

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 процессы»

(наименование)

15.04.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического оборудования

(направленность (профиль)/ специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Исследование и разработка технологий восстановления изношенных
валов напылением»

Студент

Л.Ф. Дуданова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор, Г.М. Короткова

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

Тольятти 2022

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1 Анализ исходных данных | 6 |
| 1.1 Анализ конструкции изношенного вала | 6 |
| 1.2 Свойства материала вала | 9 |
| 1.3 Описание дефектов вала | 10 |
| 1.4 Анализ способов восстановления изношенного слоя металла | 15 |
| 1.4.1 Восстановление газопламенной наплавкой | 17 |
| 1.4.2 Восстановление газопламенным напылением | 20 |
| 1.4.3 Восстановление плазменной наплавкой | 21 |
| 2 Повышение прочности сцепления покрытия с основой при газопламенном напылении порошком | 25 |
| 2.1 Повышение прочности сцепления покрытия с основой за увеличения площади поверхности подложки..... | 25 |
| 2.2 Влияние состава пламени на микротвердость покрытий ... | 27 |
| 2.3 Исследование влияния параметров режима ГПН порошком на прочность восстановленной поверхности вала | 30 |
| 3 Методика проведения исследований..... | 36 |
| 3.1 Организация поста для механической подготовки поверхности вала | 36 |
| 3.2 Разработка поста газопламенного напыления порошком . | 42 |
| 3.3 Изготовление шлифов и определение σ_b | 46 |
| 4 Разработка технологии восстановления вала газопламенным напылением порошком с использованием водородно-кислородной смеси | 50 |
| 4.1 Разработка технологии механической обработки поверхности вала (подложки) | 50 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.2 | Разработка технологии восстановления вала газопламенным напылением | 57 |
| 5 | Безопасность и экологичность объекта | 60 |
| | Заключение. | 69 |
| | Список используемых источников | 71 |
| | Приложение А Технологический процесс восстановления изношенного вала | 76 |

Введение

С появлением новых потребностей человека, которые способствуют развитию науки и техники, появляются новые способы производства и восстановления. Производство технологических установок, сборка агрегатов, узлов, ремонт деталей занимают важную часть производственного цикла изделия. Технология ремонта и восстановления деталей позволяет продлить срок службы изделий и экономить затраты на изготовления новой детали.

В современном машиностроении наиболее широкое применение нашли детали с вращательным движением, менее широко распространено поступательное и комбинированное – поступательное и вращательное движение или иначе винтовое движение.

Для передачи крутящего момента применяются специальные детали, такие как валы, оси, на которых располагаются на специальных изготовленных для этого участках, а именно цапфы или пятки, которые предназначены для закрепления вала в опорных устройствах – подшипниках или подпятниках.

Деталью типа «вал» называют, как правило, деталь, предназначение которой служить поддержкой установленных на ней звёздочек, зубчатых колёс, шкивов, катков для передачи вращающего момента, такие детали обычно имеют ступенчатую или гладкую цилиндрическую форму. В ходе эксплуатации валы подвержены нагрузкам изгиба и кручения, также в некоторых случаях кроме изгиба и кручения валы испытывают деформацию растяжения-сжатия. В случае валов, таких как карданные валы автомобилей, валки прокатных станков и др., которые не предназначены для закрепления на них вращающихся деталей работают только на кручение.

Ступенчатые валы наиболее удобны для сборки узлов, уступы таких валов предназначены для предотвращения осевого смещения деталей и фиксации положения детали в ходе сборки, обеспечивая свободное продвижение деталей по валу до места под посадку.

Именно такой ступенчатый вал и рассмотрен в качестве объекта исследования в магистерской работе.

Так как валы и оси в результате длительной эксплуатации поддерживаются к износу и появлению дефектов, таких как: задиры и износы посадочных шеек под подшипники; смятие и износ рабочих поверхностей, шлицев, резьбы, шпоночных канавок и т. д.; изгиб и скручивание вала; изломы и трещины. Существует множество способов восстановления деталей в зависимости от конструкции, материала изделия, его эксплуатационных свойств.

Из множества способов восстановления валов наиболее широкое применение имеют наплавка и напыление, за счёт наращивания слоя металла на изношенные поверхности с последующей механической обработкой. Процесс восстановления напылением или наплавкой способен восстановить деталь пригодную для работы в её привычных условиях эксплуатации.

Выбор между наплавкой и напылением зависит от: типа дефекта, его геометрических параметров, таких как толщина наносимого покрытия; условий работы сопрягаемых поверхностей деталей.

Таким образом, сформулируем цель магистерской диссертации: повышение качества восстанавливаемых валов путём разработки технологического процесса. Цель исследования актуальна в современных условиях.

Объектом диссертационного исследования является качество восстановленного слоя.

Предметом диссертационного исследования являются процессы обработки поверхности вала.

1 Анализ исходных данных

Первая глава выпускной работы посвящена анализу исходных данных восстанавливаемой детали. В главе рассмотрены анализ конструкции объекта исследований, химический состав марки материала и его механические свойства, в дальнейшем для выбора материалов процесса восстановления. Также в качестве исходных мы имеем перечень дефектов поверхностей ступенчатого вала, полученных в ходе длительно эксплуатации.

1.1 Анализ конструкции изношенного вала

В выпускной квалификационной работе в качестве объекта исследования был выбран ступенчатый вал коробки подач токарного оборудования.

Токарные станки чаще всего имеют одинаковую конструкцию и различаются лишь габаритами и расположением основных узлов оборудования. Основные узлы токарного оборудования, следующие:

- передняя бабка или шпиндельная;
- задняя бабка;
- коробка подач;
- станина;
- фартук;
- суппорт.

Коробка подач является одним из основных узлов металлорежущего оборудования и предназначена для регулирования скорости вращения ходового вала и ходового винта, то есть, выбор скорости подачи резца вдоль оси шпинделя напрямую зависит от работы коробки подач. В качестве примера, при выполнении операции точение поверхности вала механизм

коробки подач обеспечивает перемещение резца вдоль заготовки – подачу, на заданное значение за один оборот шпинделя.

В коробку подач входит редуктор, состоящий из переключаемых зубчатых передач. Через сменные зубчатые колёса на входной вал коробки подач поступает крутящий момент от шпинделя. Крутящий момент на выходе из коробки подач передаётся на ходовой вал и ходовой винт, от которых поступает усилие на фартук суппорта.

Выбор данной детали в качестве объекта исследования обусловлен тем, что габариты валов коробки передач металлорежущего оборудования зависят от конкретного станка и параметров обрабатываемой детали, при работе валы коробки передач испытывают нагрузки на изгиб, кручение и испытывают деформацию растяжение-сжатие [21]. Такие валы подвержены сильному износу в местах закрепления вращающихся деталей, из-за длительной эксплуатации. При таких условиях работы валы изготавливаются из конструкционных углеродистых качественных сталей, которые могут подвергаться дополнительной поверхностной термической обработке. Замена валов коробки передач на новую деталь не всегда целесообразна, чаще всего износу подвержены лишь некоторые поверхности детали, которые возможно восстановить.

Ступенчатый вал относится к типу детали – тела вращения. Ступенчатый вал предназначен для передачи вращающего момента и расположения на нём деталей. В анализ конструкции детали входит описание размеров детали, ее элементов, эскизы и чертежи объекта [23].

На рисунке 1 приведено обозначение поверхностей ступенчатого вала под посадку подшипников и втулок, шпоночные пазы и отверстия. Указаны поверхности износа.

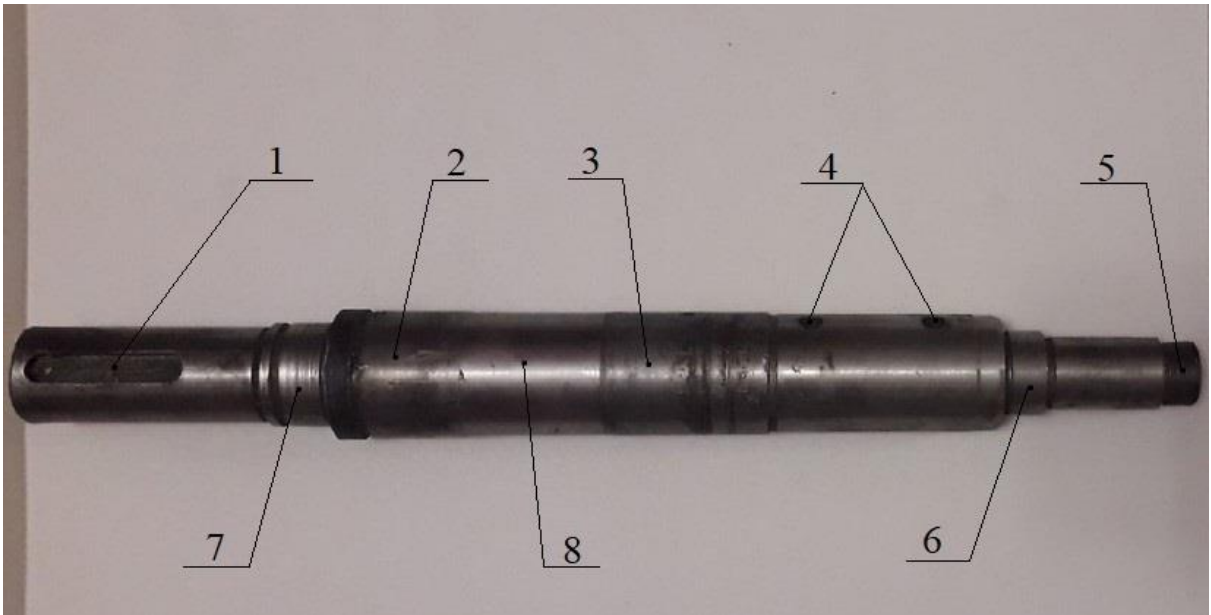


Рисунок 1 – Ступенчатый вал

Исходя из, рисунка 1 видно, что ступенчатый вал (поз. 8) содержит шпоночный паз (поз. 1), поверхности под посадку подшипников (поз. 6, 7), два отверстия диаметром 8 мм (поз. 4), также поверхности 2, 3 служащие для фиксации запрессовкой втулок.

