

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные

(наименование кафедры)

процессы»

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Оборудование и технология сварочного производства

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Технология восстановления коленвала ДВС газотермическим
напылением

Студент

В.С. Аргунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Л. Федоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

П.А. Корчагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.М. Сярдова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов путем продления срока службы изношенных коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Подобран материал для напыления, обеспечивающий заданные физико-механические характеристики наносимого покрытия
2. Разработан технологический процесс наплавки вала коленчатого
3. Подобрано оборудование для реализации данного технологического процесса и скомпоновано на производственном участке.
4. Предусмотрены мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала.
5. Произведена экономическая оценка мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

Пояснительная записка содержит _66_ стр., __8__ рисунков, _10__ таблиц.

Для повышения срока службы конвейеров предложено восстанавливать изношенные поверхности деталей, наиболее подверженных износу. Анализ способов восстановления показал, что наиболее эффективно для данного класса изделий применение наплавки. Разработана технология наплавки. Подобрано соответствующее оборудование.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| 1 Анализ исходных данных и известных технических решений..... | 7 |
| 1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации | 7 |
| 1.2 Анализ свойств материала конструкции | 8 |
| 1.3 Базовый технологический процесс восстановления вала..... | 11 |
| 1.4 Анализ возможных способов восстановления изношенных поверхностей вала | 14 |
| 1.5 Задачи работы..... | 29 |
| 2 Разработка технологического процесса восстановления..... | 30 |
| 2.1 Выбор материала для напыления. | 30 |
| 3 Оборудование для реализации разработанной технологии..... | 35 |
| 3.1. Моечная машина ММА1. | 35 |
| 3.2 Плазматрон | 36 |
| 3.3. Установка для напыления | 37 |
| 4 Безопасность и экологичность бакалаврской работы. | 39 |
| 4.1 Описание и характеристика разработанного технического объекта. | 39 |
| 4.2 Риски, сопровождающие технологию газотермического напыления ... | 39 |
| 4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков | 40 |
| 4.4. Мероприятия по пожарной безопасности участка напыления..... | 41 |
| 4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта..... | 43 |
| Заключение по разделу | 45 |
| 5 Экономическая эффективность проекта..... | 46 |
| 5.1 Исходные данные для экономического обоснования | 47 |
| сравниваемых вариантов | 47 |
| 5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса..... | 48 |

| | |
|--|----|
| 5.3 Расчет затрат на новое оборудование | 49 |
| 5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений..... | 60 |
| 5.6 Выводы по разделу..... | 61 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 62 |

ВВЕДЕНИЕ

Акционерное Общество «РОССКАТ» ориентировано на изготовление высококачественной медной катанки и ее дальнейшую переработку. Необходимо отметить, что производство указанной продукции выполняется при непосредственном применении такой обработки материалов, как давление. При производстве катанки различного назначения применяется процесс волочения в монолитной волоке.

Однако в АО «РОССКАТ» применяются и сварочные процессы и родственные им процессы. Но применяются во вспомогательных производствах. Дело в том, что технологический цикл производства перечисленной продукции обеспечивает комплекс оборудования.

Первоначально брикетированный медный лом подвергается огневому рафинированию на импортном, Германия, оборудовании. На предприятии установлены две отражательные поворотные печи фирмы «ANDRITZ MAERZ» и финская разливочная карусельная машина.

Получаемые после разливки плоские слитки поступают на операцию электролитического рафинирования или сразу на производство медной катанки. На производстве медной катанки в шахтной газовой печи расплавляют медь после огневого рафинирования и/или медь после электролитического рафинирования. Пройдя через шлакосборник, медь очищается от шлака, окиси и других примесей. Очищенная медь поступает в миксер, где она перемешивается до однородного состава.

После чего разливается на заготовки и после подготовительных операций в девятиклетьевом прокатном стане заготовки обжимаются валками до диаметра 8-18 мм. Так получается катанка.

Не менее впечатляющий комплекс оборудования задействован в кабельном производстве.

В процессе эксплуатации основного производственного оборудования происходят различного рода поломки и износ отдельных его деталей.

Поэтому во вспомогательных производствах для аварийного и планово-предупредительного ремонта деталей перечисленного оборудования и восстановления изношенных деталей используются технологии сварки и родственные технологии,

Используемая при производстве волок металлокерамика обладает исключительно высокими механическими свойствами. Однако условия эксплуатации столь напряженные, что износ волок происходит достаточно быстро. Восстановление изношенных поверхностей волок является сложной задачей. Однако актуальность ее возрастает, так как наш партнер, ОАО Кировградский завод твердых сплавов, повышает цены на свою продукцию.

Для восстановления изношенных поверхностей волок рекомендованы технологии напыления. Однако технологией напыления можно восстанавливать и другие изношенные детали, в частности валы двигателей внутреннего сгорания.

Цель настоящей работы экономия материальных ресурсов путем продления срока службы изношенных коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания.

1 Анализ исходных данных и известных технических решений

1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

Общий вид коленчатого вала двигателя автомобиля КАМАЗ показан на рис. 1.1. Длина коленчатого вала 547 мм. Максимальный диаметр составляет 140 мм. Материал вала среднеуглеродистая сталь 65Г.

В таблице 1.1 и таблице 1.2 приведены данные по содержанию химических компонентов в данной стали и ее механическим свойствам, соответственно.

В процессе работы на коленчатый вал действуют знакопеременные изгибающие и скручивающие силы. Для предупреждения усталостного разрушения вала на переходах между шатунными шейками и щеками, сопряжение между ними делают слегка закруглённым.

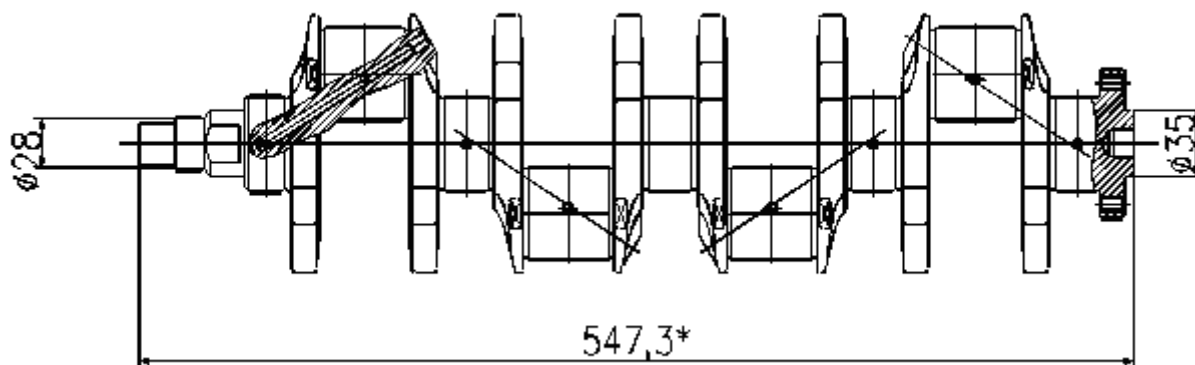


Рисунок 1.1 – Общий вид изделия

При нормальной работе двигателя происходит постепенный износ коренных и шатунных шеек коленчатого вала, а так же подшипников скольжения (вкладышей). Между ними создается достаточно тонкая масляная пленка за счет подачи масла масляным насосом двигателя под давлением. С течением времени зазор между вкладышем и шейкой становится больше, а это значит уменьшение давления и снижение качества

масляной плёнки. Шейка с большим усилием задевает за вкладыш, износ увеличивается, давление снова уменьшается, наступает момент, когда дальнейшая работа невозможна. Диагностическим параметром степени износа шеек коленчатого вала является давление масла. Традиционно ремонт изношенного вала выполняют перешлифовывая изношенные шейки до достижения нового ремонтного размера. Поскольку материал вала, сталь 65 обладает высокой твердостью, что обусловлено необходимостью обеспечения высоких антифрикционных характеристик, для обработки шеек применяют шлифование.

Однако перешлифовывать изношенные шейки допускается до определенного предела. Применительно к данному валу величина уменьшения диаметра не может быть более 4 мм. Дальнейшее уменьшение диаметра приводит к полному удалению закаленного слоя и снижению жесткости выше допустимого

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов стали марки 65Г в %, согласно ГОСТ 19282-73

| Углерод | Кремний | Марганец | Хром | Медь | Никель | Сера | Фосфор |
|---------|---------|----------|--------|----------|--------|------|--------|
| | | | | Не более | | | |
| До 0,7 | 0,3-0,4 | 0,8-1,2 | До 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,04 | 0,035 |

Таблица 1.2 - Механические свойства стали 65Г

| Временное сопротивление, σ_B МПа | Предел текучести, σ_T МПа | Относительное удлинение, δ_0 , % |
|--|-------------------------------------|--|
| Не менее | | |
| 670 | 425 | 12 |

После чего коленвал или выводят из эксплуатации или восстанавливают.

1.2 Анализ свойств материала конструкции

Базовая технология восстановления вала, применяемая на авторемонтных предприятиях предусматривает дуговую наплавку слоя

толщиной компенсирующего износ. Поэтому важным свойством материала данной детали является его способность обрабатываться дуговыми способами, т.н. свариваемость [4].

Оценка свариваемости нужна для обоснованного выбора способа сварки, присадочных материалов и режимов сварки изделия необходима предварительная оценка свариваемости его материала. Методикам оценки свариваемости посвящены как отечественные, ГОСТ 29273–92, так и зарубежные, ИСО 581–80, стандарты.

Следует отметить, что принципиальный подход в оценке свариваемости совпадает и в отечественных и зарубежных стандартах. Его основу составляет комплексность в подходе, а именно, свариваемость зависит от множества факторов. Выделяют следующие четыре фактора, от которых зависит свариваемость. Первый фактор – это материал, его химический состав и, соответственно, свойства. Вторым фактором – технология сварки. К третьему фактору относят тип сварной конструкции. И четвертым фактором – функциональное назначение конструкции.

Таким образом, заданный материал обладает свариваемостью, если при данном технологическом процессе сварки конструкции удастся получить соединение, которое отвечает техническим требованиям, предъявляемым к данному изделию.

Технические требования на данное изделие сформулированы в документации на его производство. Понятное дело, что разные сварные металлоконструкции эксплуатируются в разных условиях и требования к ним разные. Если из всего перечня эксплуатационных показателей, предъявляемых к сварной конструкции хотя бы один не достигается, при данном способе сварки, то материал не обладает свариваемостью. Однако применив другой способ сварки можно обеспечить достижение заданных значений всех эксплуатационных показателей, следовательно, при данном способе сварки материал будет обладать свариваемостью.

Поэтому анализируя свариваемость, исходя из указанных ранее факторов оценки, можно получить разные значения свариваемости.

Материал, соединенный одним способом сварки для изделия в одних условиях эксплуатации может быть признан обладающим свариваемостью, а для других условий эксплуатации может быть признан не обладающим свариваемостью.

Материал, соединение которого одним способом сварки получить не удается, другим способом успешно соединяется.

Конструкция сварного соединения и его местоположение на металлоконструкции может быть таким, что соединение, отвечающее заданным условиям эксплуатации получено не может быть. В то же время, другой тип соединения, выполненный тем же способом сварки обеспечит получение соединения, отвечающего заданным условиям эксплуатации. Следовательно, материал свариваемостью обладает.

