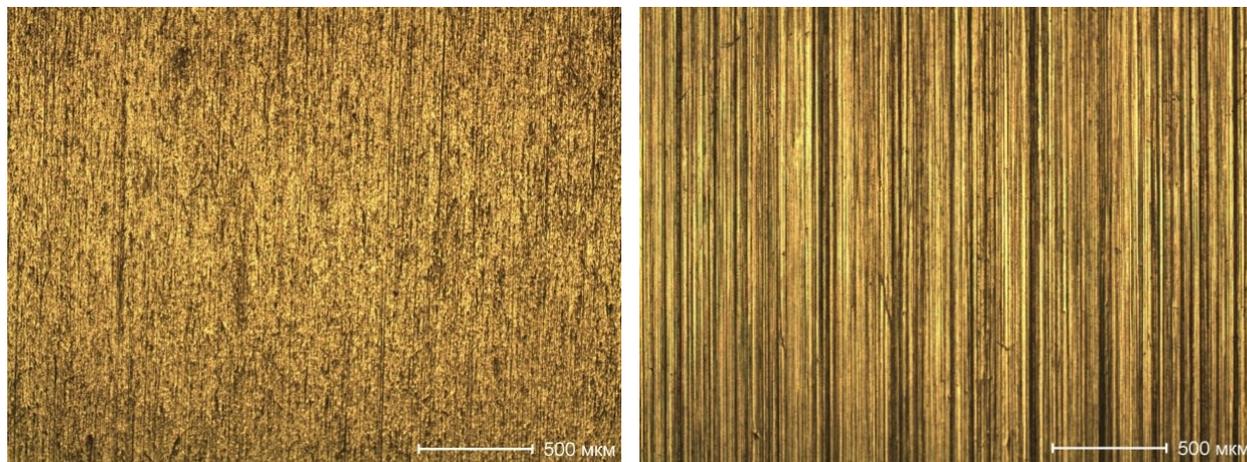


Рисунок 7 – Слева – поверхность, изношенная кварцевым песком. Справа – поверхность, изношенная электрокорундом

На рисунке 8 слева поверхность покрытия ПР-Х18ФНМ, полученная с помощью травителя (состав: красная кровяная соль 10 г., КаОН 10г., вода 100 мл.), изношенная кварцевым песком. Под буквой А можно увидеть большие скопления карбидов VC , после которых видно «хвосты», что является показателем «теневого» эффекта, и потому не наблюдается глубоких рисок. Под буквой Б обозначена эвтектика карбида M_7C_3 , которая так же, как и карбид VC оказывает защитный эффект на матрицу.

Справа протравленная поверхность покрытия ПР-Х18ФНМ, изношенная песком электрокорундом (2000 HV). Твердость электрокорунда настолько высока, что он прорезает всю структуру. В некоторых местах даже видна небольшая пластическая деформация по краям рисок. В рисках можно увидеть небольшие лунки, которые остались от выпавших карбидов VC .

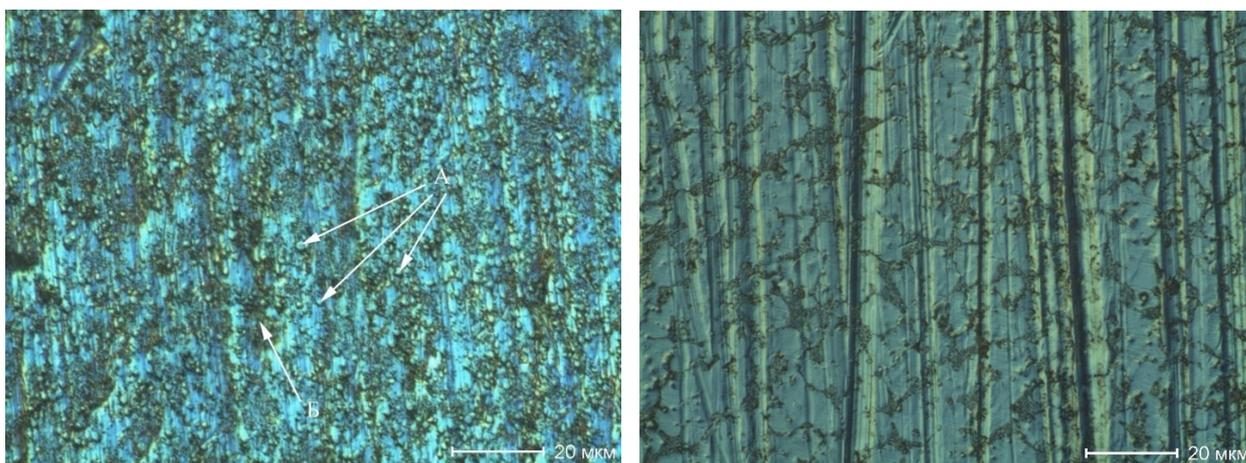


Рисунок 8 – Слева – поверхность, изношенная кварцевым песком. Справа поверхность, изношенная электрокорундом

Газоабразивное изнашивание.

На рисунке 9 слева структура поверхности X18ФНМ, изношенной при угле атаки 15° и снятой в светлом поле. Под буквой А обозначены лунки, которые появились в результате удара абразивных частиц о поверхность. Под буквой Б обозначены небольшие скопления карбидов VC, после которых остаётся след, идущий в направлении износа. Этот след является матрицей, которая была защищена карбидами, благодаря «теневому» эффекту.

Справа фотография поверхности X18ФНМ, изношенной при угле атаки 90° . Сложно различить структуру, но по темным областям можно сказать, что износ носит больше усталостный характер. Матрица состоит из метастабильного аустенита и мартенсита, под действием абразивных частиц, летящих нормально к рабочей поверхности образца метастабильный аустенит превращается в хрупкий мартенсит и выкрашивается. Испытания под малыми углами атаки абразивного потока показали, что карбид VC в таких условиях не может быть разрушен из-за своей высокой твердости. Потому абразивные частицы многократными ударами вдавливают включения VC в матрицу. В результате такого вдавливания остаточный аустенит матрицы превращается в мартенсит. Связь карбидных включений с матрицей ослабевает, и они “вымываются” газоабразивным потоком. После этого незащищенный, хрупкий

объем мартенситной матрицы под карбидом выкрашивается. С ростом угла атаки абразивного потока способность частиц VC защищать матрицу снижается.

Отдельные части эвтектического карбида M_7C_3 , являясь менее прочной фазой, чем VC под многократными ударами откалываются от основного объема образованной ими сетки и выкрашиваются с рабочей поверхности покрытия.

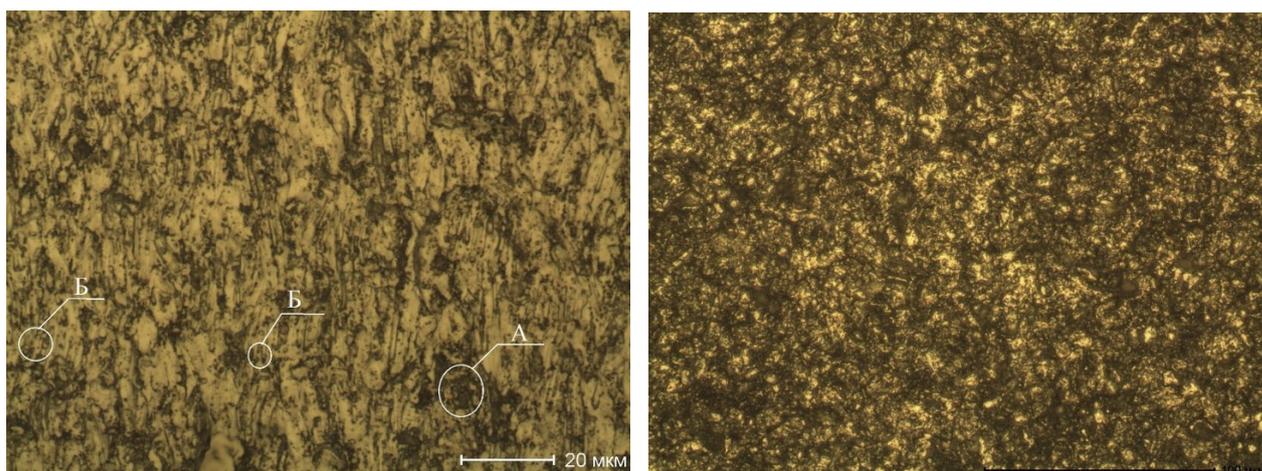


Рисунок 9 – Светлое поле. Слева – поверхность X18ФНМ, изношенная при $\alpha = 15^\circ$. Справа – поверхность X18ФНМ, изношенная при $\alpha = 90^\circ$

На рисунке 10 слева представлена поверхность износа X18ФНМ при угле атаки 15° , снятая в темном поле. Хорошо виден небольшой рельеф. Темные области — это лунки, образованные в результате удара абразивных частиц о поверхность. После удара частицы летят в направлении газоабразивного потока, царапая поверхность. Поэтому лунки имеют «хвосты», как у комет. Светлые риски — это возвышенности, что показывает нам несколько уровней рельефа

Справа на рисунке 10 поверхность износа X18ФНМ при угле атаки 90° , снятая в темном фоне. Картина отличается от той, что была при угле атаки 15° . Здесь нет направления износа. Но есть глубокие лунки, образованные в результате удара абразивных частиц о поверхность. Лунки и возвышенности светлого цвета говорят о рельефе.