Общая длина вала составляет 400 мм. Габаритные размеры ступенчатого вала и его конструкция приведены ниже на рисунке 2.

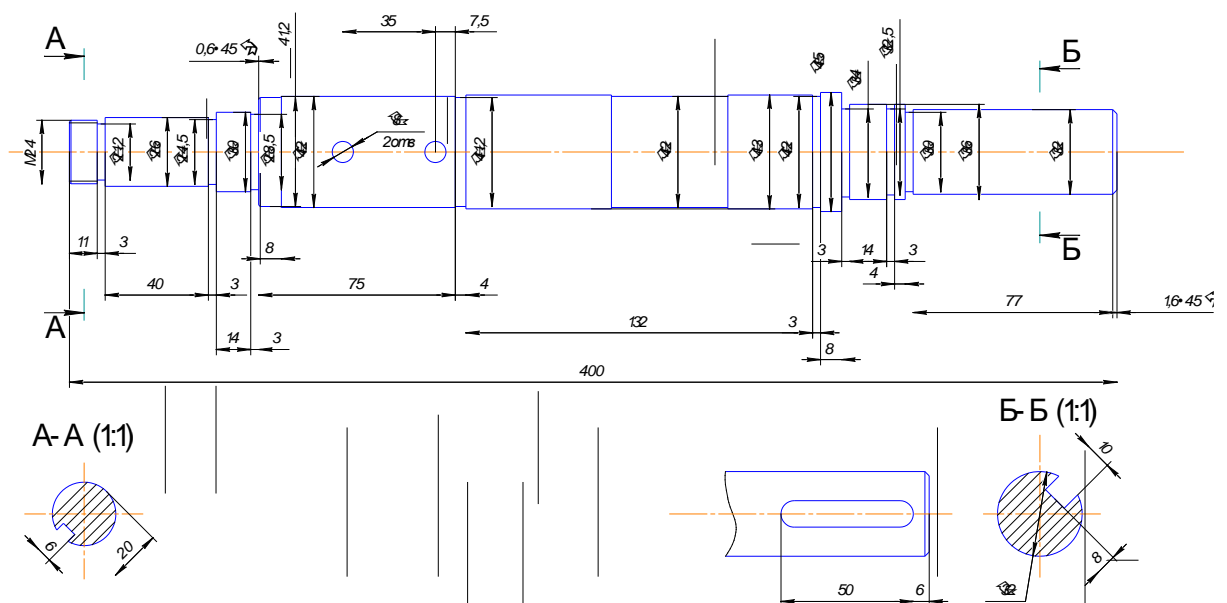


Рисунок 2 – Эскиз конструкции вала

Таким образом, проведя анализ конструкции детали и узнав элементы детали и её габариты, можем предварительно назначить необходимое оборудование для предварительной обработки и на операцию восстановления.

1.2 Свойства материала вала

Определение химического состава и механических свойств детали поможет подобрать необходимые материалы для ремонта и для выбора режущего инструмента в ходе механической обработки [22].

Как говорилось ранее, для работы при таких нагрузках валы изготавливаются из конструкционных углеродистых качественных сталей, которые могут подвергаться дополнительной поверхностной термической обработке. Валы данного типа изготавливают из стали 40, стали 45, стали 40Х и стали 45Х и т.д.

Материал ступенчатого вала – сталь 45. Из данной марки стали изготавливаются детали типа валов, шестерней, осей, болтов, шатунов и др. Сталь 45 предназначена для деталей, в требования которых входит повышенная твёрдость, износостойкость, и детали, работающие в условиях незначительных ударных нагрузках. Твёрдость стали по Бринеллю составляет 156 – 197 НВ. В качестве заменителей стали 45 применяются сталь 40Х, сталь 50, 50Г2.

Химический состав стали 45 в % по ГОСТ 1050–88, показатели приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 45 в % ГОСТ 1050-88

| C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | S | P | As | Fe |
|-----------|-----------|---------|----------|------|------|------|-------|------|------|
| | | | Не более | | | | | | |
| 0,42-0,49 | 0,17-0,37 | 0,5-0,8 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,04 | 0,035 | 0,08 | ~ 97 |

Механические свойства стали 45 согласно госту представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стали 45 ГОСТ 1050-88

| Состояние поставки, режим термообработки | σ_B , МПа | δ , % | ψ , % |
|---|------------------|--------------|------------|
| Сталь ковкая, горячекатаная, калиброванная и серебрянка второй категории после нормализации | 600 | 16 | 40 |

Где, σ_B – временное сопротивление разрыву (предел прочности при растяжении), МПа; δ – относительное удлинение после разрыва, %; ψ – относительное сужение, %.

Сталь 45 относится к трудно свариваемым сталям. Методы сварки для данной стали – РДС (ручная дуговая сварка) с подогревом и последующей термообработкой, также КТС – (контактная точечная сварка), также с последующей термообработкой. Сталь не склонна к отпускной хрупкости.

1.3 Описание дефектов вала

Износу и возникновению дефектов подвержены абсолютно все детали, вследствие эксплуатации, некачественного изготовления, из-за внутренних напряжений, структура детали начинает разрушаться. В случае износа деталь отправляют на ремонт так, как это зачастую экономически выгоднее, нежели изготовление нового изделия. Исходя из условий эксплуатации детали и её физического состояния выбирают технологию восстановления.

Чаще всего, у деталей типа вал, износу наиболее подвержены посадочные поверхности, такие как шейки валов под подшипники и резьбовые поверхности, места под ступицы колес со шпоночными пазами и сами шпоночные пазы, поверхности зубьев [19]. Износ происходит из-за силы трения поверхности о поверхность. На вал детали напрессовываются с

натягом, в качестве дополнительной фиксации и передачи крутящего момента детали, на валу изготавливаются шпоночные пазы. Вследствие длительной эксплуатации данные поверхности истираются, что приводит к нарушению работы механизмов.

Ступенчатый вал стал не пригодным к эксплуатации из-за появления дефектов на поверхностях вала [20]. После проведения визуальной оценки ступенчатого вала были обнаружены поверхности с видимым износом. Рассмотрим все виды дефектов присутствующие на детали.

На рисунке 3 и 4 показаны места износа шеек вала посадки под подшипники (поверхности 6, 7, рис. 1).