Для количественной оценки свариваемости производят вычисления по формулам, главным в которых является учет содержания химических элементов. Например, при расчете по соответствующей формуле свариваемости низкоуглеродистой низколегированной стали принимают во внимание содержание в стали таких химических элементов, как С, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V, P. В зависимости от содержания перечисленных элементов выполняется расчет углеродного эквивалента. Формула, по которой можно рассчитать эквивалент углерода для таких сталей выглядит следующим образом [9]:

$$C_{\text{э}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{V}}{14} + \frac{\text{P}}{2},$$

После того, как определено численное значение эквивалента углерода начинается анализ его значений. Если полученные значения эквивалента углерода не превышают 0,25 данная сталь, а речь идет о низкоуглеродистой низколегированной стали, считается хорошо сваривающейся. Если значение эквивалента углерода превышает 0,25 но менее 0,35 то сталь считается удовлетворительно сваривающейся. Такие стали мало склонны к

образованию холодных трещин, в ряде случаев требуется предварительный подогрев изделия. При значениях эквивалента углерода превышающих 0,35 но менее 0,45 то сталь считается ограниченно свариваемой. В данной стали возможно образование закалочных структур, могут появляться холодные трещины. Поэтому применяют специальные технологические приемы.

Определить вероятность образования при сварке сталей горячих трещин можно используя формулу определения показателя Уилкинсона [10]:

$$HCC = \frac{C \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V},$$

Аналогично первой формуле после выполненных расчетов проводят оценку появления горячих трещин по величине показателя и по величине предела прочности.

Конечно, приведенные формулы не учитывают всего многообразия действующих на конструкцию факторов и всех нюансов технологического процесса сварки. Поэтому, в ряде случаев, для более точного ответа на вопрос о свариваемости того или иного материала руководствуются результатами сварки т.н. технологических проб. В мировой практике сварщиков можно насчитать около 300 разных технологических проб. В основном пробы позволяют оценить свариваемость по образованию холодных или горячих трещин.

1.3 Базовый технологический процесс восстановления вала

Поскольку восстановлению подлежат детали, эксплуатировавшиеся в течение длительного времени и поверхность которых загрязнена, первой и достаточно важной операцией является очистка и мойка подлежащей восстановлению детали. Качество восстановленной изношенной

поверхности, производительность наплавки и культура производства во многом зависят от качества очистки и мойки.

Применяют в базовом технологическом процессе для очистки и мойки щелочные составы МЛ-51 или МЛ-52. Состав МЛ-51 содержит такие химические вещества как соду кальцинированную, соду каустическую, тринатрий фосфат.

Высокое качество удаления загрязнений обеспечивается за счет мойки в специализированной погружной моечной установке ММА1.

Для очистки вала перед напылением следует использовать щелочной состав, препарат МЛ-51 или МЛ-52 в виде водного раствора при концентрации 10...30 г/литр и температуре 75...80 С

Время промывки – 30-40 минут;

Габаритные размеры: длина 2000 мм, ширина 1200 мм, высота 1280 мм.

Последовательность работы на моечной машине такого класса следующая:

1. Открывается крышка ванны, открывается кран наполнения ванны водой и вода заливается до обозначенного уровня.
2. Взвешиваются и засыпаются в ванну входящие в состав раствора компоненты.
3. Закрывается крышка ванны, открывается кран подачи пара и включается электродвигатель покачивания рамки (для перемешивания раствора).
4. Загружаются валы в корзину, которая затем устанавливается на рамку моечной машины.
5. Закрывается крышка ванны и включается привод покачивания на весь период мойки

Продолжительность очистки 30...40 минут. Извлекается корзина, производится ополаскивание деталей, и корзина перемещается на рабочее место дефектовщика.

Дефектовщик осматривает валы визуально и выполняют измерение размеров изношенных шеек. Размер шеек (величина износа) измеряется микрометром.

После чего с валов производят подготовительные работы. Сначала валы загружают в электропечь типа СНО. Под действием высокой температуры, порядка 400°С, выполняется обжиг масла в каналах для обеспечения смазки шеек вала. Время обжига составляет 20 минут. После извлечения вала из печи и его охлаждения маслосканалы продувают сжатым воздухом, выполняют их прочистку и передают вал на операцию заклепки отверстий маслосканалов. Необходимость в такой операции продиктована тем, что при наплавке изношенной поверхности вала коленчатого отверстия маслосканалов могут попадать брызги расплавленного металла, они могут заплываться, что в итоге сделает невозможным эксплуатацию восстановленного изделия. Отверстия заклепывают пробками из асбеста.

Операция наплавки изношенных поверхностей выполняется в два этапа. Вначале наплавляются шейки коренных подшипников в последовательности от середины вала к его краям. Затем наплавляемый вал переустанавливают в люнетах токарного станка, который выполняет в данной ситуации функции вращателя и наплавляют шейки шатунных подшипников.

Для наплавки слоев на изношенные поверхности шеек используют порошковую проволоку ПП-Нп-60Х5Г2СМ. Наплавка выполняется при следующих параметрах режимов, ток $I=140...170$ А, напряжение дуги $U=22...24$ В, полярность обратная. Скорость наплавки 10-12 м/час, скорость подачи проволоки 1,5...1,8 м/мин.

После того, как выполнена наплавка на все шейки вала, выполняют его охлаждение, затем защитные асбестовые пробки извлекают из отверстий.

Наплавленный слой обладает высокой твердостью, поэтому требуемая геометрия наплавленного слоя может быть достигнута шлифованием. Шлифуют шейки в соответствии с следующим режимом обработки: скорость рабочей поверхности круга $V = 25 \dots 30$ м/сек, скорость поверхности вала $V = 0,2 \dots 0,3$ м/сек, величина продольной подачи составляет $S = 3 \dots 8$ мм/об, при глубине резания 0,005 мм.

Вал прошедший через операцию шлифования направляется на раззенковку отверстий маслоканалов и затем на операцию контроля. Контролируется не только качество нанесенного наплавкой слоя, но и геометрия коленчатого вала. Отремонтированный вал должен соответствовать требованиям чертежа на изделие, лист 19.БР.СОМДиРП.132.01.000 графической части работы.

Поскольку процесс наплавки слоя предусматривает применение присадочного материала, примерно, близкого по химическому составу, а значит и по свойствам к основному существенно увеличить эксплуатационные свойства восстанавливаемой поверхности не удастся.

1.4 Анализ возможных способов восстановления изношенных поверхностей вала

В практике ремонта широко используют такой способ восстановления и упрочнения изношенных деталей как наплавка. Применяя соответствующие присадочные материалы можно изменить свойства наплавленного слоя в нужную сторону. В практике ремонта используют наплавку основанную на выделении тепла при горении электрической дуги или горении газов [1,2,3]. Дуговая наплавка нашла большее распространение при восстановлении изношенных деталей машин.

Дуговая наплавка может выполняться как вручную, так и механизированными или автоматизированными методами. Однако в любом случае, как было сказано выше, имеют место ограничения по увеличению эксплуатационных характеристик наносимого слоя. Другой общий для всех дуговых методов недостаток – высокое тепловложение в обрабатываемую деталь – следовательно высокое коробление и остаточные напряжения.

Проанализируем возможность применения других способов нанесения покрытий и упрочнения поверхностей.

Часто применяют химико-термическую обработку – диффузионное насыщение. Повышая прочность и твердость поверхностного слоя, данный метод не обеспечивает изменение геометрии шеек вала в нужном направлении.

Важным достоинством метода гальванического осаждения является практически полное отсутствие термического воздействия на обрабатываемую деталь. Однако полученные данным методом покрытия обладают низкими эксплуатационными характеристиками при знакопеременных нагрузках.

Ионно-плазменные методы нанесения покрытий характеризуются необходимостью специализированного оборудования и проведения нанесения покрытий после вакуумирования рабочей камеры и введения туда газа, реагирующего с потоком плазмы распыляемого вещества. Близки к этому методу технологии электронно-лучевого нанесения покрытий. Сложность эксплуатации вакуумных установок и низкая производительность не позволяют данные технические решения рекомендовать для восстановления вала.

Широкое применение в практике ремонта и восстановления нашли газотермические способы нанесения покрытий [1,6].

У каждого такого метода своя область применения. Рассмотрим данные способы на предмет применимости их к восстановлению вала.

При электродуговой металлизации сжатый воздух захватывает и транспортирует расплавленный горячей дугой металл. При этом скорость движения частиц металла может достигать 120–300 м/с. Также для плавления наносимого металла можно использовать нагрев токами высокой частоты.

Ряд недостатков не позволяют рекомендовать данный способ. Легирующие элементы выгорают, напыленный слой слабо сцеплен с основным металлом, что недопустимо для валов, работающих при действии переменных и динамических нагрузок.

При плазменном напылении покрытий для плавления и переноса металла к обрабатываемой детали применяют тепловые и динамические свойства плазменной струи. При данном способе возможно нанесение разнородных материалов. Причем, в последнее время при нанесении плазменным методом покрытий применяют специальные плазматроны, обеспечивающие проведение при нанесении плазмохимических реакций.

Возрастающие требования к эксплуатационным свойствам деталей и конструкций вызывают необходимость усложнения составов материалов, из которых формируются функциональные поверхностные слои. Традиционно идут по пути усложнения химического состава исходного материала введением легирующих элементов или использования композиционных материалов [1,2]. Альтернативой может быть совмещение плазменного напыления с целевыми химическими превращениями [3].

Применение сложных плазмообразующих смесей дает потенциальную возможность прохождения реакций взаимодействия активных газовых составляющих плазмы с исходным материалом, результатом которого может быть синтез упрочняющих компонент в создаваемом покрытии [4, 5].

Например, в работе [6] ультрадисперсные частички нитрида титана были обнаружены на сплетях, полученных с использованием плазмохимического реактора в условиях сверхзвукового напыления в азотной атмосфере. Анализируя возможные варианты формирования упрочняющих компонент, которые можно синтезировать в плазмообразующих средах системы N–C–H–

O, N–C–N или N–O, и принимая в расчет условие доступности исходных материалов, на основе которых будет осуществляться синтез, был выбран ряд порошков. Условно данные порошки можно разделить на четыре основные группы:

материалы на основе железа (ПЖ РЗ, самофлюсующиеся на основе железа), в которых возможно образование карбидов железа и, частично, карбидов кремния и хрома (в случае наличия этих элементов в исходном материале); в альтернативном случае исходный материал может упрочняться синтезированными оксидами железа;

материалы на основе никеля (ПГ-10Н-03, ПХ40Н60, ПГ-СРЗ, ПГ-СР4, ПГ-19Н-01), в составе которых достаточно высокое содержание карбидообразующих компонент — хрома, кремния, бора;

материалы, которые содержат значительное количество титана (ПТ65Ю35, ПН55Т45) и в которых возможен синтез нитридов и карбидов; материалы на основе алюминия (ПАД, АСД-Т, ПТ65Ю35, ПН70Ю30), в которых при определенных условиях возможно появление упрочняющих компонент из оксида алюминия.