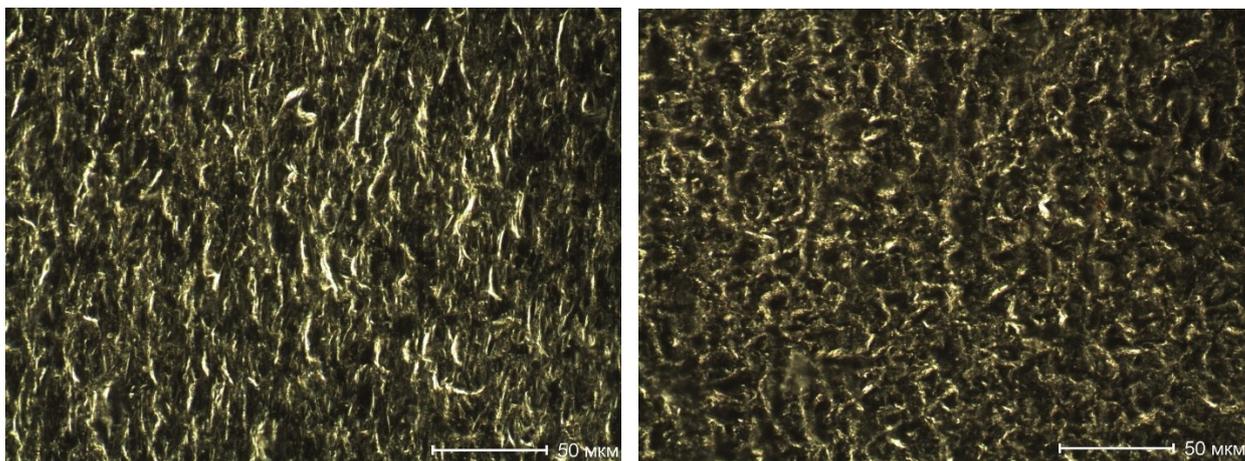


Рисунок. 10 – Темное поле. Слева – поверхность X18ФНМ, изношенная при $\alpha=15^\circ$. Справа – поверхность X18ФНМ, изношенная при $\alpha=90^\circ$

3.4 Производственные испытания

На рисунке 11 слева представлена фотография изношенной поверхности лопасти мельничного вентилятора. Справа ручная дуговая наплавка покрытыми электродами Т-590 на этой лопасти.



Рисунок 11 – Слева – Изношенная поверхность лопасти рабочего колеса мельничного вентилятора. Справа – Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами т-590 на лопасти рабочего колеса.

На следующем рисунке 12 показана фотография изношенной поверхности лопасти рабочего колеса мельничного вентилятора, выполненной ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590, после года эксплуатации. Покрытие износилось на 3-4 мм.



Рисунок 12 - изношенной поверхности лопасти рабочего колеса мельничного вентилятора, выполненной ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590, после года эксплуатации.

На рисунке 13 слева показана пластина вваренная в изношенную область лопасти рабочего колеса мельничного вентилятора. На пластине с помощью плазменно-порошковой наплавки порошком Пр-Х18ФНМ нанесено 4 валика.

Справа изношенная поверхность пластины после года эксплуатации мельничного вентилятора. Поверхность износилась на 0,3-0,6 мм. Результат показывает преимущество плазменно-порошковой наплавки по сравнению с ручной дуговой покрытыми электродами.



Рисунок 13 – Слева – пластина с четырьмя валиками, нанесенные с помощью ППН, свареная в лопасть рабочего колеса. Справа – результат изнашивания после 1 года эксплуатации.

3.5 Структура материала после изнашивания в производственных условиях.

В результате воздействия на поверхность Fe-Cr-V-Mo-C покрытия газового потока под малым углом атаки (менее 30°) на ней формируется микрорельеф. При исследовании этой поверхности методом светлопольного освещения оптической микроскопии были получены изображения, представленные на рисунке 14.

Здесь хорошо идентифицируются два уровня микрорельефа: первый-светлые объемы поверхности; второй-темные. Объемная доля светлых объектов их форма и расположение позволяют идентифицировать их как карбиды VC и M_7C_3 . Темные же объемы - матрица, состоящая из α - и γ -твердых растворов.

Исследование изношенной поверхности методом темнопольного освещения оптической микроскопии позволяет получить отличное от светлопольного ее изображение (рис. 15).

Отчетливо выделяются светлые вытянутые в направлении потока объекты среди более темных объемов поверхности. Размер и форма этих

объектов соответствует включениям VC , защитившим матрицу от воздействия газообразного потока.

Полученная методами оптической микроскопии информация о рельефе изношенной поверхности позволяет выделить три уровня (1 – матрица за пределами “тени” карбидов, 2 – эвтектика на основе M_7C_3 , 3 – карбид ванадия) и предположить механизм газообразного изнашивания угольной пылью Fe-Cr-V-Mo-C покрытия:

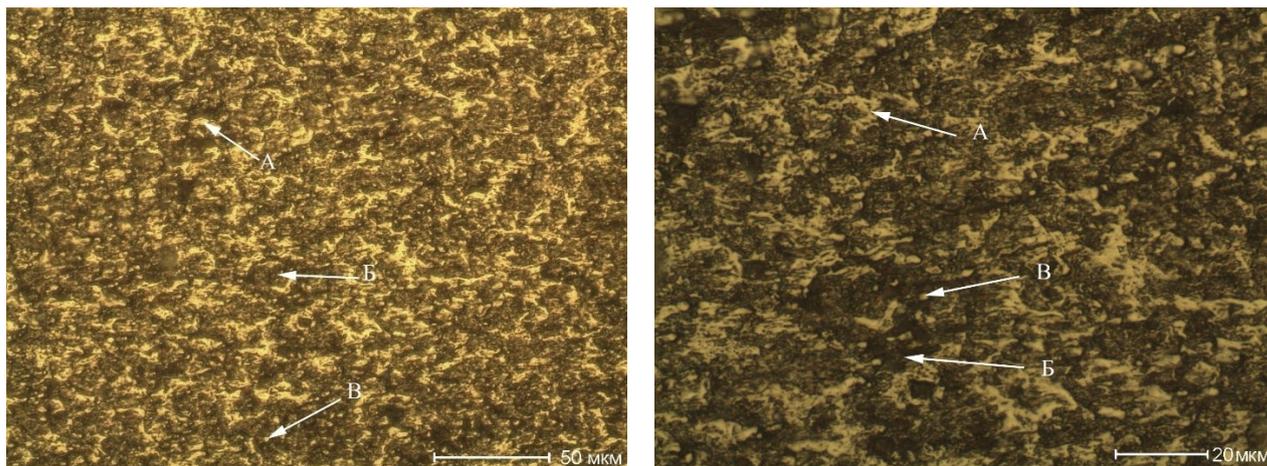


Рисунок 14 – слева увеличении $\times 500$, справа - $\times 1000$ (А – эвтектика M_7C_3 , Б – матрица, состоящая из α - и γ - твердых растворов, В – карбиды ванадия).

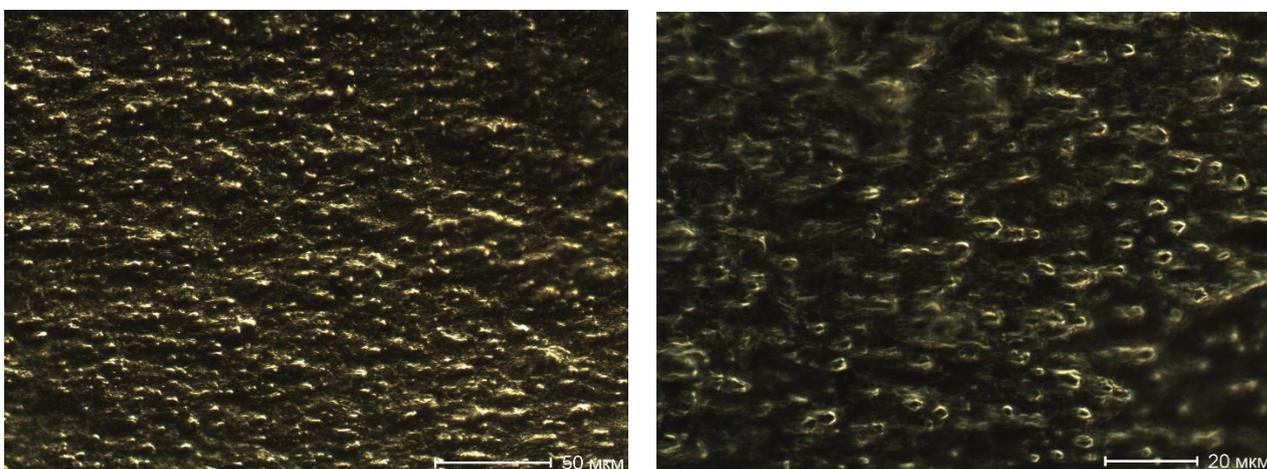


Рисунок 15 – Слева увеличении $\times 500$, справа - $\times 1000$

Схема, приведенная на рисунке 16 наглядно демонстрирует характер разрушения Fe-Cr-V-Mo-C покрытия пылевоздушной абразивной смесью.