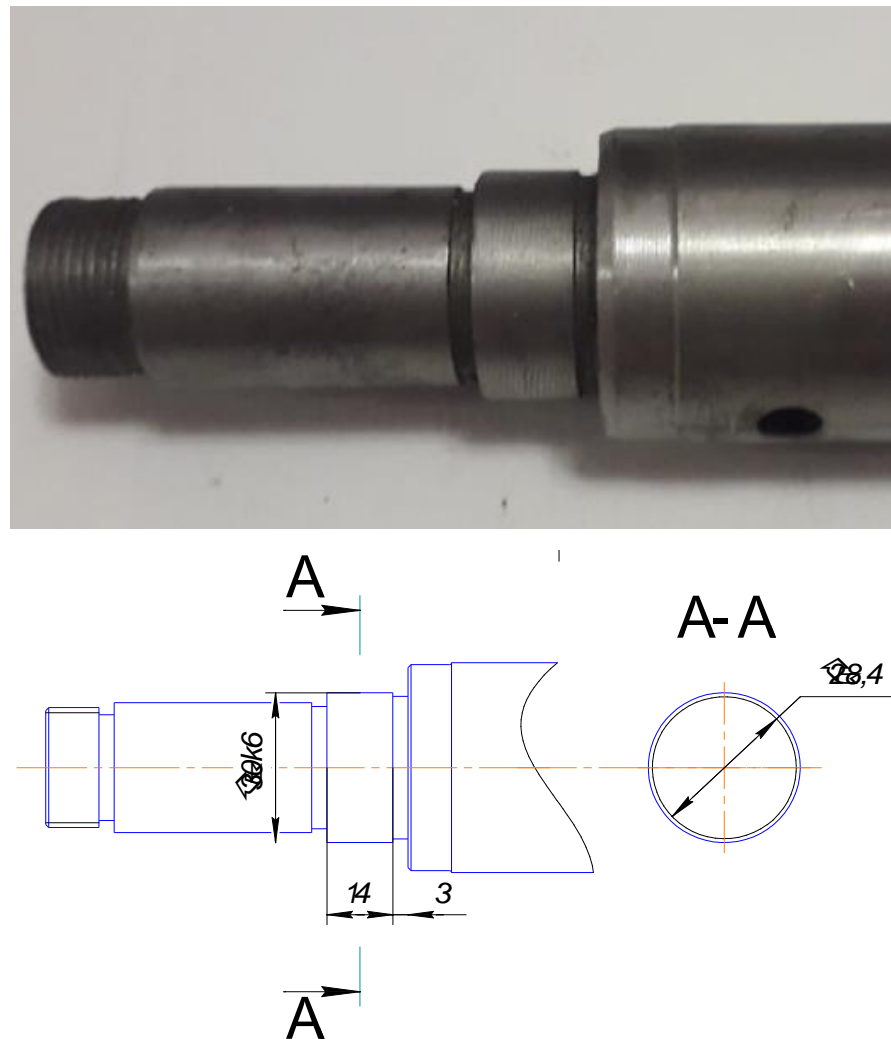


Рисунок 3 – Поверхность 6 износ шейки вала – посадка под подшипники

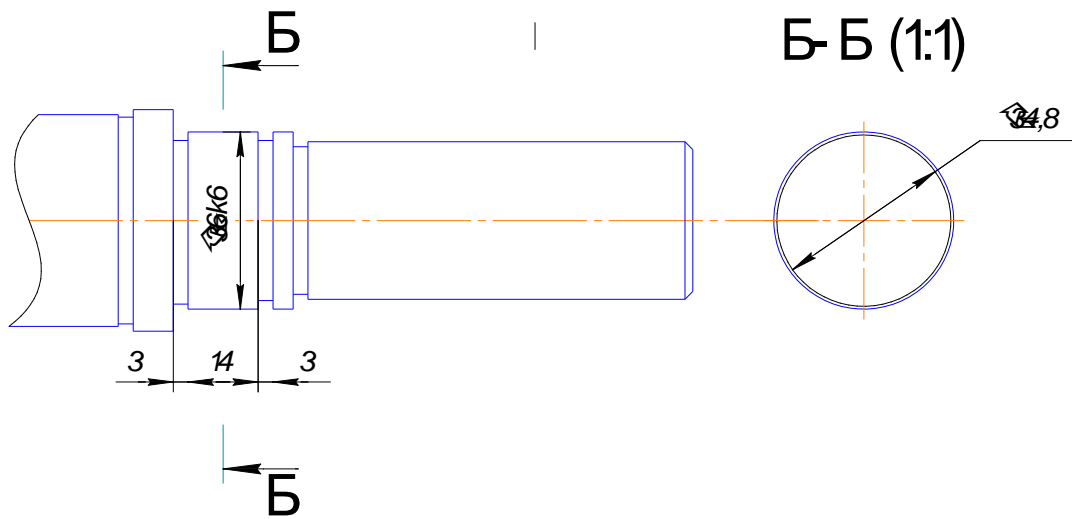


Рисунок 4 – Поверхность 7 износ шейки вала – посадка под подшипники

На рисунках 3 и 4 в сечениях А и Б указана величина износа диаметра. На фотографиях фрагментов вала можем видеть риски на поверхностях полученные в результате истирания поверхности о поверхность.

Кроме того, имеем зоны износа в области расположения втулок – поверхности 2, 3 (рисунок 5).

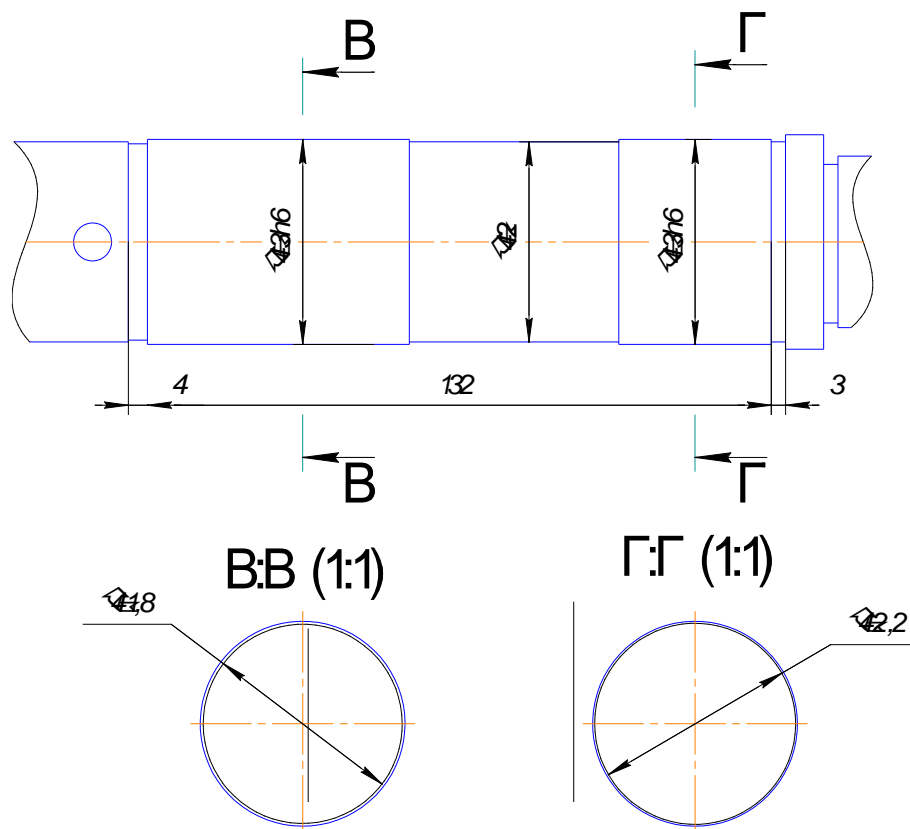


Рисунок 5 – Эскиз изношенного вала в области расположения втулок:
поверхности 2, 3

В случае с поверхностями 2, 3, 6, 7 из-за малого износа и условий работы этих поверхностей целесообразно применять метод восстановления наплавкой или напылением. Однако при незначительном износе шейки, как пример риски царапины и овальность, дефект устраняется путём механической обработки на операции шлифования, поверхность обрабатывают под новый рабочий размер.

Помимо цилиндрических поверхностей износу подвержен шпоночный паз, за счёт которого выполняется фиксация детали на валу. На рисунке 6 обозначены места износа шпоночного паза.

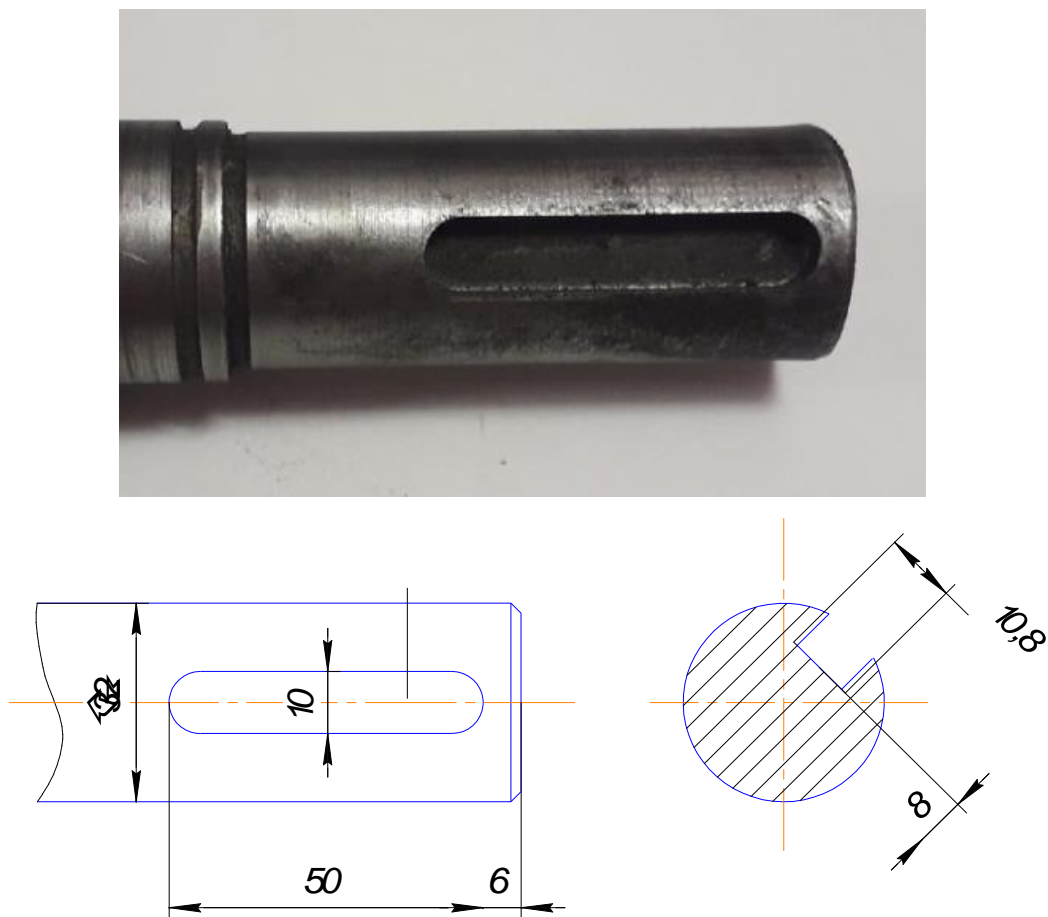


Рисунок 6 – Эскиз изношенного паза

Ремонт изношенного шпоночного паза может быть следующим. В случае, если есть возможность паз фрезой растачивают под новый размер вместе с пазом с сопрягаемой деталью. В случае если не имеется такой возможности, то существующий паз заваривается и под углом $90^\circ - 180^\circ$ фрезеруется новый.

Резьбовые поверхности подвергаются смятию, сколам резьбы в ходе работы, для восстановления резьбы следует убрать резьбу точением, затем

наплавить не обходимый слой металла на поверхность, после чего нарезать новую резьбу.

Сведём все полученные параметры износа на поверхностях вала в таблицу 3.

Таблица 3 – Параметры износа цилиндрических поверхностей ступенчатого вала

| № пов. | d, мм | d _{изн} , мм | Δd, мм | S, мм | Эскиз |
|--------|-------|-----------------------|--------|-------|-------|
| Пов. 2 | 43 | 41,8 | 1,2 | 0,6 | |
| Пов. 3 | 43 | 42,2 | 0,8 | 0,4 | |
| Пов. 6 | 30 | 28,4 | 1,6 | 0,8 | |
| Пов. 7 | 36 | 34,8 | 1,2 | 0,6 | |

В случае износа деталь отправляют на ремонт так, как это зачастую экономически выгоднее, нежели изготовление нового изделия. Определив степень износа вала, по визуальной оценке, и снятию замеров с дефектов, изучив свойства стали 45 и конструктивные особенности ступенчатого вала, делаем заключение, что ступенчатый вал подлежит ремонту. В последующих главах магистерской диссертации необходимо определить способ восстановления и разработать для него технологический процесс.