К настоящему времени выполнены исследования систем, которые базируются на упомянутых выше материалах для напыления и баллонных газах N_2 , CO_2 , C_3H_8 – C_4H_{10} , CH_4 , а также воздухе (смеси N_2 и O_2). В исследованиях выявлялась принципиальная возможность получения карбидов, нитридов и оксидов в конденсированном состоянии, а также диапазон термодинамических параметров, в котором они существуют, и зависимость содержания этих соединений в системе от температуры процесса, давления и количества исходного твердого продукта.

Особое внимание уделено двум материалам, которые выбраны в качестве модельных: Fe и Ni–Ti. Целевым продуктом, который будет синтезироваться при напылении порошка на основе железа, назначаем карбид железа Fe_3C . Синтез Fe_3C возможен при наличии в системе достаточного количества углерода и недопущения связывания его

кислородом плазменной среды. Среди возможных вариантов состава реакционной среды, которые были исследованы, наиболее эффективным оказался состав, который создавался плазмообразующим азотом и пропаном. Пропан подавался в предварительно сформированный газопорошковый поток в пределах плазмохимического реактора.

Исследования позволили установить зависимости выхода конденсированной фазы карбида железа в зависимости от температуры ведения процесса и давления в реакционном объеме. Установлено, что температурный диапазон выхода целевого продукта (конденсированной фазы Fe_3C) зависит от содержания углеводородного газа в реакционной среде. В пределах этого диапазона температур уровень выхода целевого продукта практически не меняется.

Диапазон температур максимально широкий в случае содержания углеводородного газа (19...25 мас. %) и сужается в случае выхода из этого интервала с появлением явного максимума выхода продукта при температуре 1800...1900 К. Превышение уровня температуры 2500 К резко снижает выход продукта. Установлено, что давление в зоне прохождения плазмохимической реакции практически не влияет на выход целевого продукта в пределах рабочего температурного диапазона прохождения процесса и существенно влияет на границах температурного диапазона. На рис. 3 показаны зависимости выхода целевого продукта от количества загруженного исходного материала при условии неизменного количества газовой фазы и выхода целевого продукта от количества углеводородного газа, поданного в зону реакции.

Увеличение содержания углеводородного компонента от 8,6 до 12,4 мас. % увеличивает выход карбида практически вдвое, но дальнейшее увеличение количества углеводородного газа в системе практически не приводит к повышению производительности процесса синтеза.

Увеличение количества загруженного исходного материала, исходя из результатов расчетов, уменьшает количество синтезированного продукта

(при условии сохранения неизменными значений других режимных параметров).

Наличие в составе сплава ПН55Т45 значительного (до 45 мас. %) количества титана создает предпосылки для возможного синтеза нитрида титана (TiN). Высокая химическая активность титана предъявляет повышенные требования к составу реакционной среды. Предварительные оценки показывают целесообразность использования плазмообразующего азота с целью создания условий для синтеза нитрида титана, с последующим добавлением реакционного азота в предварительно сформированный газопорошковый поток в пределах плазмохимического реактора.

Согласно расчетам, температурный диапазон выхода целевого продукта (конденсированной фазы TiN) зависит от соотношения между взаимодействующими твердой и газовой фазами и в исследованном диапазоне изменения этого соотношения сужается при уменьшении содержания газовой фазы.

Повышение содержания азота от 75,77 до 86,22 мас. % расширяет температурный диапазон на 100 К. В этом случае абсолютное значение количества синтезированного нитрида возрастает.

Повышение давления в реакционном пространстве расширяет температурный диапазон существования конденсированной фазы нитрида титана. Таким образом, процесс нагревания дисперсного Ni–Ti в пределах плазмохимического реактора целесообразно проводить при содержании азота 75...85 мас. %, в диапазоне температур 2000...2400 К и давлении в реакционной среде около 0,1 МПа. В этих условиях необходимая фиксация синтезированного продукта осуществляется подачей в конечную часть реактора закалочного азота.

Процесс нанесения покрытия с одновременным синтезом упрочняющих компонент реализуется в специальном устройстве для напыления, которое состоит из плазменного распылителя и

плазмохимического реактора, герметично и жестко объединенных в один агрегат.

Исходный материал вместе с транспортирующим газом подается в дуговой канал плазмотрона. Через сопловое отверстие выходного электрода в реакционное пространство (в пределах плазмохимического реактора) вытекает струя высокотемпературного газа, в которой нагревается и ускоряется дисперсный материал.

В процессе нагрева с повышением температуры материал поверхностного слоя частиц исходного материала испаряется с образованием паровой рубашки вокруг жидкого или пластичного ядра. За срезом сопла плазмотрона в реакционное пространство подается дополнительный газ, в результате взаимодействия с которым в паровой фазе, окружающей частицы, начинается синтез соответствующего химического соединения. Часть синтезированной упрочняющей компоненты может конденсироваться на поверхности частиц-носителей, другая часть находится в газовой фазе вокруг ядра.

На выходе реакционной зоны в агрегат подается закалочный газ, который, снижая температуру системы, создает условия для конденсации образованного тугоплавкого соединения на поверхности частиц-носителей. При этом сама частица остается в жидком или пластичном состоянии, что способствует процессу перемешивания жидкого поверхностного слоя частиц с конденсированным соединением и коагуляции синтезированных ультрадисперсных частиц с частицами исходного материала.

Химический состав упрочняющих компонент зависит от химического состава исходного материала, плазмообразующего, транспортирующего, реакционного и закалывающего газов.

Процесс синтеза упрочняющих компонент покрытия в ходе нагрева и ускорения исходного материала предусматривает использование плазменных генераторов, способных создавать потоки низкотемпературной плазмы из сложных, химически активных газовых плазмообразующих смесей в

широком диапазоне изменения энергетических параметров и, в частности, удельной энтальпии. При этом компоненты потока плазмы должны принимать участие в синтезе или, в крайнем случае, не препятствовать его прохождению.

Успешная практическая реализация процесса возможна при наличии достаточно полной информации об энергетических характеристиках используемого плазмотрона и их взаимосвязи с режимными параметрами генерации плазмы. Комплексные исследования упомянутых характеристик плазмотронов, генерирующих плазму системы N–O–C–H [8], позволили применить именно эту газовую систему для получения упрочненных плазменных покрытий. В конкретном случае применен двухэлектродный плазмотрон прямой полярности со ступенчатым анодом общей мощностью до 35 кВт, способный устойчиво работать на азоте, воздухе и смесях воздуха с углеводородными газами (метаном, пропаном, бутаном).

По результатам выполненных исследований этой конструкции была установлена критериальная зависимость удельной энтальпии от режимных и геометрических параметров работы плазменного распылителя. Эта зависимость является основой для предварительного расчета режимных параметров ведения процесса, при которых возможен синтез упрочняющих компонент с максимальным выходом синтезируемого продукта в процессе нанесения покрытия.

Плазмохимический реактор представляет собой систему последовательно и плотно соединенных между собой отдельных секций. Используют секции двух видов: секции для подачи реакционных газов и проходные секции, назначение которых создание определенного реакционного объема. Каждая проходная секция имеет индивидуальное водяное охлаждение. Секции для подачи газов охлаждаются самими газами, которые через них подаются. Геометрические размеры и конфигурация всех секций (кроме первой) унифицированы, что позволяет менять общую длину реактора увеличением количества проходных секций. Соответственно,

местоположение секций для подачи газов в пределах реактора также может меняться, в зависимости от потребностей процесса.

Продольный геометрический размер внутреннего пространства реактора (время пребывания в реакционной зоне частиц материала) определяется количеством секций, задействованных в конструкции.

Диаметр реакционной зоны следует выбирать постоянным, на основании предварительной информации об угле раскрытия гетерогенного потока в процессе напыления плазмотроном использованной конструкции (исходя из условия исключения налипания дисперсного материала на внутреннюю стенку реактора в ходе проведения процесса). Общая схема технологического процесса напыления практически не отличается от традиционного процесса плазменного напыления, хотя отдельные стадии имеют определенную специфику их проведения.

Типичная подготовка исходного материала предусматривает обычно просушивание порошка и просеивание его с целью очистки от возможных загрязнений и выделения фракций определенного диапазона, пригодных для формирования покрытия.

Процесс напыления покрытий при параллельном прохождении реакций взаимодействия активных газовых составляющих плазмы с исходным материалом предусматривает применение существенно более узкого диапазона возможных размеров отдельных частиц. Сужение диапазона повышает стабильность и прогнозируемость процесса синтеза упрочняющих компонент, поскольку он проходит в паровой рубашке вокруг частиц. Уменьшение размера частиц исходного порошка может привести к полному испарению частицы, а увеличение — к недостаточному ее прогреву и замедлению процесса испарения поверхностного слоя.

Ужесточаются требования к температурному режиму основы. Тепловая изоляция струи плазмы от окружающей среды стенками реактора способствует сохранению высокого уровня тепловых потоков в основу на дистанциях напыления. Это ведет к перегреву основы, ускорению процессов

наращивания оксидной пленки на поверхности изделия и, как следствие, снижению прочности сцепления покрытия с основой. В случае применения углеводородных компонентов газовой смеси, фрагменты которых догорают на выходе из реактора в процессе подсосывания кислорода воздуха, необходимы дополнительные меры по интенсификации охлаждения изделия — природного охлаждения становится недостаточно. При этом повышаются требования к стабильности параметров плазменного распылителя и системы подачи исходного материала. Случайное изменение расхода транспортирующего газа и количества дисперсного материала нарушает пространственное размещение газопорошкового потока в пределах плазмохимического реактора, приводит к осаждению частиц порошка на стенках реактора, дестабилизирует процесс плазмохимического синтеза.

Процесс синтеза также чувствителен к смене энергетического уровня рабочего тела и может быть нарушен вследствие нестабильности входных параметров распылителя и разрушения электродов в результате эрозии. Необходимые номинальные режимные параметры генерации гетерогенного потока (ток дуги, расход плазмообразующего газа и его химический состав, давление газов, геометрические размеры дугового канала, расход реакционного и закалочного газов) рассчитываются предварительно.

Основными термодинамическими параметрами, которые определяют вероятность прохождения плазмохимической реакции синтеза упрочняющих компонент (в конденсированном виде) являются давление и среднemasсовая температура в реакционном пространстве. Температура, в свою очередь, является производной количества энергии, вложенной в единицу объема (массы) реакционной среды (удельной энтальпии).

Схема предварительного определения режимных параметров ведения процесса может быть следующей:

– исходя из анализа химического состава напыляемого материала и назначенного упрочняющего компонента, определяется элементный состав газовой системы, в которой реализуется процесс;

- элементный состав газовой системы обеспечивается использованием соответствующего плазмообразующего газа, который содержит химические элементы из необходимого перечня, и реакционного газа, который своим химическим составом дополняет систему по перечню химических элементов и их содержанию;
- проводятся термодинамические расчеты созданных систем (учитывая наличие твердой фазы) в широком интервале изменения термодинамических параметров — давления и температуры проведения процесса;
- выявляется полный диапазон значений и1091 упомянутых параметров, в котором возможно образование целевого продукта, и значения, при которых выход продукта максимальный;
- определяется (по зависимостям, аналогичным приведенным на рис. 4) необходимое значение удельной энтальпии рассматриваемой газовой системы, которое обеспечивает необходимый уровень температуры процесса (при условии соответствующего давления в реакционном пространстве);
- определяются необходимые значения режимных и геометрических характеристик ведения процесса.