В первую очередь изнашивается матрица, т.к. твердость абразивных частиц сопоставима с её твердостью. Эвтектика, ввиду большей способности сопротивляться внедрению инородных тел (1380 HV), изнашивается медленнее. Она закрывает некоторую часть матрицы на рабочей поверхности покрытия от прямого микрорезанья гранями частиц угольной пыли. Ввиду своего строения эвтектика не может быть вырвана с изнашиваемой поверхности и потому она постепенно срезается острыми гранями абразивных частиц, перемещающихся с высокой скоростью. Карбид ванадия (2900 HV) в ходе испытаний не может быть разрушен газоабразивным потоком мельничного вентилятора. Интенсивность разрушения матрицы и эвтектики в его тени также мала. По мере изнашивания, прилегающих к VC преимущественно с фронтальной стороны объемов матрицы и эвтектики его связь с рабочей поверхностью покрытия снижается, и он вырывается из нее газоабразивным потоком. После этого, относительно сильно выступающие над общей рабочей поверхностью объемы матрицы и/или эвтектики за вырванным VC быстро истираются.

Необходимо отметить, что в процессе полировки Fe-Cr-V-Mo-C покрытий на фетре с пастой ГОИ на подготавливаемой поверхности также формировался схожий с описанным микрорельеф. Это еще раз подтверждает родстве механизма абразивного изнашивания нежестко закрепленными частицами с механизмом изнашивания газорабразивным потоком действующем под малыми углами (менее 30 град) к рабочей поверхности исследованных упрочняющих слоев.

→ Направление износа

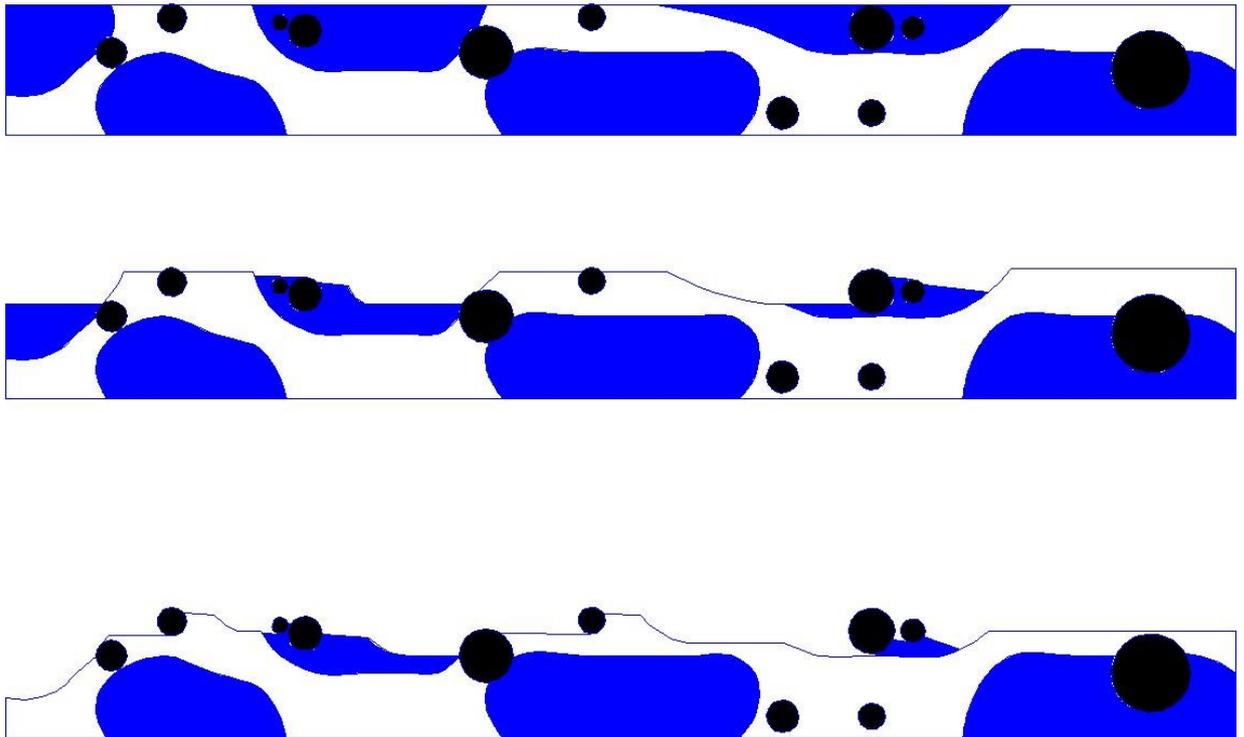


Рисунок 16 – Характер разрушения Fe-Cr-V-Mo-C покрытия пылевоздушной абразивной смесью

4 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В целевой рынок входят коммерческие и подрядные организации отраслей теплоэнергетики и горнодобывающей промышленности.

Для данных коммерческих организаций критерием сегментирования является ремонт. Производим сегментирование рынка для реализации технологии наплавки покрытий для деталей и оборудования, работающих в условиях газоабразивного изнашивания по критериям ремонт. Данная технология в ремонте новым направлением, которым до сегодняшнего дня не применялась.

Основными сегментами данного рынка являются энергетическая (тепловые электростанции, работающие на угле) и горнодобывающая промышленность, на них и будет направлена ориентация предприятия.

4.1.1 FAST – анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

FAST – анализ состоит из шести стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

Объектом данного анализа является объект исследования, а именно плазменно-порошковая наплавка Fe-Cr-v-Mo-C покрытий.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Главной функцией (назначением) данной технологии является возможность получения качественных покрытий на деталях, работающих в условиях газообразного воздействия.

В качестве основных функций плазменно-порошковой наплавки можно выделить технологию наплавки, что гарантирует хорошее формирование и качество наплавленных валиков.

К вспомогательным функциям можно отнести возможность получения качественных покрытий без каких-либо особых усилий, т.к. процесс наплавки плазменной дугой ничем не отличается от обычного процесса сварки покрытым электродом.

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Для начала необходимо построить матрицу смежности функций, в которой определим более значимые из них.

Таблица 4 - Матрица смежности функций технологии плазменно-порошковой наплавки на деталь методом один валик в слое

	Возможность получения качественных покрытий	Удобная технология наплавки	Отсутствие громоздкого оборудования	Возможность получения валика без особых усилий
Возможность получения качественных покрытий	=	=	>	>
Удобная технология наплавки	=	=	>	>
Отсутствие громоздкого оборудования	<	<	=	>
Возможность получения валика без особых усилий	<	<	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

После определения более значимых функций нужно определить количественное соотношение функции. Для этого построим матрицу количественных соотношений функций.

Таблица 5 - Матрица количественных соотношений функций

	Возможность получения качественных покрытий	Удобная технология наплавки	Отсутствие громоздкого оборудования	Возможность получения валика без особых усилий	ИТОГО
Возможность получения качественных покрытий	1	1	1,5	1,5	5
Удобная технология наплавки	1	1	1,5	1,5	5
Отсутствие громоздкого оборудования	0,5	0,5	1	1,5	3,5
Возможность получения валика без особых усилий	0,5	0,5	0,5	1	2,5
<i>Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»</i>					$\Sigma=16$

Согласно матрице количественных соотношений получили следующие относительные значения значимости функций: возможность получения качественных покрытий– 0,3125 (5/16), удобная технология наплавки– 0,3125 (5/16), отсутствие громоздкого оборудования– 0,21875 (3,5/16), возможность получения валика без особых усилий – 0,15625 (2,5/16). Видно, что самой значимой функцией (назначением) плазменно-порошково наплавки деталей является её главное назначение – возможность получения качественных покрытий.

Стадии 4 и 5 - анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования и построение функционально-стоимостной диаграммы объекта, и ее анализ соответственно производить не будем, так как представленные функции данной технологии сварки носят общий характер и не могут быть на данный момент оценены в денежном эквиваленте.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Плазменно-порошковая наплавка позволяет сократить общее время и затраты на ремонт деталей, работающих в условиях газообразного изнашивания за счет формирования более износостойких покрытий. В данном способе применяется порошок, что способствует экономии сварочного материала.

По сравнению с используемыми на сегодняшний день методами, плазменно-порошковая наплавка позволяет получать качественные покрытия, лучшие по качеству покрытиям, выполненным ручной дуговой наплавкой.

4.1.2 SWOT– анализ

SWOT-анализ – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) - это определение сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз по его осуществлению. Этот анализ проводят для выявления внешней и внутренней среды проекта. Проводится данный анализ в несколько этапов.

Первый этап.

Данный этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

К сильным сторонам проекта относятся:

Стабильное течение процесса формирования валика – С1. Качественное формирование наплавляемого покрытия – С2. Высокая скорость наплавки – С3. Возможность наплавки во всех пространственных положениях без изменения режимов наплавки – С4. Продолжительность нагрузки постоянна и равна 100% – С5.

К слабым сторонам проекта относятся:

Необходимость высококвалифицированного персонала – Сл.1.
Дороговизна оборудования – Сл.2.

К возможностям проекта относятся:

Внедрение на рынок нового способа наплавки за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1. Финансовая поддержка спонсора – В2.

К угрозам относятся:

Необходимость повышения квалификации рабочего персонала – У1.

Второй этап.