1.4 Анализ способов восстановления изношенного слоя металл

Для разработки технологического процесса необходимо определить способ восстановления исходя из вида дефектов и конструкции детали [18].

Восстановление изношенного слоя металла может быть выполнено множеством известных способов ремонта:

- механическая и слесарная обработка;
- сварка;
- наплавка;
- напыление;
- металлизация;
- отслаивание;
- упрочнение и восстановление поверхности деталей под давлением.

Выбор способа восстановления зависит от: вида дефекта, типа восстанавливаемой поверхности, материала изделия и тип нагрузок, испытываемых деталью.

Такие дефекты как трещины, пробоины, царапины, выкрашивание и значительные задиры, возникающие в результате действия внутренних напряжений, механических повреждений или больших усилий убирают за счёт слесарно-механической обработкой. Дефекты запаивают, заливают, заваривают, ставят заплаты и т.д.

Сварочные работы при ремонте оборудования применяются для создания не разъёмных соединений повреждённых или разрушенных деталей. При ремонте распространены такие виды сварки, как автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка, менее совершенны, но имеют место ручные способы сварки, такие способы незаменимы при ремонте из-за универсальности, манёвренности и простоте процесса.

Также одним из основных методов восстановления являются наплавка и напыление слоя металла. Такие способы применяются, когда возникает износ трущихся поверхностей и необходимо восстановить изношенный слой металла и придать ему износостойчивость. Качество после процесса восстановления напрямую зависит от состояния ремонтируемой поверхности.

Восстановление покрытия металлизацией называется нанесение на поверхность расплавленного слоя металла, который в свою очередь имеет не монолитную, а пористую массу, состоящую из окисленных частиц. В специальном приборе – металлизаторе расплавленный металл распыляется на мельчайшие частицы струёй воздуха или газа.

Гальваническое наращивание слоя металла или отслаивание – это один из методов современного ремонта. В отличие от хромирования отслаивание позволяет наносить слой металла большей толщины 2 – 3 мм и более. Этот способ целесообразно применять в случае восстановления деталей с невысокой поверхностной твердостью или с неподвижными посадками, также имеет место восстановление деталей с величиной износа более 0,5 мм, работающие на трение и удары.

Восстановление и упрочнение деталей давлением – ещё один способ ремонта поверхностного слоя. Таким методом восстанавливаются детали, обладающие пластичностью в холодном и нагретом состоянии. Метод основан на пластичности металлов и их способности изменять свою геометрию под действием внешних сил. Восстановление до номинальных значений проводят с помощью специальных приспособлений, слой металла с не рабочих поверхностей переносят на изношенные участки детали.

Согласно проведённому анализу (пункты 1.1 – 1.3) имеем, что в основном в ремонте нуждаются цилиндрические поверхности с износом диаметра от 0,4 до 1 мм (марка материала детали Ст. 45). В виду этого наиболее целесообразно ремонт поверхностей детали проводить способами наплавки и напылением.

1.4.1 Восстановление вала газопламенной наплавкой

Метод наплавки заключается в нанесении слоя металла на поверхность изделия посредством сварки плавлением.

Наплавка в процессе ремонта включает восстановление номинальных размеров повреждённых деталей. В таком случае металл для наплавки подбирают близким по составу и свойствам к основному материалу для восстановления размеров и может отличаться для нанесения износостойкого покрытия.

Также как и способы сварки, способы наплавки классифицируются на физические, технические и технологические.

По физическому признаку или по используемому источнику нагрева способы наплавки разделяются на следующие:

- термические, такие как электрошлаковая, дуговая, плазменная, световая, электроннолучевая, индукционная, газовая, печная;
- термомеханические – прокаткой, контактная, экструдированием;
- механические – трением и взрывом.

В свою очередь эти способы могут отличаться по техническому признаку – непрерывность степени наплавки, степень механизации наплавки, способы защиты металла в зоне наплавки, также имеют отличие по технологическому признаку – количество электродов, род тока, наличие внешнего воздействия и т.д. В таблице 4 представлены способы наплавки и её характеристики.

Таблица 4 – Способы наплавки

| Способы наплавки | Произ-ть кг/ч | Доля основ. металла, % | Толщ. напл. слоя, мм |
|---|------------------|---------------------------|-------------------------|
| Газовая с присадкой проволоки или прутков | 0,5-1,5 | 1,0 | 0,8-5,0 |
| Газопорошковая | 0,5-3,0 | 1,0 | 0,3-3,0 |
| Аргонодуговая неплавящимся электродом | 1,0-7,0 | 10-30 | 2,5-5,0 |
| Плавящимся электродом в защитном газе | 1,5-9,0 | 30-60 | 3,0-5,0 |
| Ручная дуговая покрытыми электродами | 0,8-3,0 | 20-50 | 2,0-5,0 |
| Под флюсом одной проволокой | 2-12 | 30-60 | 3,5-5,0 |
| Под флюсом многоэлектродная | 5,0-40 | 15-30 | 5,0-8,0 |
| Под флюсом лентой | 5,0-40 | 10-20 | 2,5-10 |

Продолжение Таблицы 4

| Способы наплавки | Произ-ть кг/ч | Доля основ. металла, % | Толщ. напл. слоя, мм |
|--|------------------|---------------------------|-------------------------|
| Дуговая сadoxазитной проволокой | 2,0-9,0 | 25-50 | 2,5-5,0 |
| Дуговая сadoxазитной лентой | 10-20 | 15-40 | 2,5-5,0 |
| Электрошлаковая двумя электродными лентами | 10-60 | 5,0-15 | 1,5-5,0 |
| Электрошлаковая электродными проволоками | 20-60 | 10-20 | 6,0-50 |
| Электрошлаковая зернистым присадочным материалом | 20-200 | 5,0-50 | 15-50 |
| Плазменным порошком | 0,8-6,0 | 5,0-15 | 0,3-6,0 |
| Индукционная | 2,0-15 | 5,0-15 | 0,4-3,0 |

Из представленных способов наплавки наиболее подходящим способом восстановления для ступенчатого вала является наплавка плазменным порошком и газопорошковая наплавка.

Газопламенная наплавка (ГН) выглядит следующим образом, нагретый расплавленный пламенем газа металл, сжигаемого в смеси с кислородом в специальных горелках. Ацетилен или его заменители такие как пропан-бутановая смесь, природный газ, водород и другие газы при газопламенной наплавке применяются в качестве горючего газа. Существует газопламенная наплавка с присадкой прутков или с применением порошка.

Газопламенная наплавка имеет следующие достоинства:

- малое проплавление основного металла;
- универсальность и гибкость технологии;
- возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки, которыми обладает ГН следующие:

- низкая производительность процесса;
- нестабильность качества наплавленного слоя.

1.4.2 Восстановление вала газопламенным напылением

Как ещё один способ восстановления ступенчатого вала рассмотрим процесс напыления. При восстановлении деталей напылением применяется порошок, благодаря которому есть возможность регулировать состав наносимого покрытия в сравнении с проволокой, использование порошков в отличие от проволоки способствует повышению прочности сцепления покрытия с основой.

Применение процесса напыления для восстановления деталей позволяет экономить за счёт изготовления новых деталей и сократить простой оборудования.

Газопламенное напыление это один из методов напыления, который заключается в том, что на металлическую поверхность наносится слой мелкозернистой среды из износостойких, антикоррозионных и огнеупорных материалов, что приводит к улучшению функциональных характеристик деталей.

При восстановлении напылением самыми важными показателями качества защитного покрытия являются:

- пористость покрытия;
- твердость наносимого слоя металла;
- адгезия;
- микроструктура покрытия.

Покрытие при газопламенном напылении характеризуется следующими параметрами:

- слой напыления толщиной от 0,4 до 10 мм;
- пористость покрытия составляет 5 – 12 %;

— прочность сцепления покрытия с основой (адгезия) составляет 2,5 – 5,0 кг/мм²;

Преимущества при выборе газопламенного напыления в качестве процесса восстановления:

- возможность нанесения низко пластичных материалов;
- получение материалов с уникальными свойствами;
- доступность технологии проведения процесса восстановления при частичном износе детали с минимальными затратами;
- поверхность деталей оборудования защищается от коррозии, газоабразивного износа, гидро-износа;
- мобильность комплексов нанесения покрытия на производстве для любой площади поверхности;
- способность нанесения покрытия на детали сложной конфигурации поверхностей;
- после нанесения покрытия отсутствуют внутренние напряжения дефекты на поверхности и микроструктуры из-за отсутствия давления и высоких температур в процесс ремонтных работ.

Таким образом, газопламенное напыление со всеми своими характеристиками в случае с нашим объектом исследования и темой диссертационной работы в сравнении с газопламенной наплавкой приоритетнее в качестве процесса восстановления.

1.4.3 Восстановление плазменной наплавкой

Плазменная наплавка (ПН) заключается в использовании в качестве источника сварочного нагрева плазменную дугу. При ПН используется постоянный ток прямой или обратной полярности.

Плазменная наплавка обладает следующими достоинствами:

- высокое качество наплавленного металла;

Наибольшее распространение получила плазменно-порошковая наплавка, из-за того, что порошки могут быть получены из практически любого подходящего для наплавки сплава.

Таким образом, с учётом вышеизложенного анализа всех методов восстановления и учётом достоинств и недостатков каждого метода делаем вывод, что проблема с восстановлением ступенчатого вала, в нашей работе, решается за счёт газопламенного напыления. Из различных методов восстановления наилучшее качество покрытия мы добиваемся именно газопламенным напылением. Однако, материал ступенчатого вала и его геометрические параметры вызывают некоторые трудности в ходе ремонта. Проведя исследование возможных способов улучшения качества покрытия, на основе результатов анализа найденных зарубежных исследований [27 – 31] и отечественных работ [9 – 12] был разработан технологический процесс напыления изношенного вала порошком ПР-65Х25Г12НЗ.

Для достижения поставленной цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи.