Процесс напыления покрытия начинается запуском плазменного распылителя на полной смеси плазмообразующих газов, или на ее основном компоненте, на токе дуги, как правило, ниже номинального. После выведения плазменного распылителя на рабочий режим по току, составу и расходу плазмообразующего газа начинается подача дисперсного материала в реакционное пространство.

Появление на выходе системы «плазмотрон–реактор» потока нагретых частиц служит сигналом для начала подачи в реактор реакционного и закалочного газов.

Функциональные свойства покрытий из железного порошка, который на данный момент является самым дешевым исходным материалом для плазменного напыления, можно существенно улучшить, если ввести в состав

покрытия карбида железа или его оксиды, синтезированные в процессе напыления. В зависимости от химического состава целевого продукта осуществляется подбор химического состава реакционной среды. Термодинамические расчеты подтверждают теоретическую возможность синтеза карбидов во время напыления в смеси газов, содержащих углерод. Аналогичные расчеты показывают теоретическую возможность синтеза оксидов в случае изменения условий напыления.

С целью получения покрытия с синтезированным карбидом железа в железной матрице процесс напыления проводился в азотной плазме с подачей в реакционное пространство карбидообразующего пропан–бутана. Расход плазмообразующего газа составлял 3,5 м³/ч, расход реакционного газа 0,7 и 1,5 м³/ч, ток дуги 150 А. При этих параметрах напряжение не превышало 105...110 В. Производительность распыления материала покрытия 5 кг/ч, основной размер фракции дисперсного материала 63...100 мкм.

Напыляемые образцы при проведении исследований устанавливались практически на срезе последней секции плазменного реактора. При этом дистанция напыления составляла 230...250 мм, что существенно выше оптимального значения при напылении по традиционной схеме. Увеличение дистанции во время плазмохимического напыления практически не влияет на значение скорости частиц в момент встречи с поверхностью основы и значительно увеличивает температуру частиц вследствие ограничения подсосывания воздуха из окружающей среды.

Однако получаемые способом плазменного напыления покрытия обладают низкой прочностью и в них сформированы растягивающие напряжения, что при знакопеременных нагрузках может привести к разрушению.

При газопламенном нанесении металлических покрытий, плавление напыляемого металла осуществляется ацетилено-кислородным пламенем. Нагрев основного металла при этом не превышает 200°C. Напыленные

покрытия характеризуются высокими механическими характеристиками. Важным является, если сравнивать с плазменными технологиями, простота технологии и оборудования.

Традиционно наносят металлические покрытия, однако газотермические покрытия с керметной структурой, состоящие из металлической матрицы, в основном на основе сплавов никеля, кобальта или железа, с упрочняющей фазой, главным образом карбидов вольфрама, хрома или титана, являются наиболее широко распространенным классом покрытий, защищающих поверхность деталей от различных видов изнашивания [1–3]. В последнее время им уделяется особое внимание в связи с возможностью их применения в качестве альтернативы покрытиям из твердого хрома, что позволяет решить одну из современных задач защиты окружающей среды [4–6].

Наиболее широкое практическое применение получили керметные системы WC-Co и Cr₃C₂-NiCr [3, 6, 7]. Ведущими мировыми фирмами «Starck» (Германия), «Sulzer» (США), «Praxair» (США) проведена разработка составов и освоен ряд технологий изготовления порошков этих материалов, специализированных по своим свойствам для использования на установках плазменного, детонационного и высокоскоростного газопламенного напыления [8–10]. Данные материалы выпускаются в виде либо механических смесей порошков карбидов и матричного сплава, либо порошков конгломератов компонентов кермета, прошедших предварительные процедуры спекания-дробления механической смеси или ее конгломерирования — спекания. Свойства получаемых покрытий в значительной мере зависят от способа получения порошка [11].

Составы керметов WC-Co для газотермического напыления отличаются по содержанию кобальта (12...17 мас.%) и для повышения коррозионной стойкости дополнительно легируются хромом (4...8 мас. %). Микротвердость получаемых покрытий зависит от содержания кобальта и

составляет при 12 % Co $HV_{0,3}$ — 1200...1500, при 17 % Co $HV_{0,3}$ — 900...1100 [8].

В составах керметов для газотермического напыления системы Cr_3C_2 –NiCr содержание NiCr находится в пределах 15...25 мас. %, а средняя микротвердость существенно изменяется не только в зависимости от количества NiCr ($HV_{0,3}$ — 1035 для кермета Cr_3C_2 –15 % NiCr; $HV_{0,3}$ — 865 для Cr_3C_2 –25 % NiCr), но и способа получения порошка, увеличиваясь в случае Cr_3C_2 –25 % NiCr до $HV_{0,3}$ — 1100 при переходе от использования механической смеси порошков к порошку, полученному методом предварительного агломерирования смеси мелких порошков компонентов с последующим спеканием [11]. Причиной такого изменения является более однородное распределение составляющих и наличие продукта взаимодействия карбида и сплава при спекании.

Важным служебным свойством рассматриваемых керметных покрытий, определяющим область их практического использования, является максимальная температура их применения.

Согласно паспортным данным, представляемым фирмами-изготовителями специализированных порошков для газотермического напыления, она составляет на воздухе 480...500 °C для керметов WC–Co и 870...900 °C для Cr_3C_2 –NiCr [8–10]. Однако в случае кермета Cr_3C_2 –NiCr надежная защита покрытия от окисления обеспечивается за счет формирования на его поверхности плотной пленки Cr_2O_3 , что происходит в области температур 600...700 °C [12].

В связи с этим актуальным является разработка газотермического керметного покрытия, обеспечивающего защиту поверхности от изнашивания при рабочих температурах, включающих диапазон 500...700 °C. К числу карбидных материалов с таким свойством относится двойной карбид титана-хрома, имеющий высокую стойкость к окислению при температурах до 1100 °C, который в то же время по значению

микротвердости (до 40 ГПа) превосходит микротвердость карбида титана (32 ГПа) и карбида хрома (22,8 ГПа) [13].

Эксперименты по нанесению керметных покрытий, содержащих двойной карбид титана-хрома (Ti, Cr)C, базировались на использовании композиционных порошков (Ti, Cr)C, плакированных никелем [14–16] или никель-молибденом [17].

Покрытия получали методом плазменного напыления с использованием в качестве рабочего газа аргоноводородной смеси [14–17], а также в условиях воздушно-газового плазменного напыления (ВГПН) при дозвуковом и сверхзвуковом режиме истечения струи плазмы [17]. Структура плазменных покрытий, полученных при использовании Ar/H₂-плазменной струи и мощности плазматрона 30...35 кВт [17], состоит из карбидной фазы с микротвердостью *HV* 25...30 ГПа, металлической с *HV* 1,8 ГПа, а также фазы, имеющей *HV* 15...16 ГПа и являющейся, по-видимому, продуктом взаимодействия (Ti, Cr)C с металлом оболочки частиц (Ni) [14, 15].

Анализ фазовых и структурных превращений в порошках чистого и плакированного (Ti, Cr)C, происходящих в условиях ВГПН, показал, что при сверхзвуковом режиме снижается степень окисления напыленного материала и повышается устойчивость плакирующей оболочки на карбидном ядре.

Исследование жаростойкости плазменных покрытий из композиционных порошков Ni(Ti, Cr)C с содержанием 30...35 мас. % Ni показало, что они при 800 °С на воздухе имеют достаточно высокое сопротивление окислению [15, 18].

После выбора и обоснования газотермического способа нанесения покрытия для восстановления изношенной поверхности шеек вала коленчатого следует определиться с вариантом технологического решения данного способа. Дело в том, что в настоящее время газотермическим способом наносят покрытия из материалов в виде порошков, суспензий, паст, проволоки, стержней.

Выполненный сопоставительный анализ достоинств и недостатков каждого из перечисленных вариантов позволил остановить выбор на нанесении порошка.

1.5 Задачи работы

Проведенный анализ условий эксплуатации изделия, базового технологического процесса, возможных способов его восстановления показал, что сформулированная во введении цель проекта: «экономия материальных ресурсов за счет восстановления и повышения ресурса изношенных коленчатых валов» может быть достигнута при применении газотермического напыления.

Таким образом задачей работы является разработка технологического процесса напыления изделия.

Таким образом, для достижения поставленной в дипломном проекте цели необходимо решить следующие задачи:

1. Подобрать наплавочный материал, обеспечивающий заданные физико-механические характеристики наносимого покрытия
2. Разработать технологический процесс напыления
3. Подобрать оборудование для реализации данного технологического процесса и скомпоновать его на производственном участке.
4. Предусмотреть мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала, принимающего участие в восстановлении изделия.
5. Произвести экономическую оценку мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

2 Разработка технологического процесса восстановления.

2.1 Выбор материала для напыления

Рассмотрим наиболее распространенные порошки для напыления. Проанализируем их свойства. Насколько хорошо подойдут они для нашего изделия.

В ряде случаев для напыления применяют порошок меди, например марки ПМС-В, ПМС-Ву. Достоинства здесь хорошие антифрикционные характеристики, пластичное покрытие, низкая стоимость порошка. Из недостатков можно выделить - низкая прочность покрытия, низкая жаростойкость и жаропрочность.

Возможно напыление молибдена. Например порошки ПНЭ1, ПНЭ2. Данные покрытия обеспечивают высокую прочность и твердость покрытия, высокую жаростойкость и жаропрочность, хорошую защита при абразивном изнашивании. Но, коленвал не эксплуатируется в условиях абразивного износа. Недостатки: высокая стоимость порошка, высокая твердость покрытия, высокий расход порошка при напылении.

Возможно напыление никеля (порошок). Марка ПНК2К8, ПНК2К9. Данные порошки обеспечивают хорошую адгезию покрытия к основе.

Применяют также и порошки титана, например ПТС. Покрытие из такого порошка характеризуется высокой прочностью и пластичностью. Но при напылении на наш коленвал получается большая разница коэффициента термического расширения (КТР) основы и покрытия. Покрытие может отслоиться.

Используют также порошки хрома, ПХ1, ПХ2. При напылении таких порошков получается высокая прочность и твердость покрытия, хорошая защита при высокотемпературном окислении. Однако, для покрытия характерно плохое сопротивление ударным нагрузкам, большая разница в КТР покрытия и основы, т.е. также будет отслаиваться.

Таким образом, однокомпонентные порошки не устраивают нас. Рассмотрим порошки сплавов.

Нихром применяют для напыления, марка порошка ПХ20Н80. Достоинства: высокая прочность и твердость покрытия, высокая жаростойкость и жаропрочность. Недостатки: низкие пластические свойства, большая разница в КТР покрытия и основы, слабая адгезия к основе.

Применяют порошки самофлюсующихся сплавов Ni-Cr-B-Si марок ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, СНГС-50, СНГС-55, СНГС-60, ПН70Х17С4Р4. Их достоинства хорошая адгезия к подложке, высокая прочность покрытия, хорошее сопротивление ударным нагрузкам, хорошая связь между слоями в покрытии, не требуется высокая температура при напылении, хорошая защита от износа при повышенных температурах. Однако это дорогостоящие порошки, и, опять таки, большая разница в КТР.