Данный этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности	С1	С2	С3	С4	С5
В1	+	+	-	+	-
В2	-	-	-	-	-

Третий этап.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	Стабильное течение процесса формирования валика – С1. Качественное формирование наплавляемого покрытия – С2. Высокая скорость наплавки – С3. Возможность наплавки во всех пространственных положениях без изменения режимов наплавки – С4. Продолжительность нагрузки постоянна и равна 100% – С5.	Необходимость высококвалифицированного персонала – Сл.1. Дороговизна оборудования – Сл.2.
Возможности		
Внедрение на рынок нового способа наплавки за счет достоинств и вытеснение устаревших разработок – В1. Финансовая поддержка спонсора – В2.	Показ достоинств технологии плазменно-порошковой наплавки на выставках, посвященных сварочным технологиям и испытания на производствах.	За счет преимуществ в данной технологии по сравнению с технологиями, используемыми на сегодняшний день, велика вероятность того, что разработка получит еще больший спрос на рынке.
Угрозы:		
Необходимость повышения квалификации рабочего персонала – У1.	Отправка рабочего персонала на курсы повышения квалификации.	Организации, занимающиеся ремонтом, заинтересованные в данной технологии, будут спонсировать данные исследования.

4.2 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На данном этапе производится оценка степени готовности проекта к коммерциализации и определение уровня собственных знаний для ее проведения или завершения. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

При проведении анализа по таблице, приведенной ниже, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 балл означает не знаком или мало знаю, 2 балла – в объеме теоретических знаний, 3 балла – знаю теорию и практические примеры применения, 4 балла – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 баллов – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 8 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11.	Проработаны вопросы международного	1	1

	сотрудничества и выхода на зарубежный рынок		
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	63	56

Таким образом, можно сказать, что разработка является перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 9-Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Разработка принципиальной схемы инвертора.	

Практические исследования	9	Разработка экспериментальной установки	Студент
	10	Моделирование силовой части и корпуса инвертора	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Заключение	Научный руководитель, студент

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта– горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

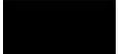
Все рассчитанные значения вносим в таблицу (табл. 10).

После заполнения таблицы 10 строим календарный план-график (табл. 11). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 10 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ожи}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Рук.-студ.	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студ.-рук.	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Подбор нормативных документов	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студ.-рук.	3	4	4	5	6	6
Разработка принципиальной схемы инвертора	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент	4	6	6	6	9	9
Разработка экспериментальной установки	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент	2	3	4	3	5	6
Моделирование силовой части и корпуса инвертора	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент	2	3	3	3	5	5
Анализ результатов	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студ.-рук.	2	2	2	3	3	3
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент	3	3	3	4	4	4

Таблица 11- Календарный план-график проведения научно-технического исследования

№ Ра-бот	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				Март			апрель			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3											
2	Анализ актуальности темы	Рук.-студ.	2	 										
3	Поиск и изучение материала по теме	Студ.-рук.	2		 									
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2											
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3											
6	Изучение литературы по теме	Студент	15											
7	Подбор нормативных документов	Студ.-рук.	5				 							
8	Разработка принципиальной схемы инвертора	Студент	6											
9	Разработка экспериментальной установки	Студент	3											
10	Моделирование силовой части и корпуса инвертора	Студент	3											
11	Анализ результатов	Студ.-рук.	3											
12	Заключение	Студент	4											

 – студент;  – руководитель.

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

4.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество необходимых материальных ценностей определяется по нормам расхода.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 12. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Оборудование для плазменной наплавки	1	-	-	1156	-	-	1329	-	-
2.	Плазмотрон	1	1	1	2000	2000	2000	2300	2300	2300
3	Оборудование для ручной дуговой наплавки	-	1	-	-	1500	-	-	2250	-
4	Оборудование для электродуговой наплавки	-	-	1	-	-	20	-	-	30
Итого:								3629	4550	2330

4.4.2 Специальное оборудование для научных работ

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 13. Материальный затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Картридж для принтера	шт.	1	1	1	1000	1000	1000	1150	1150	1150
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Дополнительная литература	шт.	2	1	1	400	350	330	920	402,5	379,5
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Итого								2852	2219,5	2135,5

4.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Месячный должностной оклад руководителя:

$$Z_m = Z_6 \cdot k_p, \quad (4.1)$$

$$Z_m = 23264,86 \cdot 1,3 = 30243,2 \text{ руб/мес}$$

где $Z_6=23264,86$ – базовый оклад руководителя (доцент, к.т.н.), руб/мес.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска)

Среднедневная заработная плата руководителя (доцент, к.т.н.) рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.2)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{30243,2 \cdot 10,4}{259} = 1214,4 \text{ руб/день}$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 14 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	58	58
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	259	259

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (доцент, к.т.н.) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.3)$$

$$Z_{\text{осн}} = 1214,4 \cdot 275 = 333960 \text{ руб}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, руб;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Месячный должностной оклад исполнителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.4)$$

$$Z_{\text{м}} = 8022,65 \cdot 1,3 = 10429,5 \text{ руб/мес}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.5)$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{10429,5 \cdot 10,4}{259} = 418,8 \text{ руб/день}$$

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (4.6)$$

$$Z_{\text{осн}} = 418,8 \cdot 332 = 139041,6 \text{ руб}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Таблица 15 – Расчёт основной заработной платы руководителя

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб/мес	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб/мес	$Z_{\text{дн}}$, руб/день	$T_{\text{р}}$, дни	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30243,2	1214,4	259	333960
Исполнитель	8022,65	1,3	10429,5	418,8	332	139041,6

4.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных

отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп. рук.}} = k_{\text{доп.}} \cdot Z_{\text{осн.рук.}} \quad (4.7)$$

$$Z_{\text{доп. рук.}} = 0,12 \cdot 333960 = 40075,2 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{доп. исп.}} = k_{\text{доп.}} \cdot Z_{\text{осн.исп.}} \quad (4.8)$$

$$Z_{\text{доп. исп.}} = 0,12 \cdot 139041,6 = 16685 \text{ руб}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В табл. 16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководителя	Исполнителя
Основная зарплата, руб	333960	139041,6
Дополнительная зарплата, руб	40075,2	16685
Итого по статье $C_{\text{зп}}$, руб	374035,2	155726,6

4.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

$$C_{\text{внеб.рук.}} = 0,3 \cdot (333960 + 40075,2) = 112210,6 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{внеб.исп.}} = 0,3 \cdot (139041,6 + 16685) = 46718 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

4.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

$$C_{\text{накл}} = 0,8 \cdot 529761,8 = 423809,4 \text{ руб}$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице 17.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Статьи	Вид работ
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты, руб	16750
Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, руб	24100
Основная заработная плата, руб	473001,6
Дополнительная заработная плата, руб	56760,2
Отчисления на социальные нужды, руб	158928,6
Накладные расходы, руб	423809,4
Итого плановая себестоимость, руб	1153350

4.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты, и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

В данной магистерской диссертации выбрана тема, посвященная разработке технологии наплавки износостойких покрытий для деталей, работающих в условиях газообразного воздействия. С точки зрения ресурсоэффективности можно сказать, что при применении данного типа наплавки мы получаем экономию сварочных материалов около 35%, в связи с заменой покрытых электродов на сварочный порошок. Также благодаря высокой продолжительности нагрузки по сравнению с небольшими габаритными размерами плазменного оборудования и малым напряжением, получаем, что сварку можно вести без перерывов и пауз.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данный тип технологии наплавки износостойких покрытий имеет намного больше ресурсных, финансовых и экономических достоинств по сравнению с аналогами и тем самым является востребованным на рынке.

5 Социальная ответственность

Введение

Исследуемые в данной диссертации покрытия наплавляются плазменно-порошковой наплавкой установкой УПН-303УХЛ4.

Поэтому в этом разделе диссертации будут рассматриваться вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. А также будет проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволит определить средства индивидуальной и коллективной защиты. И решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации.

В процессе сварки, сварщик подвержен воздействиям комплекса опасных и вредных производственных факторов различной природы: излучение, сварочные аэрозоли, искры и брызги расплавленного металла, газы, сильный акустический эффект. Все вышеперечисленные факторы вызывают болезни либо отклонения в здоровье человека.

5.1 Производственная безопасность при плазменно-порошковой наплавке

Плазменная наплавка покрытий сопровождается наличием вредных и опасных производственных факторов, к числу которых относятся:

- высокая температура поверхностей материалов и оборудования;
- большая температура воздуха в зоне работы;

- чрезмерная величина напряжения электрической цепи, причем её замыкание может пройти через человека;

- высокая яркость света;

- высокий уровень ультрафиолетового излучения;

- много пыли и загазованности воздуха рабочей зоны;

- брызги, искры и выброс расплавленного металла;

5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Плазменно-порошковая наплавка должна выполняться в соответствии с требованиями по ГОСТ 12.3.039-85 ССБТ. «Плазменная обработка металлов. Требования безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 ФЗ-123 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность». Общие требования по ГОСТ 12.1.010-76 «Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность». Общие требования по ГОСТ 12.3.002-75 «Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные». А также в соответствии с санитарными правилами при сварке, резке и наплавке металлов, которые утверждены министерством здравоохранения.

Плазменная дуга — сильный источник лучистой энергии. Дуга излучает невидимые инфракрасные, видимые световые и невидимые ультрафиолетовые лучи. Являясь составными частями одного лучевого потока, эти лучи вызывают различные заболевания.

Невидимые инфракрасные лучи, особенно при длине волны от 0,00076 до 0,0015 мм и длительном облучении, вызывают общую потерю зрения. Это заболевание носит название катаракта хрусталика. При правильном подборе защитных стекол инфракрасные лучи полностью поглощаются.

Видимые световые лучи, имея длину волны от 0,00076 до 0,0004 мм, при кратковременном облучении действуют ослепляюще, а при длительном вызывают ослабление зрения. Это объясняется тем, что яркость видимых лучей электрической дуги больше примерно в 10 000 раз яркости лучей, которые могут быть переносимы без напряжения незащищенным глазом.