- Провести анализ конструкции вала, возникающих дефектов и способов восстановления вала.
- Выбрать материал для газопламенного напыления, обеспечивающего качество покрытия, обладающего необходимыми характеристиками для механической обработки.
- Определить влияние глубины проплавления на качество наплавляемого слоя.
- Разработать технологический процесс восстановления вала газопламенным напылением

Таким образом, задачи, поставленные в работе, формируют структуру магистерской диссертации, которая включает в себя: введение; четыре главы; заключение.

В качестве теоретической, информационной баз для исследования использовались:

- государственные стандарты и нормативная документация;
- российские и зарубежные публикации учёных, инженеров сварки, наплавки, напыления и контроля;
- информация по проблеме исследования полученная поисков в интернет-источниках.

При проведении исследования применялись общенаучные и специальные методы исследования. Применялись аналитические и логические – специальные методы. По теме исследования проводился анализ источников литературы. Для получения выводов применялись логические методы исследования.

2 Повышение прочности сцепления покрытия с основой при газопламенном напылении порошком

Опираясь на анализ первой главы, выбираем метод восстановления изношенного покрытия ступенчатого вала напылением. Анализ известных способов восстановления показал, что при ремонте малых партий изделий целесообразно применение газопламенного напыления. Этот метод позволит восстановить поверхность и повысить износостойкость шеек вала под посадку подшипников.

Процесс напыления имеет свои недостатки и одним из них является адгезия – сцепление покрытия и основы. При некачественном выполнении ремонта после внедрения вала в работе или на этапе контроля наблюдается отрыв и выкрашивание напыленного слоя от основного металла. Повышение прочности сцепления покрытия с подложкой, становится возможным при применении водородно-кислородной смеси с использованием порошка, что позволит повысить прочность сцепления покрытия с подложкой [9, 10].

Также эта проблема может быть решена несколькими способами, которые будут рассмотрены во второй главе.

2.1 Повышение прочности сцепления покрытия с основой за счет увеличения площади поверхности подложки

Одним из способов решить проблему, связанную с качеством сцепления подложки и покрытия – это увеличение площади поверхности подложки. В зависимости от метода предварительной подготовки мы можем влиять на прочность сцепления подложки и покрытия.

Значения прочности сцепления в зависимости от способа подготовки поверхности приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Способы подготовки поверхности

| Способ подготовки поверхности | Прочность сцепления, МН/м ² |
|---------------------------------------|--|
| Накатка (прямая, косая, перекрёстная) | 98 |
| Нарезка «рваной» с прикаткой вершин | 152 |
| Нарезка кольцевых канавок | 137 |

Из таблицы 5 видно, что наибольшая прочность сцепления получается за счёт нарезки «рванной» резьбы.

Для расчета и исследования повышения прочности сцепления покрытия с основой за счёт увеличения площади поверхности подложки рассмотрим поверхности 6 и 7 на рисунке 1. Эти поверхности являются шейками вала под посадку подшипников диаметр, которых для пов. 6 равен 30 мм для пов. 7 – 36 мм. Параметры износа вала для позиций 6 и 7 приведены в таблице 3. Величина износа составляет 0,6 мм для пов. 7 и 0,8 мм для поз. 6.

Для увеличения связи между материалом покрытия и восстанавливаемого участка вала предлагается при подготовке его поверхности накатывать резьбу с замковым профилем (рисунок 8), который называют «рванным». Накатывание «рваного» профиля производят по предварительно нарезанной резьбе. Для поверхности 7 (таблица 3), выбираем метрическую резьбу М34×3 согласно номинальным диаметрам поверхностей под подшипники, и шагом резьбы равному $P = 3$ (рисунок 8). Для получения «рванной» резьбы применяются профильные ролики И.Н. Кравченко [1 – 4]. В результате поверхность для нанесения покрытия увеличится в 2,6 раза. Площадь посадочного места под подшипник $3,14 \cdot 36 \cdot 14 = 1582,6$ мм². С учетом замковой резьбы площадь увеличивается до 4114,7 мм² при выбранной резьбе с шагом 3мм. За счет увеличения площади сцепления порошка с подложкой увеличивается связь между материалом покрытия и материалом вала. Благодаря такой технологии подготовки поверхности удастся повысить прочность сцепления газопламенных покрытий с основой на 25%.

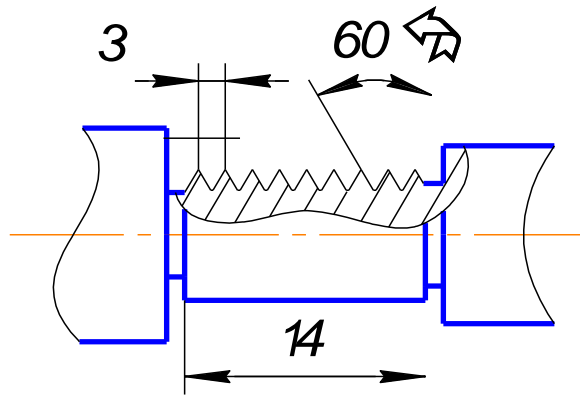


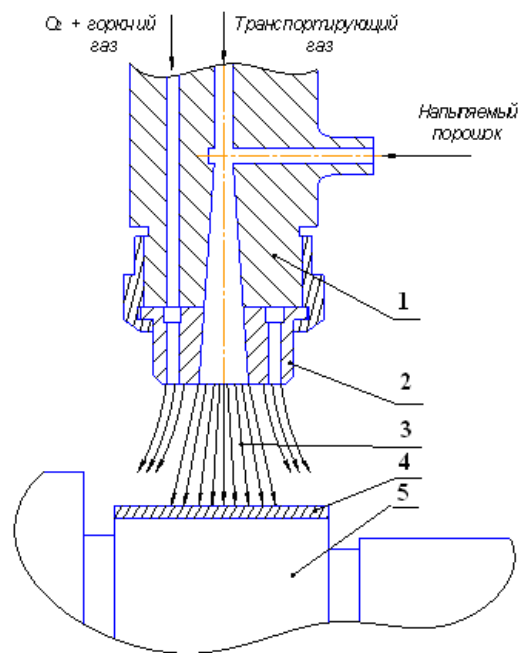
Рисунок 8 – Профиль рваной резьбы для пов. 7

С учетом чистовой токарной обработки определяется толщина слоя напыления. Напыляемый слой в данном случае составит 3,248 мм. Принимаем толщину слоя равную 3,5мм.

2.2 Влияние состава пламени на микротвердость покрытий

Газопламенное порошковое напыление осуществляется следующим образом: напыляемый порошок попадает в горелку сверху из бункера через отверстие, потоком транспортирующего газа (смесь кислород – горючий газ) разгоняется и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагревание. Схема газопламенного напыления порошком представлена на рисунке 9.

Вместе со струей горячего газа частицы порошка попадают на предварительно подготовленную напыляемую поверхность. В порошковых горелках, также как и в проволочных, подача напыляемого материала в пламя и разгон образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.



1 – головка; 2 – сопло; 3 – газовое пламя; 4 – наносимый слой; 5 – вал

Рисунок 9 - Схема газопламенного напыления вала порошком

В смеси кислород (O_2) – горючий газ, в большинстве случаев в качестве горючего газа используют ацетилен (C_2H_2). Также может быть применён пропан (C_3H_8), водород (H_2) или метил-ацетилен-пропан, который предварительно подвергают стабилизации.

При восстановлении детали газопламенным напылением в качестве транспортирующего газа применяется водородно-кислородная смесь.

Одним из основных недостатков газопламенного напыления является выделение продуктов сгорания органического топлива [10]. При использовании кислородно-водородной смеси для газопламенного напыления возникает возможность избавиться от существенного недостатка при напылении за счет выделения продуктов сгорания органического топлива.

В момент горения водородно-кислородной смеси активно протекают процессы окисления металлов, которые в свою очередь приводят к образованию оксидов соответствующих металлов.

При газопламенном напылении влияние на качество покрытия оказывает особое влияние состав горючего газа [9].

В ходе исследования изучено влияние состава водородно-кислородного пламени на микротвердость покрытий. Для этого изучены поперечные шлифы, плоскость которых перпендикулярна продольной оси вала. В качестве шлифов использовались специальные образцы с нанесённым газопламенным напылением покрытиями с применением различных горючих газов по составу [9].

В качестве горючих газов для сравнения влияния состава на микротвердость покрытия, изучены следующие по составу газы:

- водородно-кислородная (H_2+O_2) смесь с добавкой пропан-бутана 5% ($C_3H_8+C_4H_{10}$);
- водородно-кислородная (H_2+O_2) смесь;
- ацетилено-кислородная смесь ($C_2H_2+ O_2$).

Результаты исследования микротвердости покрытия в зависимости от состава горючего газа представлены на рисунке 10.