Применяют порошки сплава Ni-Cr-Fe. Это ПГ-19Н-01. Он обеспечивает высокую жаростойкость и жаропрочность покрытия, что нам и не нужно. Недостатки: низкие пластические свойства, слабая адгезия к основе.

Порошки сплава Ni-Al, ПН70Ю30, ПН85Ю15, имеют хорошее сопротивление покрытия высоким температурам, хорошие антифрикционные свойства. Однако, у них слабое сопротивление абразивному изнашиванию.

Порошки сплава Ni-Ti, ПН55Т45, ПН12Т88, дают прочные, пластичные покрытия, обеспечивают хорошие антифрикционные характеристики. У них низкая жаростойкость покрытия, что не принципиально для нас, но, большая разница в КТР с основой.

Сталь хромистая, порошок П2Х13, обеспечивает близкий КТР с основой, прочную связь с основой, стоимость порошка низкая. Недостатки: низкая стойкость к абразивному изнашиванию, высокий расход порошка при напылении.

Применяют также композиционные порошки. Например, никель-алюминий. Марки ПТ-НА-01, НА-67, ПНА-75, ПНА-80, ПНА-95.

Получают из них прочные, твердые покрытия, с хорошими антифрикционными характеристиками, высокой жаростойкостью и жаропрочностью. Однако, у них слабое сопротивление знакопеременным нагрузкам, высокая твердость покрытия, слабая адгезия к подложке. А коленвал работает как раз в условиях знакопеременных нагрузок.

Применяют из композиционных порошков и никелевый сплав – алюминий, ПТ-19Н-01 например. Получают прочные, пластичные покрытия, высокая пористость покрытия, высокая жаропрочность. Пористость покрытия в нашем случае хороша тем, что задерживает смазку. Недостатки: слабое сопротивление ударным нагрузкам, большая разница в КТР, слабая адгезия к подложке.

Применяют еще для напыления механические смеси порошков, например, никелевый самофлюсующийся сплав + карбид вольфрама. Очень даже неплохой вариант: высокая стойкость к абразивному изнашиванию и фреттинг коррозии, высокая твердость и пористость покрытия, хорошая связь между слоями в покрытии, не требует высокой температуры при напылении. Недостатки: слабое сопротивление ударным нагрузкам, слабое сопротивление при высоких температурах, высокая стоимость порошка.

Проведя анализ, предлагаем следующий вариант технологии: напылять в качестве подстоя порошок ПТ-НА-01. Затем послойно напылять сплав никель-алюминий и самофлюсующийся сплав Ni-Cr-B-Si. Самофлюсующиеся сплавы обеспечивают хорошую связь между слоями, хорошее сопротивление ударным нагрузкам, а сплав никель-алюминий обеспечивает хорошие антифрикционные свойства. Причем, после нанесения каждого слоя проводить дробеструйную обработку. Для лучшего сцепления слоев.

Детали на участок для восстановления поступают в оборотной таре с использованием внутрицеховых транспортных средств. На участке детали складываются на стеллаже. Первая операция – очистка от загрязнений.

Очистка деталей от загрязнений -наиболее характерная и специфическая операция при ремонте. От качества очистки зависит производительность труда ремонтных рабочих, качества восстановления, долговечности и надежности отремонтированных машин, общий уровень культуры и внешний вид ремонтного производства.

Для очистки вала перед напылением, так же как и в базовой технологии, следует использовать щелочной состав, препарат МЛ-51 или МЛ-52 в виде водного раствора при концентрации 10...30 г/литр и температуре 75...80 С

Моющий состав МЛ-51 содержит компоненты в следующем соотношении: тринатрий фосфат – 18 г/литр; сода кальцинированная – 10 г/литр; каустическая сода – 5 г/литр. Очистку производить в установке ММА1. Продолжительность очистки 30...40 минут.

После чего, как и в базовой технологии проводят обжиг масла в маслоканалах в электропечи. Температура обжига 400°С, время 20 минут.

Затем детали поступают на стол дефектовщика. Производится осмотр деталей на наличие дефектов, измеряется микрометром величина износа. Далее деталь передается на стол, где производятся с ней подготовительные работы.

В отличие от базовой технологии вводится операция дробеструйной обработки, для улучшения адгезии напыляемого слоя.

После чего, коленвал закрепляется в токарном станке и производится напыление подслоя, $I=315A$, $U=65 В$, расход газа $N=0,5 л/час$, $Ar=1,5 л/час$, расход материала 0,55...0,62 г/см, температура плазмы 14000...16000 С, фракция порошка 60 мкм.

Затем напыляют основной слой в несколько этапов. Напыляют 1 слой смесью порошков ПН85Ю15М-95%+ X17CP1-5% при силе тока $I=350A$, напряжении $U=70В$. Расход газа при этом $N=0,5 л/час$, $Ar=1,5 л/час$, температура плазмы 14000...18000 С, фракция порошка 60 мкм. Затем, при тех же режимах наносят 2 слой состава ПН85Ю15М-90%+ X17CP1-10%. 3

при тех же режимах состава ПН85Ю15М-85%+ Х17СР1-15%. 4 слой при тех же режимах состава ПН85Ю15М-80%+ Х17СР1-20%. 5 слой: ПН85Ю15М-75%+Х17СР1-25%. Нанесение слоев поочередное, после каждого слоя производят дробеструйную обработку.

Дальнейшие операции без изменений переходят из базового технологического процесса. Это удаление пробок, зенковка отверстий, шлифовка и контроль.

3 Оборудование для реализации разработанной технологии.

3.1. Моечная машина ММА1.

Для промывки перед отбраковкой и дефектацией валов предлагается применять моечную машину ММА1. Она относится к агрегатам, работающим с применением агрессивной среды – моющего раствора, способного при попадании на кожу человека вызвать раздражение.

Техническая характеристика установки:

Тип – наливная с покачиванием промываемых деталей;

Емкость ванны – 1,5 м³;

Наполнение ванны – 70%;

Частота покачивания рамки – 12 раз/мин;

Время промывки – 30-40 минут;

Габаритные размеры: длина 2000 мм, ширина 1200 мм, высота 1280 мм.

Последовательность работы на моечной машине такого класса следующая:

6. Открывается крышка ванны, открывается кран наполнения ванны водой и вода заливается до обозначенного уровня.
7. Взвешиваются и засыпаются в ванну входящие в состав раствора компоненты.
8. Закрывается крышка ванны, открывается кран подачи пара и включается электродвигатель покачивания рамки (для перемешивания раствора).
9. Загружаются валы в корзину, которая затем устанавливается на рамку моечной машины.
10. Закрывается крышка ванны и включается привод покачивания на весь период мойки

11. Извлекается корзина, производится ополаскивание деталей, и корзина перемещается на рабочее место дефектовщика.

3.2 Плазматрон

Плазматрон ПРВ-303 (Рис. 3.1) предназначен для нанесения противокоррозионных покрытий, восстановления и улучшения характеристик быстроизнашивающихся деталей, создания моделей, нанесения электрической изоляции, тепловой защиты изделий и т.д., путем напыления порошков любых плавящихся материалов

Плазматрон изготовлен в климатическом исполнении УХЛ категории 4.2 по ГОСТ 15150-69 и предназначен для эксплуатации при температуре воздуха от 5° до 37° С, относительной влажности воздуха $80 \pm 15\%$ при 20° С и атмосферном давлении от 84.0 до 106.7 кПа.

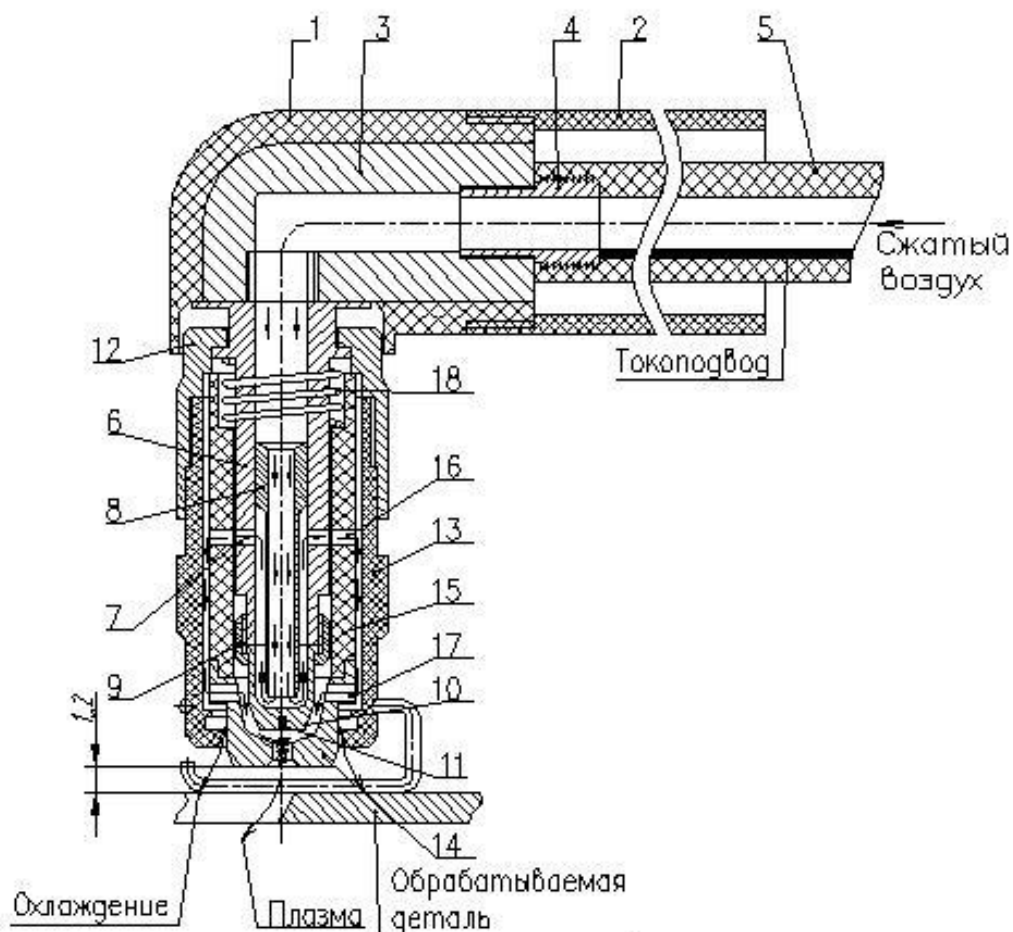


Рисунок 3.1 - Плазматрон

Плазматрон состоит из следующих основных деталей: 1 головка; 2 ручка; 3 муфта металлическая; 4 штуцер; 5 кабель-шланг; 6 сердечник; 7 отверстие сердечника; 8 труба воздухоподводящая; 9 гайка; 10 электрод; 11 вставка электрохимическая; 12 гайка накидная; 13 кожух; 14 сопло; 15 изолятор; 16 отверстие изолятора; 17 завихритель; 18 пружина.

Плазматрон должен эксплуатироваться в среде; не содержащей паров кислот и других едких жидкостей.