Ультрафиолетовые лучи, имея длину волны от 0,0004 до 0,00022 мм, даже при сравнительно кратковременном облучении (в течение нескольких минут) вызывают заболевание глаз. Это заболевание носит название светобоязнь и сопровождается острой болью и слезотечением. Светобоязнь при нормальном исходе проходит через 2—3 дня, не вызывая никаких последствий. Облучение ультрафиолетовыми лучами в течение 1—3 час. вызывает ожог кожи. Ожог кожи наблюдается, главным образом, у сборщиков и у работающих вблизи мест сварки. У сварщиков тело защищается во время работы одеждой, лицо и шея щитком, а руки рукавицами.

Для предупреждения ожогов кожи и заболевания глаз под действием лучей электрической дуги необходимо предусматривать, помимо индивидуальных средств защиты, общие средства. Эти общие средства должны надежно предохранять от лучей лиц, окружающих сварщика. К ним относятся: 1) кабины с дверями, закрытыми брезентовыми занавесками, в случае, когда сварочные работы ведутся на одном месте; 2) переносные щиты и ширмы, если сварочные работы носят временный характер.

5.1.2 Защита органов дыхания от сварочных аэрозолей

Наиболее опасным фактором при проведении сварочных работ является выделение сварочного аэрозоля в рабочей зоне. Так, по статистике, более половины профессиональных заболеваний сварщиков - это заболевания органов дыхания и различные патологии, связанные с вдыханием сварочного аэрозоля. Сварочный аэрозоль представляет собой совокупность мельчайших частиц, образовавшихся в результате конденсации паров расплавленного металла, обмазки электродов, содержимого порошковой проволоки или флюсов. Его состав зависит от состава сварочных и свариваемых материалов. В основном сварочный аэрозоль состоит из железа и его окислов, но в него могут также входить такие вещества и их соединения, как марганец, хром, никель, алюминий,

медь, цинк, фтор, кремний, азот и другие. Из-за собственных маленьких размеров (которые могут составлять менее 1 мкм) сварочный аэрозоль беспрепятственно проникает вглубь отделов легких и частично остается в их стенках, а далее всасывается в кровь. Если сварочный аэрозоль содержит значительное количество марганца, то, распространяясь по крови в организме, этот элемент может вызывать тяжелейшее заболевание, то есть марганцевую интоксикацию. При этом обычно страдает центральная нервная система, и изменения в организме носят необратимый характер. В настоящее время установлено, что компоненты сварочного аэрозоля могут увеличивать риск возникновения онкологических и сердечнососудистых заболеваний, а также могут уменьшить длительность жизни человека.

В соответствии с ГОСТ 12.3.003—75 средства индивидуальной защиты органов дыхания следует применять при отсутствии местных отсосов. В некоторых случаях местные вытяжные устройства не могут обеспечить требуемых параметров воздушной среды, поэтому также необходимо применение средств индивидуальной защиты органов дыхания.

Когда концентрации газов в зоне дыхания невелики, можно применять противопылевые респираторы. Практика показывает, что ткань респираторов можно применять для защиты от микробных, ядовитых и нетоксических пылей. Ткань отличается хорошими пылезадерживающими свойствами, обладает малой массой и небольшим сопротивлением дыханию.

Когда сварщик работает в условиях высоких концентраций не только аэрозоля, но и газов, следует пользоваться шланговыми противогазами с принудительной подачей воздуха. Недостатком применяемых для индивидуальной защиты органов дыхания шланговых

противогазов является отсутствие устройств для подогрева воздуха, что ограничивает возможность пользования ими в холодный период года, а также фильтров для очистки воздуха, загрязненного парами и туманами масла.

5.1.3 Защита от поражения электрическим током

При плазменно-порошковой наплавке используется сравнительно высокое напряжение, поэтому возможно поражение работающих электрическим током. При этом поражение может быть даже смертельным.

В связи с этим при плазменной сварке необходимо строго выполнять правила техники безопасности в отношении защиты от поражения электрическим током. Основные пункты этих правил следующие:

- сварочные провода на всей длине должны иметь надежную изоляцию. Их присоединение к контактными болтам клемных досок источников сварочного тока необходимо производить с помощью наконечников;

- плазмотрон должен быть снабжен изолированной рукояткой. Место крепления сварочного провода к держателю также должно быть надежно изолировано. Особенно тщательно следует изолировать части плазмотрона при работе в труднодоступных, а также в сырых местах и при повышенной температуре окружающего воздуха;

- сварщик не должен самостоятельно производить присоединение сварочной установки к силовой сети, постановку плавких вставок на щите силовой сети, отключать сварочную установку от сети, а также производить ремонт подключенной к сети установки. Все эти работы

должны выполняться электромонтерами с соблюдением общих электротехнических правил для силовых установок;

- спецодежда сварщика должна быть сухой и исправной. Куртка, брюки, фартук и рукавицы должны быть из брезента или сукна. Ботинки или кожаные сапоги должны иметь кожаную подошву, прикрепленную деревянными гвоздями. Резиновые подошвы ботинок и сапог должны быть приклеены путем горячей вулканизации или клеем;

- во время работы сварщик должен находиться на резиновом коврике, сухих деревянных досках, сухом асбесте или другой изоляционной подкладке;

- при работе в сухих помещениях лампы местного электрического освещения должны питаться током с напряжением не выше 36 В, а в сырых помещениях и закрытых сосудах не выше 12 В;

- при работах в сосудах, штольнях, коробках и других труднодоступных местах сварщик должен иметь подручного. Подручный в случае поражения сварщика током выключает сварочную установку и оказывает пострадавшему первую помощь;

- при сильном поражении электрическим током, когда пострадавший не подает признаков жизни, необходимо до прихода врача делать искусственное дыхание до тех пор, пока пострадавший не очнется. Для этого пострадавшего укладывают на спину, под лопатки подкладывают мягкий сверток так, чтобы голова была немного ниже туловища. Ворот, пояс должны быть расстегнуты, рот раскрыт, язык вытянут. При этом челюсти необходимо разжать куском дерева, деревянной рукояткой инструмента, куском текстолита. После этого оказывающий помощь становится со стороны головы пострадавшего берет руки около локтей, отводит их назад и в этом положении удерживает 2—3 секунды (вдох). Затем руки ведут к груди, прижимают к

ней, выдерживают в этом положении 2—3 секунды (выдох), снова отводят назад, повторяя ритмично указанные движения.

Выполнение указанных выше пунктов правил техники безопасности позволяет предохранить работающих от поражения электрическим током. При сварочных работах необходимо всегда помнить, что напряжение в сварочной цепи (особенно при холостом ходе) опасно для жизни человека. Эта опасность возрастает в случае, когда кожа человека влажная или повреждена.

5.1.4 Шумы и вибрации

Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.003-83 и санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых по линейной характеристике шумомера в активных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 2000, 4000, 8000Гц.

Борьба с вибрациями должна происходить в самом источнике возникновения. Это происходит при конструировании, а также изготовлении оборудования. Снижение уровня вибраций может быть достигнуто виброгашением, которое чаще реализуется путем установки вибрирующих агрегатов на самостоятельные виброгасящие основания (фундамент). Также используют динамическое гашение колебаний, вибродемпфирование и изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путем:

- Изоляции источников шумов;
- Проведения акустической обработки помещения;

- Создания дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок;

5.1.5 Недостаточное освещение

Сварщикам приходится выполнять операции, различающиеся по точности зрительной работы: разметку, сборку, чтение чертежей, сварку, контроль сварных соединений и др. Наличие источников повышенной яркости вызывает необходимость частой переадаптации зрения: каждый раз при переходе от вспомогательных операций, выполняемых без щитка, к сварке, выполняемой обязательно со щитком.

Создание высоких уровней освещенности мест сварки (порядка десятков тысяч люкс) с тем, чтобы все операции можно было выполнять со щитком, экономически не выгодно и практически сложно. Уровни освещенности для сварочных работ установлены в соответствии с действующими нормативными документами для люминесцентных ламп 150 лк, а для ламп накаливания 50 лк с учетом наличия в поле зрения самосветящихся элементов.

Характер технологических операций в сборочно-сварочных цехах (работа на нефиксированных местах) определяет целесообразность создания системы общего освещения, локализованного или равномерного общего использованием переносных светильников местного освещения. С учетом возможности использования газоразрядных источников света целесообразно повысить уровни освещенности при электросварочных работах до 500 лк при общем и местном освещении и до 300 лк при одном общем освещении.

Светильники, окна и световые фонари необходимо очищать по мере загрязнения (не реже одного раза в три месяца).

Окраску стен целесообразно выполнять специальными красками, обладающими высоким коэффициентом отражения для видимой части спектра и низким коэффициентом — для ультрафиолетовых лучей.

Правильно спроектированное освещение в производственных помещениях обеспечивает хорошую освещенность рабочей поверхности, а также рациональное направление света, при этом отсутствуют резкие тени и блики на поверхностях. Неправильное устройство освещения в производственном помещении может затруднить работу, вследствие чего повышается утомляемость, снижается производительность труда, а также это может стать причинами травматизма и глазных заболеваний. Если светильники и проводки подобраны неправильно, то это может стать причиной пожара.

5.1.6 Микроклимат

На производственный микроклимат установлены нормы системой стандартов безопасности труда по ГОСТу 12.1.005 – 88 «Общие санитарные и гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне».