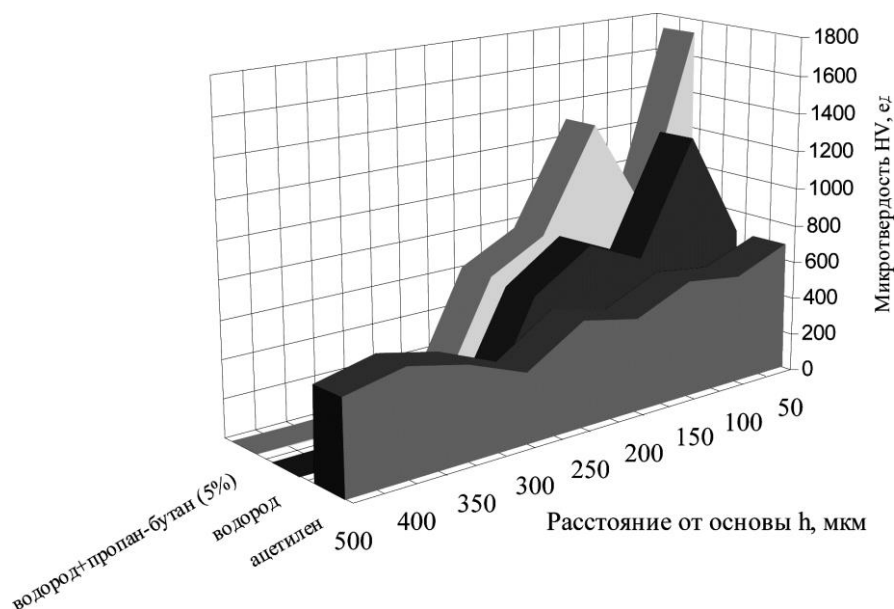


Рисунок 10 – Распределение микротвердости в поверхностном слое газопламенных покрытий порошком при использовании пламени различных горючих газов

Согласно результатам исследований, связанных с повышением микротвердости покрытий при газопламенном напылении водородно-кислородным пламенем [9], очевидно, что средние значения микротвердости по Виккерсу у покрытий полученных водородно-кислородным пламенем с 5 процентной добавкой пропан бутановой смеси составляет HV 1043; против HV 796 – на чистой водородно-кислородной смеси; HV 534 – на ацетилено-кислородном пламени (рисунок 10).

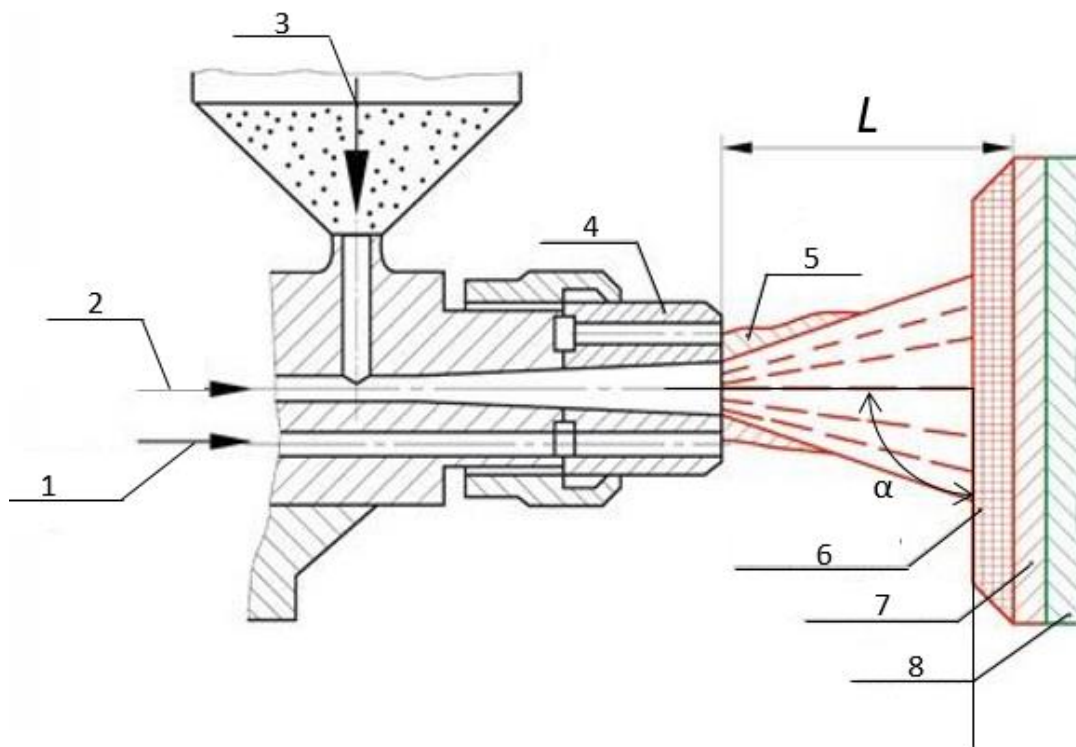
Таким образом, применение добавки в качестве пропан-бутана к водородно-кислородной смеси для газопламенного напыления позволяет повысить микротвердость покрытия на 24% в сравнении с чисто водородно-кислородным пламенем, а в сравнении с ацетилено-кислородной смеси микротвердость получаемого покрытия повышается на 49%.

2.3 Влияние режимов газопламенного напыления на прочность восстановленной поверхности вала

Увеличения площади сцепления поверхности за счет изменения геометрических параметров восстанавливаемой поверхности предварительной механической обработкой нарезанием «рваной» резьбы позволяет улучшить качество сцепления подложки с основой.

Перед тем как приступить к процессу восстановления следует провести предварительную механическую обработку поверхности. При этом следует отметить, что чем меньше разрыв во времени между подготовкой поверхности и процессом восстановления, тем выше прочность сцепления основы и покрытия.

Влияние на качество покрытия и прочность сцепления оказывают параметры обработки газопламенным напылением. Можно заметить, что такие параметры как дистанция L и угол напыления α контролируются за счёт положения газопламенной горелки (рисунок 11).



1 – кислород и горючий газ; 2 – транспортирующий газ; 3 – напыляемый порошок; 4 – сопло; 5 – факел; 6 – покрытие; 7 – подложка; 8 – деталь; L – дистанция напыления; α – угол напыления

Рисунок 11 – Схема газопламенного напыления

Определим режимы газопламенного напыления при восстановлении деталей и их влияние на процесс восстановления.

При исследовании способов восстановления валов при помощи газопламенного напыления было обнаружено, что при изменении параметров газопламенного напыления также можно контролировать качество наносимого покрытия и прочность сцепления основы и покрытия.

Согласно исходным данным, мы имеем на операции восстановления примерные параметры газопламенного напыления.

Режимы газопламенного напыления:

- кислород (O_2) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (55...135 л/ч);
- ацетилен (C_2H_2) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (50...135 л/ч);

— водородно-кислородная смесь ($H_2 + O_2$) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (16...24 л/мин);

— пропан-бутан ($C_3H_8 + C_4H_{10}$) – давление ($P = 0,03$ МПа), расход (0,8...1,2 л/мин);

— $L = 170 \dots 200$ мм – дистанция напыления;

— $\alpha = 90^\circ$ – угол атаки;

— $n = 100$ мин⁻¹ – частота вращения детали;

— $d_{п} = 60 \dots 70$ мкм – фракция порошка.

Ссылаясь на полученные результаты Хромова В. Н. о влиянии изменения параметров газопламенного напыления, получаем прочность сцепления $\sigma_{сц}$ при сдвиге, которая оценивается напряжением сдвига. Также имеем зависимость режимов напыления и их влияние на процесс (рис. 12 – 14) [11].

Расстояние между деталью и распылителем является одним из важных параметров при газопламенном напылении. На рисунке 12 показано влияние дистанции напыления L на площадь сцепления.

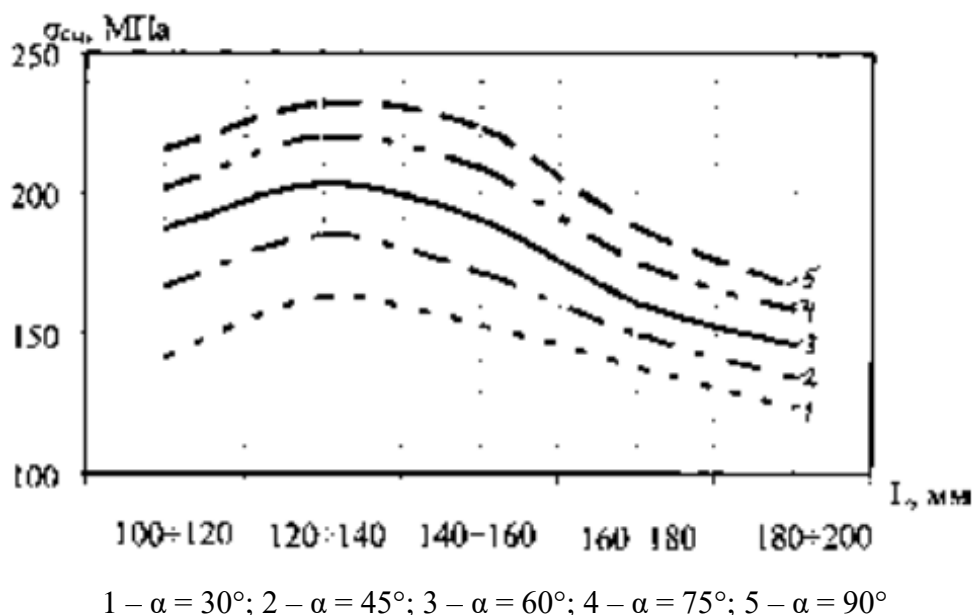
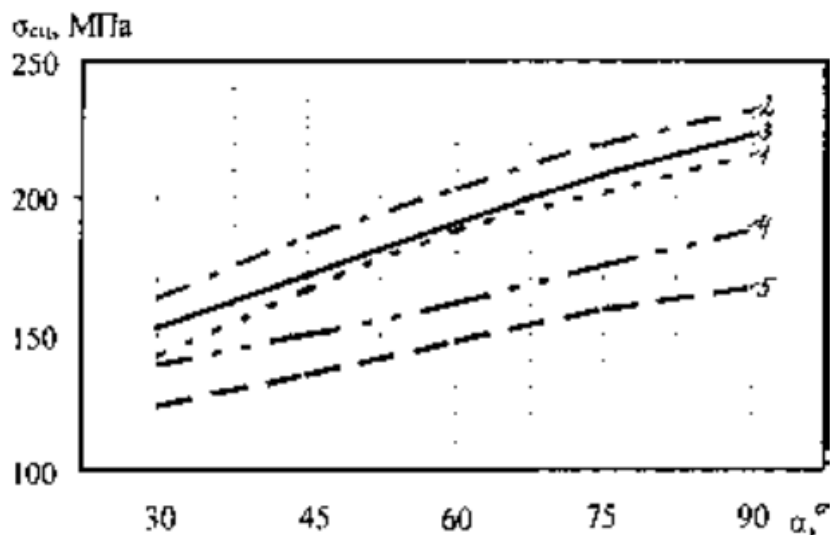


Рисунок 12 – Влияние дистанции напыления L на прочность сцепления $\sigma_{сц}$ (фракция порошка 60...70 мкм)

Исходя из графика влияния дистанции на площадь сцепления, мы видим, что оптимальное расстояние L составляет 115...120 мм.