За счет применения керамических втулок повышается надежность плазматрона. Пусковая кнопка плазматрона отнесена от головки на большее расстояние, что делает его более удобным в эксплуатации. Длина соединительных шлангов и, соответственно, длина плазматрона может быть увеличена до 17 м.

За счет применения новых материалов повышена надежность соединений в кабеле и рукоятке плазматрона.

Технические характеристики плазматрона ПРВ-303М

| | | |
|---|-------------------------------|--|
| Род тока | | постоянный |
| Номинальный ток при ПВ-60% | А | 200 |
| Плазмообразующий газ | | Аргон |
| Охлаждающий газ | | Азот, воздух |
| Давление воздуха на входе в плазматрон | .Па (кгс/см ²) | $3 \times 10^5 - 4 \times 10^5$ (3 - 4) |
| *Расход азота, не менее | л/с (м ³ /ч) | 18 (65) |
| Диаметр канала сопла для номинального тока | мм | 4 |
| Длина плазматрона с соединительными шлангами и проводами | м | 8,5 |
| Масса плазматрона без воздухопровода и проводов, не более | кг | 1,5 |

3.3. Установка для напыления

Установка для напыления (Рис.3.2) скомпонована из следующих основных узлов:

- 1 - Станина;
- 2 - Вращатель;

- 3 – Пульт управления;
- 4 - Суппорт;
- 5 - Пиноль;
- 6 – Сварочный пистолет;
- 7 – Бункер для порошка;
- 8 - Привод;
- 9 – Задняя бабка;
- 10 – Защитный экран;
- 11 – Приспособление установочное.

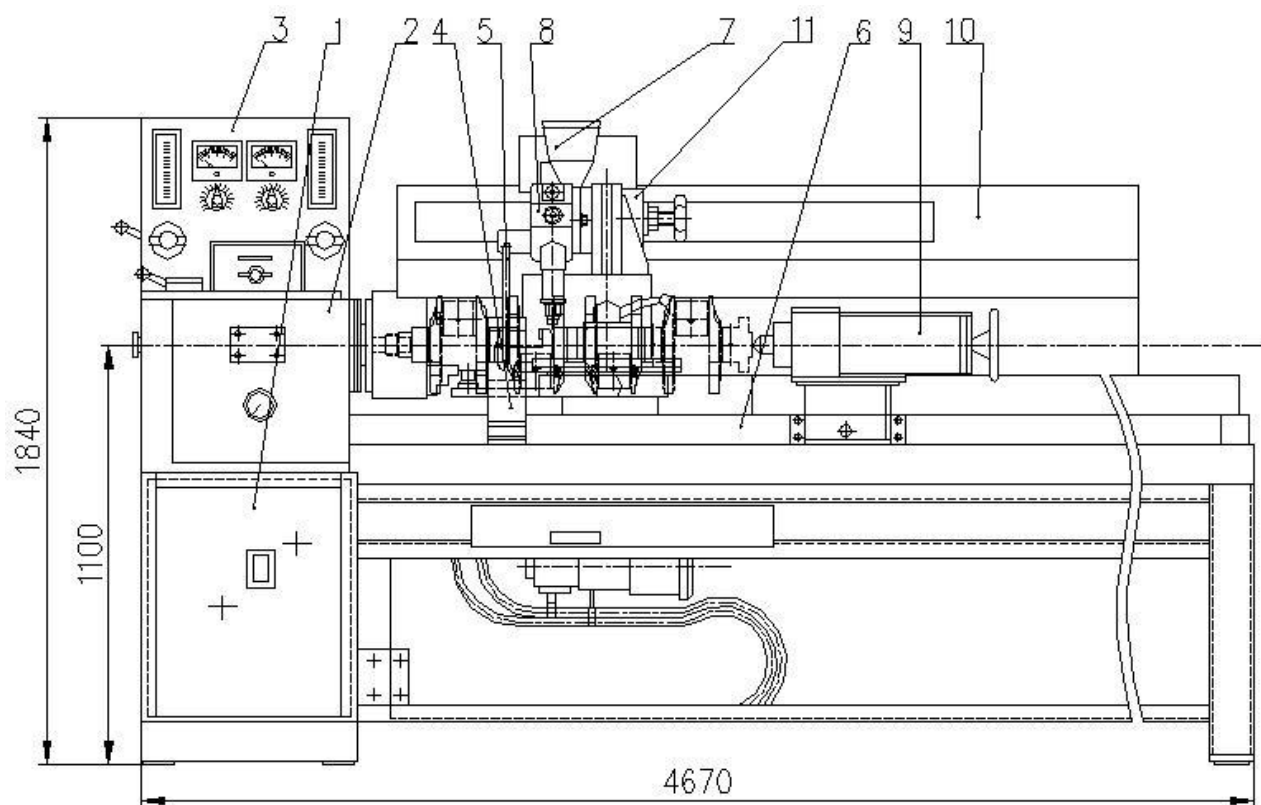


Рисунок 3.2 - Общий вид станка

Для экономии капитальных затрат при внедрении технологии, для экономии площади производственного участка и повышения коэффициента загрузки оборудования предложено не приобретать отдельный манипулятор, а использовать для вращения в процессе металлизации токарный станок А364

4 Безопасность и экологичность бакалаврской работы

4.1 Описание и характеристика разработанного технического объекта

Согласно распоряжению по институту машиностроения тема бакалаврской работы сформулирована следующим образом: «Технология восстановления коленвала ДВС газотермическим напылением». В настоящее время для восстановления изношенных шеек валов коленчатых используют, преимущественно, наплавку. В разделе 1 настоящей работы у данной технологии выявлен ряд недостатков, и показано, что применяя газотермическое напыление их можно нейтрализовать. Разработана технология газотермического напыления, естественно, что при внедрении данных технических решений необходимо предусмотреть мероприятия по нейтрализации опасных и вредных технологических факторов, сопровождающих технологию газотермического напыления. Технологический паспорт объекта в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

| № п/п | Технологический процесс | Выполняемые работы | Должности работников, реализующих данный техпроцесс | Вновь установленное оборудование | Вспомогательные материалы |
|-------|---|------------------------|---|--|---|
| 1 | Восстановление изношенных шеек вала коленчатого | Подготовка, напыление, | Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов, | Установка газотермического напыления TOP-JET/2 | Шнуровой наплавочный материал, ацетилен, кислород |

4.2 Риски, сопровождающие технологию газотермического напыления

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс, могут вызвать нетрудоспособность работника. В

таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке напыления негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

| Выполняемые работы | Опасный и /или вредный производственный фактор | Источник опасного и / или вредного производственного фактора |
|-----------------------|--|---|
| Подготовка, напыление | Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация. | Установка газотермического напыления TOP-JET/2. шнуровой наплавочный материал, ацетилен, кислород, круг абразивный. |

4.3 Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков

Уже внедренные на производственном участке и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

| Опасный и / или вредный производственный фактор | Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора | Средства индивидуальной защиты работника |
|---|--|--|
| Острые кромки | | Перчатки, спецодежда. |
| движущиеся детали оборудования и заготовки | Плакаты и надписи, барьеры и ограждения. | |
| повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке | вентиляция | Средства защиты дыхательных путей |
| повышенная температура оборудования и воздуха участка | вентиляция | Спецодежда, перчатки |
| повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; | Заземление, контроль изоляции. | |
| световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация. | Экранирование места напыления щитами, | маска сварщика, спецодежда. |

4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка напыления

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

| Участок, подразделение | Оборудование | Класс пожара | Опасные факторы пожара | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|--|--|--|--|--|
| Подготовки, напыления изношенного вала | Установка газотермического напыления TOP-JET/2 | пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е) | Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; препятствует нормальной видимости. | Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения |

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

| | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|------------------------------|---|--|---|---|
| Первичные средства пожаротушения | Мобильные средства пожаротушения | Стационарные установки системы пожаротушения | Средства пожарной автоматики | Пожарное оборудование | Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре | Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный) | Пожарные сигнализация, связь и оповещение. |
| Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1 | Пожарные автомобили или (вызываются) | Не применяются | Не применяются | Краны пожарные напорные пожарные рукава | План эвакуации, | Лопата, багор, топор | Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре |

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

| Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта | Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий | Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты |
|--|---|--|
| Напыление | Проведение периодических занятий с производственным персоналом по пожарной безопасности, установка на производственном участке и вспомогательных бытовых помещениях, раздевалки, места питания, соответствующей наглядной агитации, периодические учения, создание добровольной пожарной дружины. | На участке и прилегающих территориях в доступных местах должны быть размещены средства пожаротушения в достаточном количестве, рисунок 4.1. Необходимы периодические проверки средств пожаротушения и инструктаж работников участка напыления. |



Рисунок 4.1 – Общий вид щита пожарного

4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Вредные экологические факторы перечислим в таблице 4.7

Таблица 4.7 – Идентификация вредных экологических факторов технического объекта

| Наименование объекта, технологического процесса | Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса по функциональному назначению, технологические операции, оборудование. | Вредное воздействие технического объекта на воздушную среду | Вредное воздействие технического объекта на водную среду | Вредное воздействие технического объекта на литосферу и ее составляющие |
|---|---|--|--|---|
| Напыление шеек валов | Подготовка валов к напылению, напыление | Продукты сублимации и горения связующего шнуровых материалов для напыления - газообразные частицы, сажа. | Пролив загрязненной оборотной воды, используемой для охлаждения пистолета для напыления. | упаковка от шнуровых материалов для напыления, бумажная, полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; прочий бытовой и производственный мусор. |

Таблица 4.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

| Наименование технического объекта | Сварка |
|---|---|
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу | Установить в систему вентиляции участка фильтры, улавливающие частицы сажи |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу | Размещение на территории участка восстановления емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, |

4.6 Заключение по разделу

Планируемый к внедрению технологический процесс газотермического напыления шнуровыми материалами изношенных поверхностей вала коленчатого сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса газотермического напыления.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс газотермического напыления, не нужно.

Также технология газотермического напыления оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложен комплекс организационных мероприятий.

5 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса наплавка изношенной поверхности вала выполняется механизированной дуговой наплавкой. Результаты анализа научно-технической и патентной литературы позволили рекомендовать для проектного варианта газотермическое напыление.

Сопоставительный анализ двух вариантов, базового и проектного, приведен в таблице 5.1. В таблице рассмотрены выявленные в 1 разделе работы недостатки базовой технологии наплавки и принцип их устранения при использовании газотермического напыления.