Микроклимат помещений для лёгкой категории работ включает определённую температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. Нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Пб согласно СНиП 2.2.4. 548-96 см. в таблице 18.

Таблица 18 - Нормы метеорологических условий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °C						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °C					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	Не более 0,1	20-25	15-75	Не более 0,1	23-25	40-60	Не более 0,1	21-28	15-75	0,1-0,2

В настоящих нормах нормируется отдельно каждый компонент микроклимата в рабочей зоне производственного помещения: относительная влажность, температура, скорость воздуха в зависимости от способности человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды,

интенсивности производственной работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточно-вытяжной. Свежий воздух обычно подают в цех через общецеховую вентиляционную установку, а загрязненный воздух удаляют из цеха общецеховой вентиляцией, а также местными устройствами.

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местный отсос можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего».

Нередко источник выделения вредных веществ укрывают зонтом, под которым находится рабочий, что совершенно недопустимо, так как через зону дыхания в этом случае проходят все вредные вещества. Поэтому, на рабочих местах в зоне сварки нужно установить аппаратуру с отсасывающим поворотным рукавом.

Сварочные участки, сообщающиеся проемами со смежными помещениями, где не проводится сварка, должны иметь вытяжную вентиляцию с механическим побуждением.

Вредными основными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

В таблице 19 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей.

Таблица 19 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли
Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

В сварочных цехах на стационарных рабочих постах, а также, где это возможно, на нестационарных постах следует устанавливать местные отсосы.

В специальных помещениях или металлических шкафах для хранения баллонов со сжиженным газом должна быть предусмотрена естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений или шкафов.

Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами, составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшееся количество вредных веществ (10-20%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

5.2 Экологическая безопасность.

Под экологической безопасностью понимают комплекс организационно-технических мер, направленных на обеспечение соответствия природоохранной деятельности предприятия нормативным требованиям. В свете повышения уровня экологической ответственности безопасность предприятия для окружающей среды и населения в известной степени определяет его конкурентоспособность.

На предприятии используются люминесцентные лампы, которые содержат в себе опасные для организма человека вещества. Поэтому данные лампы следует утилизировать на специализированные предприятия.

А также на предприятии скапливается бытовой мусор, который необходимо вывозить для утилизации. Для этого необходимо составлять договоры на вывоз бытового мусора.

Так как работать приходится с металлом, то необходимо сдавать остатки металла в металлолом. Из-за выделения вредных веществ при сварке, необходимо использовать вентиляцию. С ее помощью можно добиться рассеивания воздуха в помещении. Используется вентиляция, которая по коммуникациям будет выдувать воздух на улицу. Выбросы воздуха из-за малых концентраций вредных веществ специально не очищаются.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Сварщик обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться. Применение инвентаря пожаротушения для других целей запрещается.

Во время работы нельзя допускать попадания искр расплавленного металла и выбрасывать электродные огарки на сгораемые конструкции и материалы. Для огарков необходимо иметь несгораемый ящик.

В помещениях, где производят сварку, запрещается хранить сгораемые и огнеопасные материалы. Если в помещении применяют (или ранее применяли) растворители и другие легкосгораемые воспламеняющиеся материалы, то сварку можно производить только с разрешения администрации и по согласованию с пожарной охраной.

На месте проведения сварочных работ опасными факторами пожара являются: открытый огонь (плазменная дуга, пламя плазменной резки); искры и частицы расплавленного порошка, которые возникают при плазменной сварке; повышенная температура изделий, которые подвергаются наплавке.

Травмы от пожаров могут возникнуть от воспламенения горючих материалов, находящихся вблизи мест производства сварочных и газорезательных работ, а также от неисправного состояния электрической проводки.

Причинами пожаров технического характера на месте проведения сварочных работ являются: неисправность электрооборудования (короткое замыкание, перегрузки и большие переходные сопротивления); плохая подготовка оборудования к ремонту; несоблюдение графика планового ремонта; износ и коррозия оборудования и т. д. Причинами пожаров организационного характера являются: небрежное отношение с открытыми источниками огня, неправильное хранение пожароопасных веществ; несоблюдение правил пожарной безопасности и т. д.

Согласно «Правилам пожарной безопасности на месте проведения сварочных работ» предусматривается комплекс мероприятий по пожарной безопасности, обеспечивающих снижение опасности возникновения пожара и создание условий быстрой ликвидации пожара на месте проведения сварочных работ. Предусмотренные на строительном-монтажной площадке мероприятия, устраняющие причины возникновения пожаров, подразделяются на организационные, эксплуатационные, технические и режимные.

К организационным мероприятиям относятся: обучение рабочих сварщиков (резчиков) противопожарным правилам, проведение бесед, инструкций, организация добровольных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности.

К эксплуатационным мероприятиям относятся; правильная эксплуатация, профилактические ремонты, осмотры и испытания сварочного оборудования и устройств и т. д.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных норм и правил при устройстве и установке сварочного оборудования, систем вентиляции, подвода электропроводки, защитного заземления, зануления и отключения.

К режимным мероприятиям относятся: запрещение курения в неустановленных местах, проведение сварочных и других огневых работ в пожароопасных местах.

Пожарную технику согласно ГОСТ 12.4-009—83*, предназначенную для защиты места проведения сварочных работ, подразделяют на следующие группы, пожарные машины (автомобили, мотопомпы и прицепы); установки пожаротушения; установки пожарной сигнализации; огнетушители; пожарное оборудование; пожарный ручной инвентарь; пожарные спасательные устройства.

К ручным огнетушителям относятся пенные, углекислые, углекислотно-бромэтиловые и порошковые.

Огнетушитель химический пенный ОХП-Ю предназначен для тушения пожаров химической пеной, которая образуется в результате воздействия щелочной и кислотной частей заряда.

Огнетушитель ручной углекислотный ОУ-2 предназначен для тушения очага горения различных веществ (за исключением тех, которые могут гореть без доступа воздуха) и электроустановок, находящихся под напряжением.

Для приведения в действие раструб огнетушителя направляют на очаг горения и поворачивают маховичок вентиля до упора.

Углекислотно-бромэтиловые огнетушители предназначены для тушения горячих твердых и жидких металлов, а также электроустановок, находящихся под напряжением.

Порошковые огнетушители предназначены для тушения небольших очагов загораний щелочных металлов, кремнийорганических соединений.

5.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности.

К сварочным работам под руководством инструктора допускаются учащиеся не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж по охране труда, медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний по состоянию здоровья. Длительность рабочего дня сварщика при работе в особо вредных условиях ограничена шестью часами. Сварщикам предоставляется дополнительный отпуск.

Обучающиеся должны соблюдать правила внутреннего распорядка учебного заведения, расписание занятий, установленный режим труда и отдыха.

За каждым учащимся в учебных лабораториях закрепляется постоянное рабочее место.

Сварочные работы производятся в присутствии научного руководителя, под его постоянным руководством и наблюдением.

Допустимая продолжительность работ в учебных лабораториях не превышает 3ч в день.

При работе на сварочном оборудовании необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

О несчастном случае следует уведомить научного руководителя, который сообщает об этом администрации учреждения.

При неисправности оборудования необходимо прекратить работу и поставить об этом в известность научного руководителя.

В процессе работы следует соблюдать правила ношения спецодежды, пользования индивидуальными и коллективными средствами защиты, соблюдать правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место.

При невыполнении или нарушении инструкции по охране труда учащиеся привлекаются к ответственности, а со всеми обучающимися проводится внеплановый инструктаж по охране труда.

Ответственность за охрану труда, общее состояние техники безопасности и производственной санитарии возлагается на руководителей лабораториями.

Сварщик, приступая к работе, должен проверить наличие и исправность оборудования, заземляющих устройств, защитных ограждений и приспособлений.

Сварщик и подсобный рабочий обязаны содержать в чистоте и порядке рабочее место, не загромождать проходы и проезды, складывать заготовки и готовые изделия в отведенных местах.

Сварщику и подсобному рабочему запрещается:

- касаться электропроводки и корпусов работающих электродвигателей, установленных на оборудовании;
- самостоятельно подключать сварочное оборудование к электрической сети;
- стоять под поднятым и перемещаемым грузом;

- производить работы, курить в цехах, на рабочем месте и на участках, где применяют и хранят легковоспламеняющиеся материалы и газы.

Сварщик обязан знать правила и приемы оказания первой помощи пострадавшему.

После выполнения сварочных работ сварщик обязан:

- отключить сварочную аппаратуру от сети;
- отсоединить провод с электродержателем от сварочного оборудования и убрать их для хранения в специально отведенное место;

- тщательно осмотреть рабочее место и принять меры, исключающие возможность возникновения очага пожара;

- в случае возникновения пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации очага возгорания имеющимися средствами;

- очистить стекло, защищающее светофильтр шлем-маски (щиток) от брызг металла, убрать инструмент и защитные средства в отведенное для хранения место.

Заклучение

Проведен анализ износостойких свойств покрытий, полученных плазменной наплавкой порошком Пр-Х18ФНМ, и покрытий, сформированных ручной дуговой наплавкой электродами Т-590.

В результате лабораторных исследований износостойкость покрытий, полученных плазменно-порошковой наплавкой, выше чему покрытий, сформированных ручной дуговой наплавкой.

При производственных испытаниях в лопасть рабочего колеса мельничного вентилятора вварили пластину, с четырьмя валиками, наплавленными плазменной наплавкой порошком Пр-Х18ФНМ. За год эксплуатации покрытие изнашивалось всего на 0,3-0,6 мм, тогда как покрытие, выполненной ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами Т-590, изнашивалось на 3-4 мм.