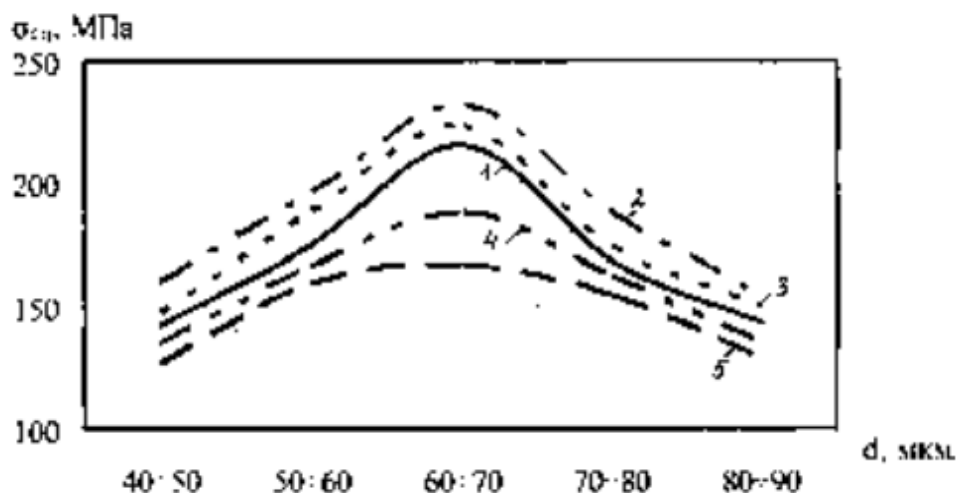
Далее рассмотрим результаты влияния угла атаки и диаметр порошка на прочность сцепления (рисунки 13, 14).



1 – $L = 100...120$; 2 – $L = 120...140$; 3 – $L = 140...160$; 4 – $L = 160...180$

Рисунок 13 – Влияние угла атаки α на прочность сцепления $\sigma_{сц}$ (фракция порошка 60...70 мкм)

Анализ результатов исследования показал, что наилучшее сцепление обеспечивается в том случае, когда угол напыления α равен $90 \pm 5^\circ$.



1 – $L = 100...120$; 2 – $L = 120...140$; 3 – $L = 140...160$; 4 – $L = 160...180$; 5 – $L = 180...200$

Рисунок 14 – Влияние фракция порошка d на прочность сцепления $\sigma_{сц}$ (угол атаки $\alpha = 90^\circ$)

Таким образом, к основным факторам, влияющим на прочность сцепления, относятся:

X1 – дистанция напыления L, мм;

X2 – угол напыления α °;

X3 – фракция порошка d, мкм.

Исходя из полученных результатов сформировано уравнение регрессии, из которого следует, что на прочность сцепления влияет количественное изменение исследуемых факторов. Совместное взаимодействие факторов оказывает незначительное влияние.

Кроме увеличения поверхности сцепления с покрытием, установки угла наклона горелки и применения различных горючих газов по составу на качество покрытия оказывает влияние размерность порошка (рисунок 14).

Для получения порошков различного диаметра используются разнообразные механические способы. Один из таких способов описывается в работе «Способ диспергирования металлического расплава» [12].

В данной технологии изготовления используется процесс диспергирования посредством обдува с помощью газовых форсунок. Данный способ основан на механическом измельчении. После изготовления частицы имеют правильную форму, чистый химический состав и определяемый гранулированный состав.

Применение данного способа позволяет получать частицы порошка диаметром 30...54 мкм. Параметры, получаемые при диспергировании приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры порошка при диспергировании

| Параметры | Значение |
|----------------------------|--------------|
| Материал расплава | Сталь |
| Газ | Аргон |
| Давление газа в тигле, Мпа | |
| Параметры форсунки | |
| Тип | Коаксиальная |
| Диаметр стока, мм | 4,0 |
| Зазор щелевого сопла, мм | 0,2 |

Продолжение таблицы 6

| Параметры | Значение |
|---|-------------|
| Угол наклона сопла к продольной оси стока, град | 45,0 |
| Температура расплава, °С | 1420,0 |
| Температура газа, °С | 1420,2 |
| Давление газа в форсунке, МПа | 36,2 |
| Скорость газа на выходе сопла, м/с | 125,0 |
| Нормальная составляющая скорости газа на выходе сопла % | 20,0 |
| Тангенциальная составляющая скорости газа на выходе сопла % | 80,0 |
| Параметры частиц в конусе обдува | |
| Диапазон размера частиц, мкм | 30,0 – 54,0 |
| Мода, нормального закона распределения размера частиц, мкм | 40,0 |

Таким образом, располагая способом получения частиц более мелкого диаметра и применяя порошок размерностью 30...54 мкм, позволит повысить качество восстановленной поверхности.

Выводы по разделу

Исследуя влияние параметров газопламенного напыления порошком при восстановлении изношенного вала для повышения прочности сцепления с основой, были подобраны оптимальные режимы газопламенного напыления, которые будут указаны ниже в ходе разработки процесса восстановления. Также исследованы способы подготовки поверхности под напыление и выбран способ предварительной механической обработки вала, что приведёт к повышению прочности сцепления основного металла с напыленным слоем.

Таким образом, во второй главе были рассмотрены возможные способы повышения качества покрытия при газопламенном напылении слоя металла на ступенчатый вал.

3 Методика проведения исследования

В выпускной квалификационной работе во второй главе были рассмотрены способы выполнения предварительной подготовки и выбор параметров проведения восстановительного процесса. Методом сравнения были получены данные для дальнейшего проектирования технологического процесса. В данной главе разработаны посты для механической и ремонтной операций и подобрано необходимое оборудование и средства оснащения на операции.

3.1 Организация поста для механической подготовки поверхности вала

В типовой процесс восстановления валов входит предварительная обработка точением или шлифованием под ремонтный размер, для выравнивания поверхности.

Перед тем как приступить к процессу восстановления, нам следует подготовить поверхность, после чего приступить к механической обработке.

Подготовка поверхностей перед газопламенным напылением проводится общепринятыми методами, а именно машинной и ручной промывкой, очисткой скребками, обдувкой сжатым воздухом. Особое внимание уделяется изношенным местам под посадку и прилегающим к ним поверхностям.

Механическая обработка заключается в следующих операциях: выравнивание поверхностей за счёт снятия слоя металла на токарном оборудовании; нарезание «рваной» резьбы.

Предварительная механическая обработка, проводится в один проход с целью устранения дефектов износа, неровностей, удаления металла подверженного коррозии.

Технологический процесс восстановления вала выглядит следующим

образом:

000 – Подготовительная;

005 – Входной контроль;

010 – Токарная:

— точение черновое поверхностей 6,7

— нарезка «рваной» резьбы на поверхности 6, 7

015 – Восстановительная: напыление на поверхности 6, 7;

020 – Токарная:

— точение черновое поверхностей 6, 7;

— точение чистовое поверхностей 6, 7;

025 – Шлифовальная: шлифование поверхностей 6, 7;

030 – Моечная;

035 – Контроль.

Приступим к выбору оборудования и средств оснащения [5, 6] для предварительной подготовки вала к процессу газопламенного напыления.

Исходя из параметров и габаритов детали выбираем токарно-винторезный станок РАМО модель Т37, который представлен на рисунке 15.



Рисунок 15 – Токарный станок РАМО модель Т37

Технические характеристики данного оборудования в соответствии с паспортом станка приведены ниже:

- высота центра – 170 мм
- допустимый диаметр над скамейкой – 370 мм
- допустимый диаметр над поперечным суппортом – 179 мм
- расстояние между центрами – 700 мм
- ширина скамьи – 285 мм
- отверстие шпинделя – 25 мм
- скорость шпинделя – от 40 до 2000 об / мин
- количество передач – 18

Также подбираем необходимый режущий инструмент на операции 010:

- Для снятия слоя металла на токарной операции 010 резец прямой проходной 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73.
- Для нарезания рванной резьбы применяем резец с углом при вершине 60 °. Резец 16x16 2102-1155 ГОСТ 24996-81, режущая пластина 01114-160304 по ГОСТ 19046-80.
- Профильные ролики для накатывания замкового профиля – специальные.

Рваную резьбу нарезаю в один проход без СОЖ. После нарезания «рванной» резьбы для увеличения сцепления с покрытием рекомендуется применять прикатку вершин при помощи накатного ролика [5, 6].

Так как мы имеем дело с деталью типа вал, необходимо зафиксировать её так, чтобы восстанавливаемая поверхность была свободна и доступна для последующего нанесения покрытия. Деталь необходимо зафиксировать в патроне токарного станка «ТЗ7» как показано на схеме (рисунок 16). В работе для фиксации детали спроектирован специальный трёх-кулачковый самоцентрирующий патрон, геометрические параметры токарного патрона определяются согласно методике расчёта токарного приспособления [24, 26].