Таблица 5.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

| Базовая технология | Проектная технология |
|--|---|
| Дуговая механизированная наплавка предусматривает необходимость контроля большого количества параметров процесса. Для наплавки по базовой технологии требуются рабочие высокого разряда и размер тарифной ставки у них, соответственно, высокий. | При газотермическом напылении автомат подает напыляемую проволоку в зону горения ацетилено-кислородного пламени, уменьшается количество параметров техпроцесса, которые нужно контролировать. Можно поставить на операцию рабочего с меньшим разрядом, и, соответственно, меньшей тарифной ставкой. |
| Скорость наплавки низкая, так как при наплавке приходится по спирали наплавлять валик за валиком. | При газотермическом напылении за счет распыления получается более широкая область наплавленного за один оборот изделия слоя – скорость больше. |

5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

| Показатели | Услов. обозн. | Ед. изм. | Варианты | |
|---|-------------------------|-------------|----------|---------|
| | | | Базовый | Проект. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Годовая программа | $N_{пр}$ | шт | 1000 | 1000 |
| Финансовые затраты на 1 кг наплавляемого материала | $Ц_{эл.}$ | Руб/кг | 68 | 590 |
| Значение тарифной ставки | $C_{ч}$ | Руб/час | 95,29 | 84,87 |
| Коэффициент, учитывающий начисления к основной заработной плате | $k_{зпл}$ | - | 1,81 | 1,81 |
| Отчисления на дополнительную заработную плату | $k_{д}$ | % | 10 | 10 |
| Коэффициент отчислений на социальные нужды | $N_{соц}$ | % | 30 | 30 |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов | $ктз$ | - | 1,05 | 1,05 |
| Финансовые затраты на покупку оборудования | $Ц_{об}$ | Руб | 62105 | 128000 |
| Норма амортизационных отчислений на оборудование | $На$ | % | 18 | 18 |
| Коэф. Полезного действия установки | $КПД$ | - | 0,7 | 0,78 |
| Стоимость электроэнергии | $Ц_{э-э}$ | Руб/кВт | 3,02 | 3,02 |
| Удельный расход горючего газа | $Узг$ | $M^3/час$ | - | 50 |
| Стоимость горючего газа | $Цзг$ | Руб/ m^3 | - | 50 |
| Стоимость аренды площади | $C_{экспл}$ | Руб/ m^2 | 1800 | 1800 |
| Стоимость приобретения производственных площадей | $Цпл$ | Руб/ m^2 | 4500 | 4500 |
| Площадь занимаемая оборудованием | S | M^2 | 8 | 11 |
| Норма амортизационных отчислений на площадь | $Напл$ | % | 2 | 2 |
| Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования | $k_{монт}$ $k_{дем}$ | % | 2 | 2 |

5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для расчета штучного времени на наплавку одного изделия применим зависимость:

$$t_{шт} = t_{n-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} \quad (5.1)$$

где $t_{n-з}$ – время, расходуемое на подготовительно-заключительные операции, $t_{n-з} = 0,05\%$ от t_0

$t_0 = t_M$ – время, расходуемое непосредственно на выполнение сварного шва - машинное.

$t_в$ – время, расходуемое на подготовку сварочного оборудования к работе

$t_в = 10\%$ от t_0 .

$t_{отл}$ – время, расходуемое рабочими на отдых и личные надобности $t_{отл} = 5\%$ от t_0 ;

$t_{обсл}$ – время, расходуемое рабочими на обслуживание рабочего места

$t_{обсл} = 8\%$ от t_0 ;

$t_{н.п}$ – время неустраняемых перерывов, 1% от t_0 .

Машинное время определим по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}}, \quad (5.2)$$

где: $L_{ш}$ – кольцевой шов - 0,238 м;

$I_{св}$ – сварочный ток, А;

$\alpha_{напл}$ – коэффициент наплавки, 9 Г/А·час.

$M_{напл.мет}$ – масса наплавленного металла, кг/м;

Масса наплавленного металла $M_{напл.мет}$ – может быть определена по зависимости, кг/м:

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{Н}} \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

где ρ – плотность, 7,8 г/см³;

$F_{\text{Н}}$ – площадь валика, мм².

$$F_{\text{Н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}}$$

На толщину 3,5 мм.

$$F_{\text{Н}} = F_1 + F_2 + F_3 = 21 + 24 + 27 = 72 \text{ мм}^2$$

$$M_{\text{напл.мет.б}} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^{-3} = 0,561 \text{ кг/м}$$

Подставив в (5.2) необходимые значения, получим:

$$t_{\text{об}} = \frac{60 \cdot 0,078 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{150 \cdot 9} = 1,04 \text{ мин.},$$

$$t_{\text{штб}} = 1,04 + 1,04 \cdot 0,05\% + 1,04 \cdot 10\% + 1,04 \cdot 5\% + 1,04 \cdot 8\% = 1,28 \text{ мин.} = \\ = 0,021 \text{ час}$$

Проектный вариант для нанесения требуемого слоя на ширине 20 мм требуется $n=300$ оборотов при скорости вращения $N=150$ об/мин. Таким образом.

$$t_{\text{опр}} = 0,58 \text{ мин} = 0,009 \text{ час.}$$

тогда

$$t_{\text{штпр}} = 0,58 + 0,58 \cdot 0,05\% + 0,58 \cdot 10\% + 0,58 \cdot 5\% + 0,58 \cdot 8\% = 0,72 \text{ мин.} = \\ = 0,012 \text{ час.}$$

5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{\text{ОБЩ}} = K_{\text{ПР}} + K_{\text{СОП}} \quad (5.5)$$

где $K_{\text{ПР}}$ – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{\text{СОП}}$ – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{ПР}} = \sum C_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5.6)$$

где $\sum \Pi_{об}$ – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

$k_з$ – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60} \quad (5.7)$$

где $N_{пр}$ – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{шт}$ – время, расходуемое на сварку одного стыка трубопровода (штучное), мин.;

$\Phi_{эф}$ – фонд времени работы оборудования, час.

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.7) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ($n_{об.прин}$).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_з = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (5.8)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) \cdot T_{см} \cdot S \cdot (1 - k_{р.п}) \quad (5.9)$$

где D_k – всего дней в году;

$D_{вых}$ – всего выходных в году;

$D_{пр}$ – всего праздничных дней в году;

$T_{см}$ – длительность рабочей смены на предприятии, час;

S – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{р.п}$ – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{эф} = (365 - 110 - 14) \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

$$n_{\text{об.расчетн.б}} = \frac{1000 * 1,28}{1827 * 60} = 0,011$$

$$n_{\text{об.расчетн.пр}} = \frac{1000 * 0,72}{1827 * 60} = 0,006$$

$$k_{\text{зб}} = \frac{0,011}{1} = 0,011$$

$$k_{\text{зпр}} = \frac{0,006}{1} = 0,006$$

$$K_{\text{прб}} = 62105 \cdot 0,011 = 683,15 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{прпр}} = 128000 \cdot 0,006 = 768 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (5.10)$$

$K_{\text{монт}}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{\text{дем}}$ – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{\text{площ}}$ – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{\text{монт}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} \quad (5.11)$$

где $k_{\text{монт}}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям

$$k_{\text{монт}} = 0,2.$$

$$K_{\text{монт}} = 128000 \cdot 0,2 = 25600 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{дем}} = \sum \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (5.12)$$

где $k_{\text{дем}}$ – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям,
 $k_{\text{дем}} = 0,2$

$$K_{\text{дем}} = 62105 \cdot 0,2 = 12421 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = S_{\text{ПЛОЩ}} \cdot C_{\text{ПЛОЩ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.13)$$

где g – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{ПР}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{ПР}} = 768 + 25600 + 12421 = 38789 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.14)$$

$$K_{\text{удб}} = \frac{683,15}{1000} = 0,68 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{удпр}} = \frac{38789}{1000} = 38,78 \text{ руб.}$$

5.4 Определение технологической себестоимости

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{ОСН}} + ЗМ_{\text{ВСП}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время на предприятии технологии дуговой наплавки в качестве вспомогательных материалов используют

сварочную проволоку сплошного сечения, расходы на закупку которой определим по формуле

$$ЗМ_{эл.} = Н_{эл.} \cdot Ц_{эл.} \quad (5.16)$$

где $Ц_{эл.}$ – стоимость штучных электродов, руб/кг;

$Н_{эл.}$ – расход штучных электродов согласно нормативам, кг.

$$Н_{эл.} = У \cdot L_{ш.} \quad (5.17)$$

где – $У$ – расход штучных электродов на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш.}$ – общая протяженность сварного соединения, м.

$$У = k_p \cdot M_{напл.мет} \quad (5.18)$$

где k_p – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$M_{напл.мет}$ – общее количество присадочного материала, штучных электродов, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.19)$$

где ρ – плотность стали – материал штучных электродов, 7,8 г/см³;

F_n – площадь поперечного сечения шва, $F_n = 129 \text{ мм}^2$.

$$M_{напл.мет} = 7,8 \cdot 159 / 1000 = 1,240 \text{ кг.}$$

$$У = 1,7 \cdot 1,240 = 2,10 \text{ кг/м.}$$

$$Н_{эл.} = 2,10 \cdot 0,687 = 1,448 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{элб} = 68 \cdot 1,448 = 1,49 \text{ руб;}$$

$$ЗМ_{г} = 1,49 \text{ руб.}$$

Для предлагаемой в проектном варианте технологии в качестве вспомогательных материалов используют напыляемую проволоку и горючие газы, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{свпп} = ЗМ_{свпп} + Зг \quad (5.19)$$

Затраты на проволоку

$$M_{пппп} = Ц_{пп} \cdot Н_{пп}; \quad (5.20)$$

где $Ц_{пп}$ – цена проволоки, руб/кг;

$N_{\text{ПР}}$ = норма расхода напыляемой проволоки, кг.

Норма расхода напыляемой проволоки

$$N_{\text{ПР}} = (\pi \cdot D^2/4 - \pi \cdot d^2/4) \cdot \delta \cdot \gamma \quad (5.21)$$

где – D и d соответственно наружный и внутренний диаметры напыляемого вала, см;

δ – ширина, см;

γ – плотность, г/см³.

$$N_{\text{ПР}} = (3,14 \cdot 1,5^2/4 - 3,14 \cdot 1,45^2/4) \cdot 1,0 \cdot 7,8 = 11 \text{ г} = 0,011 \text{ кг}$$

$$M_{\text{ПРПР}} = 0,011 \cdot 210 = 2,31 \text{ руб.}$$

Затраты на кислород и ацетилен (только для проектного варианта)

$$M_{\text{КА}} = C_{\text{К}} \cdot N_{\text{К}} + C_{\text{А}} \cdot N_{\text{А}} \quad (5.19)$$

где $C_{\text{К}}$ – финансовые затраты на кислород, руб/литр;

$C_{\text{А}}$ – финансовые затраты на ацетилен, руб/литр;

$N_{\text{А}}$ – принятое значение расхода ацетилена, л.

$N_{\text{К}}$ – принятое значение расхода кислорода, л.