Потому замена технологии наплавки на производстве, позволит увеличить срок эксплуатации лопастей рабочего колеса мельничного вентилятора и уменьшить количество ремонтов.

Также исследован механизм газообразного изнашивания Fe-Cr-V-Mo-Спокрытий. При малых углах атаки карбидная фаза защищает матрицу от разрушения, тем самым уменьшая износ. Карбиды ванадия ввиду своей твердости не могут быть разрушены и поэтому в результате продолжительного изнашивания они вырываются с рабочей поверхности. Эвтектика карбида M_7C_3 из-за своего скелетообразного строения не может быть вырвана с поверхности и потому она разрушается аналогично матрице, но при этом она все равно оказывает защитный эффект на матрицу.

Список использованных источников

1. Шерстюк А.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Учебное пособие для вузов– М.: высшая школа, 1972. – 344 с.
2. Сорокин Г.М., Ефремов А.П. Коррозионно-механическое изнашивание сталей и сплавов. – М.: Нефть и газ. 2002. – 419 с.
3. Жудра А.П. Исследование износостойкости композиционных сплавов в условиях газоабразивного износа при повышенных температурах // Автоматическая сварка. - 2014. - №11. - С. 31-33.
4. Прибытков Г.А., Полев И.В., Батаев В.А., Иванов М.Б. Структура и абразивная износостойкость композитов тугоплавкий карбид – металлическая матрица // Физическая мезомеханика. – 2004. - №7. – С. 419-422.
5. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. – М.: Машиностроение, 1976. – 270 с.
6. Воробьев В.В., Малинов В.Л. Сплавы и материалы для наплавки контактных поверхностей уравнительных клапанов // ВІСНИК Донбаськоїдержавноїмашинобудівноїакадемії. – 2010. - №2. – С. 64-68.
7. Шеенко И. Н. Современные наплавочные материалы на основе тугоплавких соединений / И. Н. Шеенко, В. Д. Орешкин, Ю. Д. Репкинко. – К.: Наук. думка, 1970. – 238 с.
8. Юзвенко Ю. А. Сплавы на основе карбидов хрома для механизированной наплавки / Ю. А. Юзвенко, М. А. Пащенко // Автоматическая сварка. – 1969. – № 3 – С. 24–29.
9. Попов С. Н. Наплавочные материалы системы Fe-C-Cr-V для защиты деталей, работающих в условиях интенсивного газоабразивного и абразивного изнашивания / С. Н. Попов, А. А. Митяев // Повышение надежности и долговечности деталей машин и конструкций. – Киев: УМКВО, 1988. – С. 8–11.
10. Крупич Б. Газоабразивное изнашивание вентиляторов и трубопроводов. Автореферат диссертации – Гомель, 2004. – 40 с.

11. Похмурский В.И., Студент М.М. Газоабразивная износостойкость при повышенных температурах покрытий, полученных дуговой металлизацией // Автоматическая сварка. – 2013. - №6. – С. 16-23.
12. Малинов В. Л. Новые порошковые ленты для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного и газоабразивного воздействия / В. Л. Малинов, В. В. Чигарев, В. В. Воробьев // Захистметалургійних машин від поломок: зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2012. – Вип.14. – С. 252-258.
13. Muboyadzhyan S.A. Erosion-Resistant Coatings for Gas Turbine Compressor Blades // Russian Metallurgy. – 2009. - №3. –P. 183-196
14. Student M.M., Pokhmurs'ka H.V., Hvozdet's'kyi V.V. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings // Materials Science. – 2009. – vol. 45. - № 4. –P. 481-489
15. Juan R. Laguna-Camacho, Vite-Torres M. Solid Particle Erosion on Different Metallic Materials // Tribology in engineering. – 2013. P. 63-78.
16. Venkataraman B. & Sundararajan G., the Solid Particle Erosion of Copper at Very Low Impact Velocities, Wear 1989; 135, 95-108.
17. Ambrosini L. & Bahadur S., Erosion of AISI 4140 Steel, Wear 1987; 117, 37-48.
18. Harsha A. P. & Deepak Kumar Bhaskar, Solid Particle Erosion Behavior of Ferrous and Non-ferrous Materials and Correlation of Erosion Data with Erosion Models, Materials and Design 2008; 29, 1745-1754.
19. Hutchings I. M., Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, London, Edward Arnold; 1992.
20. Morrison C.T. & Scattergood R. O., Erosion of 304 stainless steel, Wear 1986; 111-113.
21. Levy A. V. & Chik P., the Effects of Erodent Composition and Shape on the Erosion of Steel, Wear 1983; 89, 151-162.
22. Liebhard M. & Levy A., The Effect of Erodent Particle Characteristics on the Erosion of Metals, Wear 1991; 151, 381-390

Раздел 1
Literaturereview

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ41	Майтаков Максим Юрьевич		

Консультант кафедры ОТСП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мыльникова Татьяна Степановна			

1 Literature review

1.1 Mill fans and exhausters

1.1.1 Characteristics of fans and exhausters

Exhausters are used for flue gas from the suction flue boiler and release them through the chimney into the atmosphere. The steam generators running on coal dust in coal pulverization mill includes fans, which are taken out of the air cyclone fines and pulverized coal is supplied to the mixture of dust feeders, and then - in the furnace of the steam generator. So how to develop the sucker and mill ventilators and pressure is low, they are not much different from ordinary fans, for example, by blowing fans, feeding air into the furnace of the steam generator. [1]

However, the working conditions of flue-gas pumps and fans mill stand with two features that affects the design of these machines and their calculation.

The first feature - increased temperature of the working fluid: gas temperature Exhauster is (390-450) K, and the temperature in the mill fans exceeds 320 K. The heat turns the shaft bearings and the oil is heating above the permissible value. A simple way is to cool the bearing tube entering transmissive water in oil bath bearing housing. Oil from the bearing lubricant bath via rings fall into the gap between the insert and the neck of the shaft. Oil, heated in the bearings flows in the bath and removes heat of [1].

The second feature - working fluid in the presence of solid impurities in the flue gases, fly ash and coal dust in the air. Ash and coal dust wear out the working blade wheels and the volute wall. This leads to an unbalance of the impeller, a loss of strength, and reduce maintenance periods to drop efficiency of the plant. Because the manufacture and in-service smoke exhausts and mill fans are taking special measures to reduce wear. As protection measures are used removable protective sheets of solid

materials. Sheets booked fans and flues housing in places where the flow changes direction and causes the fall of the abrasive particles on the surface [1].

The mill fans there is a need to take special measures to prevent coal dust into the bearing.

1.1.2 Deterioration of fan blades and smoke exhausters

The proper arrangement of flow chamber and flues machine system that can reduce or prevent ingress of coal dust on internal surfaces which restrict the flow, reducing wear.

Depreciation of mill ventilators and smoke exhausts depends on the speed. If supply and pressure are given, it is necessary to reduce the speed of the impeller. But the size of the machine at the same time will be increased. Friction abrasive particles distributed over a greater surface wear is significantly reduced [1].

During the gas flow with the dust through the impeller, the flow of particulate changes direction from axial to radial. Abrasive particles resulting from centrifugal forces and fall on the primary drive sleeve, wearing them. The stream crossing a rotating lattice blades, leading them to destruction [1].

Impossible to completely prevent wear. Therefore, wear reduction is achieved by welding the solid metal in areas subject to wear. This period of service of the impeller is increased by several times.

1.2 The materials used for manufacturing and hardening of parts, working in conditions of gas-abrasive wear

In [3] conducted research on gas-abrasive wear of alloys based on fused tungsten carbides WC + W₂C (relit). The samples were plasma-powder is fused by

composite alloys in a single layer. The samples used in composite alloys, consisting of spherical granules of tungsten carbide matrix and Ni-Cr-Si-B. The authors concluded that the wear of the tungsten-based alloys processed immaterial carbides depend on the properties of the matrix and the hardness at low angles of attack (15 °).

At room temperature conditions, the wear resistance alloys Ni-Cr-Si-B alloys wear resistance compared with C-Cr-Ni-Si-Mn. In the first case the wear resistance exceeds 2.7 times. But the wear resistance at high temperatures is significantly reduced [3].

Spherical granules vanadium carbide as the reinforcing phase increases the wear resistance of composite alloys by 10-12% compared with crushed carbide. Carbides in wear have a shadow effect, while protecting the matrix [3].

In [6] reviewed surfacing materials resistant to the effects of gas-abrasive. When surfacing contact surfaces equalization valves blast furnaces are widely used PL-AN powder tape 111. The tape has high operational and technological properties, but it is very expensive, because during its manufacture uses the shell of nickel tape. Therefore, the authors of this work suggested replacing tape PL-111 AN filler based on iron, focusing on the type of high chrome cast iron alloys doped with strong carbide forming elements (V, Nb, W, Mo).

At the same time, to improve the gas-abrasive wear resistance is required to provide the content in the weld metal carbide hardening phase at least 30-35% and a small amount of cracks. This is done to create surfacing materials based on nickel matrix reinforced with carbides [7,8].

Under the conditions of gas-abrasive wear cracks in the deposited layer may be the foci of destruction and "blowing". The amount of cracking and their direction determined by the surfacing technology. Cracks at angles of 0-30 ° with respect to the gas flow must not have the opening width of 0.05 mm, and the angles of 30 ° -. 0,1 mm [6].