Норма расхода кислорода:

$$N_{\text{К}} = Q_{\text{К}} \cdot t_0 \quad (5.20)$$

где $Q_{\text{К}} = 4$ л/мин.

$$N_{\text{К}} = 4 \cdot 0,58 = 2,32 \text{ л.}$$

Норму расхода ацетилена:

$$N_{\text{А}} = Q_{\text{А}} \cdot t_0 \quad (5.21)$$

где $Q_{\text{А}} = 3$ л/мин.

$$N_{\text{А}} = 3 \cdot 0,58 = 1,74 \text{ л}$$

$$M_{\text{КА}} = 2,32 \cdot 0,15 + 1,74 \cdot 0,25 = 0,78 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы в проектном варианте

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{прпр}} + M_{\text{КА}} = 2,31 + 0,78 = 3,09 \text{ руб.}$$

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$Z_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_0}{\text{КПД}} C_{\text{э-э}} \quad (5.29)$$

где $P_{об}$ – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении сварного соединения, кВт;

$Ц_{э-э}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении сварного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении сварного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{обб} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^б = \frac{3,6 \cdot 0,056}{0,7} 3,02 = 0,63 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{обпр} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^{пр} = \frac{6,3 \cdot 0,027}{0,75} 3,02 = 0,49 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.30)$$

где $A_{об}$ – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{т.р}$ – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} \cdot N_{об} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.31)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб;

$N_{об}$ – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{\text{об}}^{\text{б}} = \frac{62105 \cdot 4,21 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,27 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{об}}^{\text{пр}} = \frac{128000 \cdot 2,00 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,43 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{C_{\text{об}} * H_{\text{т.р}} * k_3}{\Phi_{\text{эф}} * 100} \quad (5.32)$$

где $H_{\text{т.р}}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, $\approx 35\%$;

$$P_{\text{тр}}^{\text{б}} = \frac{62105 * 35 * 0,027}{1812 * 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{128000 * 35 * 0,012}{1812 * 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$З_{\text{об}}^{\text{б}} = 0,27 + 0,20 = 0,47 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{об}}^{\text{пр}} = 0,43 + 0,16 = 0,39 \text{ руб.}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$З_{\text{площ}} = \frac{C_{\text{площ}} \cdot S_{\text{площ}} \cdot Na_{\text{площ}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.33)$$

где: $C_{\text{площ}}$ – цена 1 м^2 производственной площади, руб.;

$Na_{\text{площ}}$ – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{площ}}$ – площадь, занимаемая сварочным оборудованием, м^2 ;

$$З_{\text{площ}}^{\text{б}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4,21}{1812 * 100 * 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{площ}}^{\text{пр}} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 2,00}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

На следующем этапе определяем затраты по оплате труда

Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} \quad (5.34)$$

где $ЗПЛ_{осн}$ - основная зарплата;

$ЗПЛ_{доп}$ - дополнительная зарплата.

$$ЗПЛ_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (5.35)$$

где $C_{ч}$ – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{шт}$ – штучное время, час;

$k_{зпл}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{пр} \cdot k_{вн} \cdot k_{у} \cdot k_{пф} \cdot k_{н} \quad (5.36)$$

где $k_{пр} = 1,25$ – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$ – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,1$ – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{пф} = 1,057$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,133$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,057 \cdot 1,133 = 1,81$$

$$ЗПЛ_{осн}^Б = 0,021 \cdot 95,2 \cdot 9 \cdot 1,81 = 4,60 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн}^{пр} = 0,012 \cdot 84,8 \cdot 7 \cdot 1,81 = 1,53 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.37)$$

где $k_{д}$ – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 4,60 \cdot 10/100 = 0,46 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^{пр} = 1,53 \cdot 10/100 = 0,15 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{Б} = 4,60 + 0,46 = 5,06 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{\text{ПР}} = 1,53 + 0,15 = 1,68 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{\text{СН}} = \PhiЗП \cdot N_{\text{СОЦ}} / 100 \quad (5.38)$$

где $N_{\text{СОЦ}}$ – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O_{\text{СН}}^{\text{Б}} = 5,06 \cdot 30 / 100 = 1,51 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{\text{СН}}^{\text{ПР}} = 1,68 \cdot 30 / 100 = 0,50 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{\text{ТЕХ}} = З_{\text{М}} + З_{\text{Э-Э}} + З_{\text{ОБ}} + З_{\text{ПЛ}} + \PhiЗП + O_{\text{СН}} \quad (5.39)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{Б}} = 1,49 + 0,63 + 0,47 + 0,02 + 5,06 + 1,51 = 9,18 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}} = 3,09 + 0,49 + 0,39 + 0,02 + 1,68 + 0,50 = 6,17 \text{ руб}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.40)$$

где $P_{\text{ЦЕХ}}$ – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + k_{\text{ЦЕХ}} \cdot З_{\text{ОСН}} \quad (5.41)$$

где $k_{\text{ЦЕХ}}$ – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

$З_{\text{ОСН}}$ – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 9,18 + 4,60 \cdot 1,72 = 9,18 + 11,50 = 20,68 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 6,17 + 1,53 \cdot 1,72 = 6,17 + 3,82 = 9,99 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.42)$$

где $P_{\text{ЗАВ}}$ – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент заводских расходов, 1,8

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 20,68 + 4,60 \cdot 1,97 = 20,68 + 8,28 = 28,96 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 9,99 + 1,53 \cdot 1,97 = 9,99 + 2,75 = 12,56 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на напыление одного изделия

| Показатели | Усл. обозн | Калькуляция, руб | |
|--------------------------------|------------------|------------------|--------|
| | | базов | Проект |
| Материалы | ЗМ | 1,49 | 3,09 |
| Фонд заработной платы | ФЗП | 5,06 | 1,68 |
| Отчисления на социальные нужды | О _{СН} | 1,51 | 0,50 |
| Затраты на оборудование | З _{ОБ} | 0,47 | 0,39 |
| Затраты на площади | З _{ПЛ} | 0,02 | 0,02 |
| Затраты на электроэнергию | З _{Э-Э} | 0,63 | 0,49 |
| Себестоимость технологическая | С _{ТЕХ} | 9,18 | 6,17 |
| Цеховые расходы | | 11,50 | 3,82 |
| Себестоимость цеховая | С _{ЦЕХ} | 20,68 | 9,99 |
| Заводские расходы | | 8,28 | 2,75 |
| Себестоимость заводская | С _{ЗАВ} | 28,96 | 12,56 |

5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости сварки стыка, определим по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.43)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = (28,96 - 12,56) \cdot 1000 = 14467,44 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности, определим по формуле:

$$\text{Э}_{\text{г}} = \left[\left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{б}} \right) - \left(C_{\text{зав}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}} \right) \right] \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.44)$$

$$\text{Э}_{\text{г}} = \left[(28,96 + 0,33 \cdot 0,68) - (12,56 + 0,33 \cdot 8,78) \right] \cdot 1000 = 6751 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штб}} - t_{\text{штпр}}}{t_{\text{штб}}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,021 - 0,012}{0,021} \cdot 100\% = 55\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.46)$$

$$\Delta \Pi_{\text{т}} = \frac{100 \cdot 55}{100 - 55} = 95\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (5.47)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{28240}{14467} \approx 2 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{\text{ср}} = 1/T_{\text{ок}} = 1/2 = 0,5. \quad (5.48)$$

5.6 Выводы по разделу

Внедрение оборудования с большей производительностью позволило уменьшить на 55% трудоемкость восстановления одного изделия, при увеличении производительности труда на 95%.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 2 года. Планируемый размер годового экономического эффекта составит 6751 руб.

С учетом полученных результатов расчетов можно сделать вывод о целесообразности внедрения результатов бакалаврской работы в производственные условия для восстановления изношенных валов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбатов, И.Н. Влияние плакирования двойного карбида титана-хрома на свойства плазменных покрытий / И.Н. Горбатов, Н.С. Ильченко, А.Е. Терентьев [и др.] // Физико-химическая обработка материалов. – 1991. – № 3. – С. 81–85.
2. Петров, С.В. Плазменный синтез в технологии газотермического напыления / С.В. Петров // Порошковая металлургия. – 1997. – № 9/10. – С. 34–38.
3. Горбатов, И.Н. Исследование свойств газотермических покрытий из композиционных порошков никель-карбид титана и хрома / И.Н. Горбатов, В.М. Шкиро, А.Е. Терентьев [и др.] // Физико-химическая обработка материалов. – 1991. – № 4. – С. 102–106.
4. Борисова, А.Л. Фазовые и структурные превращения в порошках чистого и плакированного двойного карбида титана–хрома в плазменной струе / А.Л. Борисова, А.И. Чернец // Проблемы специальной электротехнологии. – 1993. – № 3. – С. 63– 72.
5. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах : ПОТ РМ-020-2001 : ввод. в действие с 1 янв. 2002 г. - Москва : [б. и.], 2001. - 58 с.
6. Principles for developing grinding media with increased wear resistance. Part 1. Abrasive Wear Resistance of iron-based alloys / A.D. Koval, V.G. Efremenko, M.N. Brykov, M.I. Andrushchenko, R.A. Kulikovskii, A.V. Efremenko // Journal of friction and wear. – 2012. – V.33. – №1. – P. 39–46.
7. Щекин, В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
8. Мейстер Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с.

9. Горбатов, И.Н. Газотермические покрытия из композиционных порошков на основе карбида титана–хрома / И.Н. Горбатов, А.Д. Панасюк, Л.К. Шведова [и др.] // Защитные покрытия на металлах. – 1991. – Вып. 25. – С. 22–25.
10. Райцес, В.Б. Износостойкие плазменные покрытия на основе двойного карбида титана–хрома / В.Б. Райцес, В.М.Литвин, В.П. Рутберг и др. // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 46–47.
11. Борисов, Ю.С. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления / Ю.С. Борисов, С.В. Петров. // Автоматическая сварка. – 1993. – № 1. – С. 24–34.
12. Пащенко, В.Н. Влияние состава плазмообразующей воздушно-газовой смеси на параметры струи плазмотрона / В.Н. Пащенко. // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4. – С. 33–38.
13. Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
14. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
15. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник / Р. А. Фахрутдинов – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
16. Гостюшин, А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций / А. В. Гостюшин. — М.: Изд. «Зеркало», 1995.-288 с.
17. Рыбаков, В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ / В.М. Рыбаков. - 2-е изд. перераб.- М.: Высш. школа, 1986.- 208 с.
18. Рыбаков, А.М. Сварка и резка металлов. Учебник для средних профессионально-технических училищ / А.М. Рыбаков. - М.: Высшая школа, 1977.
19. Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure / L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, V.V. Anichenkov // Journal of Friction and Wear. – 2015. – №3. – P. 237–240.

20. Enhancement of steels wear resistance in corrosive and abrasive medium / V. Kaplun, P. Kaplun, R. Bodnar, V. Gonchar // *Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy : monograph /ed. by J. Shalapko, B. Zoltowski. – Bydgoszcz, 2013. – P. 320–329.*
21. Думов, С. И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов / С.И. Думов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
22. Райцес, В.Б. Износостойкие плазменные покрытия на основе двойного карбида титана–хрома / В.Б. Райцес, В.М. Литвин, В.П. Рутберг. [и др.] // *Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 46–47.*
23. Чебац, В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.
24. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // *Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.*
25. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // *Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.*
26. Бабинец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // *Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.*
27. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // *Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.*
28. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика / С.В. Жариков // *Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.*

29. Гофман, Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий // Автоматическая сварка. – 2001. – № 12. – С. 37–38.
30. Золотоносов Я. Д. Сварочное производство. Современные методы сварки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Я. Д. Золотоносов, И. А. Крутова ; Казан. гос. архит.-строит. ун-т. - Казань : КГАСУ, 2016. - 216 с.
31. Борисов, Ю.С. Сверхзвуковое воздушно-плазменное напыление керметных покрытий системы карбид титана–хрома – нихром / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова, М.В. Коломыцев, О.П. Масючок // Автоматическая сварка. – 2015. – № 2. – С. 21–27.
32. Каталог Оборудование Советского раздела выставки «Ремдеталь – 88». М.: Машиностроение, 1988 – 120 с.