It was established [6] that the increase in gas-abrasive wear resistance of weld metal provided by doping it with boron in an amount of 3-5%. For deposition of the contact surfaces equalization valves find application cored wire PP-AN 170 (PP-H 80H20R3T). The content of the hardening phase karboboridnoy to 40%. The tendency of the deposited metal to cracking - high. Upon doping with boron (3.5%) is strongly reduced plastic properties, which leads to an increase in fractures, their magnitude and spalling disclosure. Machining due to high hardness and brittleness of the deposited layer is difficult.

The authors of [9] developed alloy system Fe-C-Cr-B-V with low boron content (1.8-2.2% B) and additionally doped with vanadium (1,5-2% V). Such a weld metal has a slightly higher ductility. Tests metal cored weld PP 260H14R2F2N3 showed that its durability is 1.5-1.8 times higher than when using PP-AN 170. However, this welding wire is also not widely used due to insufficient weld cracking resistance layer.

The following principles for the development of filler material on the iron base can be formulated on the basis of these experiments.

Due to strong carbide forming alloying elements (V, Nb, W, Mo, Ti) can be enhanced gas-abrasive wear resistance of the deposited metal. Carbide phase in such alloys has increased hardness and a more rounded shape. This provides improved wear resistance due to modification of the weld metal [9].

The structure of the weld metal to avoid the formation of brittle martensite, austenite by alloying elements (Ni, Cu, Mn) [6].

Hardness of weld metal should be relatively low HRC 48-54. When the hardness of the metal more fragile, difficult grinding process. There is a "breaking" the edges of cracks present in the weld metal [6].

To further improve the wear resistance effect can be used precipitation hardening the weld metal during the heat treatment (annealing), typically used for stress relief after welding, as well as during operation [6].

Studies [13] OT4-1 coated samples (chemical composition in wt%:.. Up to 0,3 Fe, up to 0,1 C, up to 0,15 Si, 0,7-2 Mn, up to 0,05 N, 94,1-98,3 Ti, 1-2,5 Al) and alloys EP718ID (HN45MVTYUBR-ID) and EI961 steel (13H11N2V2MF) in the gas-abrasive wear showed that the wear results depend on the angle of attack. When $\alpha = 70^\circ$ wear is more intense than tangential flow with $\alpha = 20^\circ$. However, OT4-1 titanium alloy coatings based on TiN, ZrN, VN and VC shows the inverse relationship: gas abrasion wear more intensively at a small angle of attack. Character sample damage depends on the alloy composition and the type of the composite coating.

ER-7 and EK-7 multi-layer coatings, which were developed at the plant of the Ural Civil Aviation and are intended to protect the compressor blades on the repair and TV2-117 TV3-117 the GTE helicopter, also have low resistance to erosion. Also studied VT8-1 titanium alloy EI961 steel with ER-7 and EK-7 coated on the gas-abrasive wear. The results show that the erosion resistance of the ER-7 and 7 EK-coating greatly depends on the particle size of the erosion medium and angle of attack. For example, in the case of silica sand with a mean particle size of 240 microns at an angle of incidence $\alpha = 70^\circ$, both coatings (ER-7, EK-7) they show insufficient resistance to scouring action dusty stream. At an angle of incidence $\alpha = 20^\circ$, the protective effect of the coatings is substantially higher. The relative wear resistance is reduced as compared to 1.5-2.5 with wear uncoated base material. ER-erosion resistance of the coating 7 is slightly higher than that of the coating EK-7 [13].

Among the multi-layer coatings, high resistance to gas-abrasive wear of materials are:

(A) VN, VC, Cr₃C₂, ZrN and TiN, titanium matrix;

(B) Cr₃C₂, VN, TiC a steel matrix.

Tests show that the gas-abrasive wear resistance is significantly dependent on the thickness of the coating [13].

In [14] compared the wear resistance of coatings based on Fe-Cr-B-Al 12H1MF with steel, which is used in the thermal power plant to protect the boilers.

Because a substantial porosity coatings applied electric flux cored wire of gas-abrasive wear resistance at room temperature of less than 12H1MF steel whose hardness is 400 HV. Cracks appear in coatings with higher hardness due to the presence of significant tensile stresses generated in the spraying process (higher than 100 MPa) and has a negative effect on coating durability. Thus, wear resistance of the coating Fe-Cr-B-Al system (12% Al) with a hardness of 560 HV close to the analyzed durability steel. At the same time, the wear resistance with 2% Al and the hardness of 930 HV twice below [14].

At higher test temperatures, coating weight loss is reduced (compared to steel) and the wear resistance becomes higher, even at 400 ° C. The weight loss as a result of steel gas-abrasive wear is a function of increasing temperature for all the angles of incidence of the abrasive particles. This can be explained by the formation of a thicker film of iron oxides (easily degradable abrasive) on the steel surface [14].

At temperatures above 400 ° C, the recrystallization process begins and microcracks in the coating or partial network is completely filled with gas products of corrosion. This reduces the tensile stress or even lead to the formation of compressive stresses, thereby improving durability of the coating [14].

If the angle of incidence of the abrasive particles is 30 °, the surface is chemically homogeneous coating wears evenly. On chemically heterogeneous surface coverings, revealed the presence of irregularities. According to spectral analysis, they form solid phases of iron borides doped with chromium [14].

In the process of gas-abrasive wear at room temperature, the coating wear out as a result of cracks (or existing crack propagation) and the ejection surfaces visible fragments in both the bulk and along the direction of flow [14].

During the high gas-abrasive wear coating slightly worn because iron oxide Fe₂O₃ film. At temperatures of 300 - 600 ° C, impact fragments Sg₂O₃ oxide films

and Al₂O₃ are formed mainly on the surface as well as between wells in the coating [14].

At higher test temperatures, cracks in the coatings filled with corrosion products (iron alloyed with chromium and aluminum oxides) that tends to equalize wear csoprotivleniyu homogeneous and heterogeneous coating [14].

In [16-22], the studies on gas-abrasive wear of materials such as aluminum, brass, mild and stainless steel.

6061 showed increased resistance to erosion, while the stainless steel 304 and 316 showed the worst performance during wear. It was assumed that the indoor temperature can affect the behavior of these materials.

Most of the materials exhibit plastic deformation due to erosion of the maximum speed, which was reached at lower angles of attack (30 ° and 45 °). The erosion rate is significantly decreased at higher angles of attack (60 °, 75 ° and 90 °). Stainless steel 304 and 316 had a higher damage from erosion at 60 ° C.

Typical wear mechanisms, such as friability, irregular dents, scratches, craters, brittle fracture, characterized by cracks located at random locations on the sample surface in this study [16].

Wear scar elliptical shape formed at 30 ° and 45 °, which is a characteristic feature, when the samples are exposed at low angles of attack ($\alpha \leq 45^\circ$), while almost round shape was observed at 60 ° C and 90 ° [15] .

1.3 The nature of the destruction of materials in gas-abrasive wear

The mechanism, pattern and picture of gas-abrasive or erosive wear are the most complex of all kinds of wear. Erosion wear is characterized by an abrasive

particle impact force directed at an angle to the surface. This angle is called angle of attack and varies from 0 to 90 °.

Factors determining the wear value: angle of attack, flight speed of particle, its shape, size and hardness, and material properties. Abrasive particles acts on the surface together with the adjacent forming gas or air stream. The strike zone the complex process of wear. It is difficult to single out one of abrasive particles and see its trajectory [2].

In this regard, all the experimental data is averaged picture action of moving particles and eventually individually influencing the wear surface. Part of the particles impinge on the wear surface without changing the speed and trajectory, and part is displaced adjacent particles, before reaching the impingement surface [2].

The part that reaches the collision zone is called the "working" and it is only a certain fraction of the total flow. In the study of gas-abrasive wear, scientists focus their attention on "workers" particles. In this regard, the greater the density of the abrasive stream the more complex end collision act [2].

The angle of attack and flow rate - the main factors of the power impact of individual particles on the surface of wear.

At small angles of attack $\alpha = 15 \dots 30^\circ$ wear on the relief surface are clearly visible risk-oriented in the flow direction and having a recess in the impact zone. At the moment of impact, the metal is squeezed and deformed. Upon further movement of the particles takes place microcutting. Each hole has its own shape, depth and area. At the initial moment of impact, the width and depth of the wells the maximum, as the dimensions are reduced movement. Hole has kometovidnuyu form [2].

When the angle of attack $\alpha = 45^\circ$ the wells become deeper and less extended, but it is still possible to discern the direction of the flow of abrasive particles [2].

When the angle of attack $\alpha = 90^\circ$ the picture changes. Particle Flow does blow over the surface without moving through it. The shape and dimensions of the

wells determined by the rate and particle size, and hardness, toughness, strength and brittleness of the material [2].

During gas-abrasive wear is shown hardening [2]. Its volume, depth, hardness increment the numerical value dependent on the source of the metal structure, the flow velocity and angle of attack. It provokes a hardening inversion normalized wear and solid hardened steels in the transition from small angles of attack to direct.

Work hardening is not always a positive thing, because it can cause embrittlement and increase wear by chipping. Under these conditions, the solid and brittle phase in the metal structure subsequently acts flux "washed" particles of a viscous matrix in which they are fixed. Due to the lack of secondary cementite they wear above doevtetoidnyh steels than in hypereutectoid. Another negative effect of impact - is a dynamic factor. It is known that the destruction of the metal is accelerated by force effects, especially when worn.