Проектирование станочного приспособления и расчёт необходимых усилий представлен в бакалаврской работе [16 стр. 23-35]

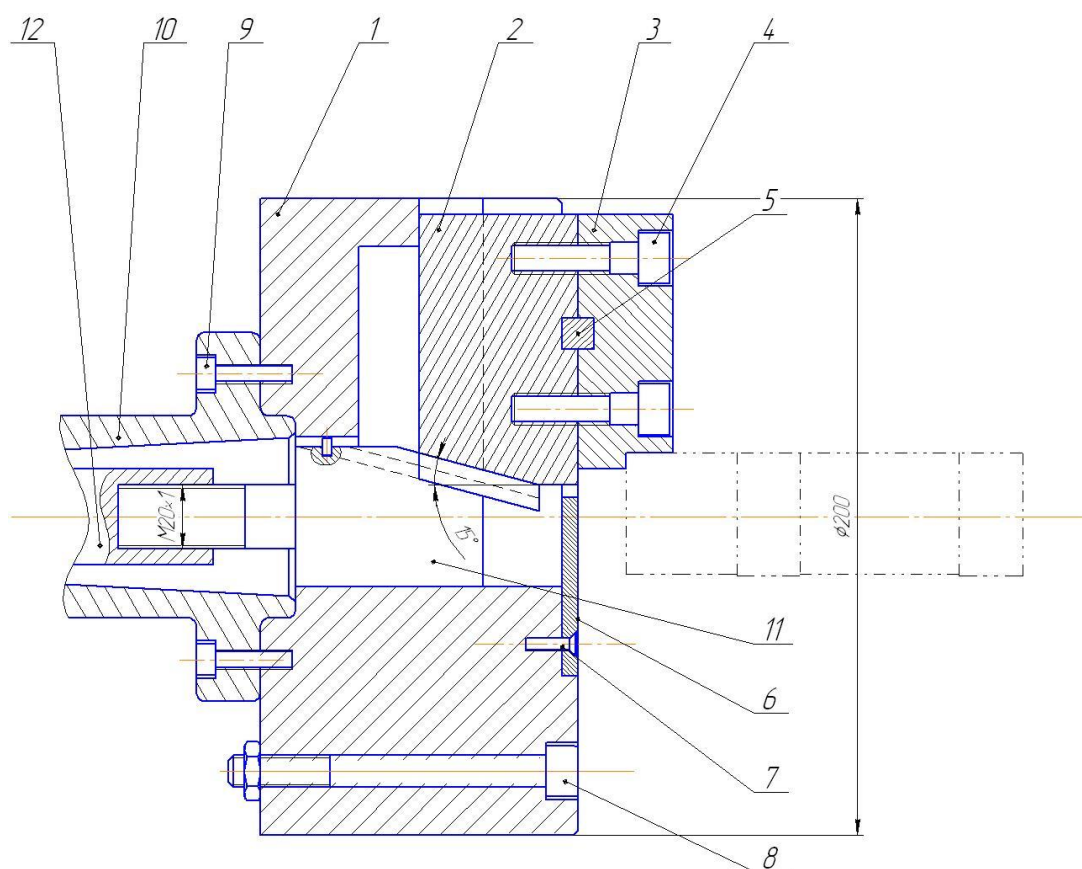


Рисунок 16 – Схема фиксации детали типа «вал» в токарном патроне

«Патрон 1 включает в себя конструкцию из трёх кулачков: сменного 3 и постоянного 2, которые соединяются при помощи шпонки 5 и двух винтов 4. Постоянные кулачки имеют угол клина, который соединяется по направляющим с центральной втулкой 11. Центральная втулка 11 в свою очередь крепится к штоку 12 в передней части шпинделя станка 10, который крепится к патрону на винты 9. Шток 12 от усилия гидравлического привода приводит в движение центральную втулку 11, вследствие чего кулачкижимают заготовку» [16 стр. 33-35].

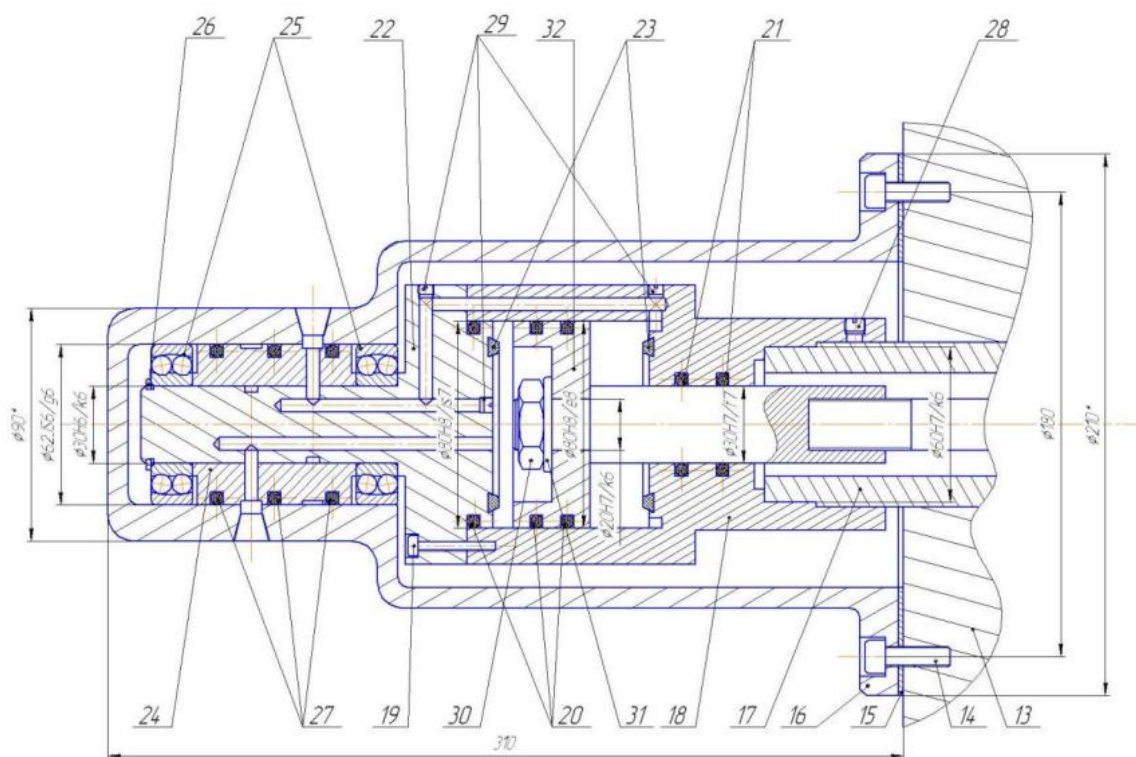


Рисунок 17 – Конструкция гидравлического привода

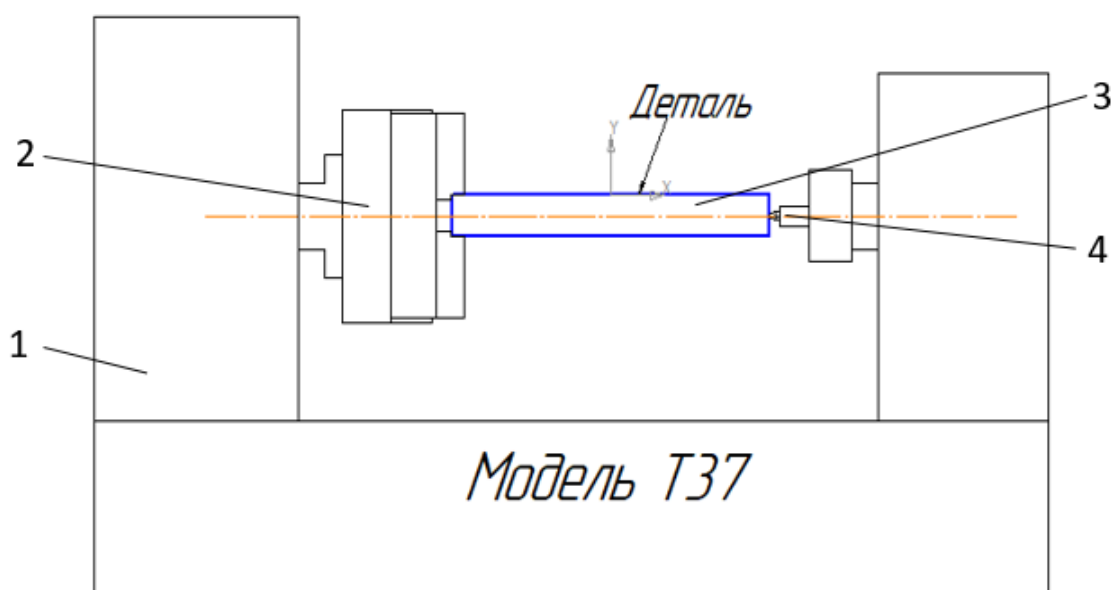
«Гидравлический привод (рисунок 17) при подачи масла, через отверстия внутри хвостовика 22, расположенного во втулке 24, которая ориентирована двумя подшипниками 25 внутри корпуса гидропривода 16, под давлением приводят в поступательное движение поршень 32 со штоком 12. Поршень 32 в свою очередь передает движение на центральную втулку 11 через шток 12. Хвостовик 22 крепится к гидроцилиндру 18 винтами 19, между хвостовиком 22 и гидроцилиндром 18 расположен поршень 32 соединённый со штоком 12 гайкой 30. Задняя часть шпинделя 17 запрессована в гидроцилиндр 18, через 34 которую проходит шток 12. Корпус гидропривода 16 присоединён винтами 14 к корпусу коробки скоростей 13» [16 стр. 33-35].

Также следует подобрать токарный неподвижный центр ГОСТ 8742-75, который крепится в задней бабке металлорежущего оборудования, применяется для фиксации заготовок конструкция которых относится к телам

вращения. Такое приспособление позволяет выполнять обработку при высоких скоростях вращения заготовки с минимальным биением. Центры применяются как в токарных, так и в шлифовальных станках с ручным, полуавтоматическим управлением и с ЧПУ.

Следующим шагом, после определения оснастки и оборудования, является разработка поста под механическую обработку [25].

Пост механической обработки состоит из токарного станка, режущего инструмента специальных приспособлений и обрабатываемой детали (рисунок 18).



1 – токарно-винторезный станок модель РАМО Т37; 2 – трёхкулочковый самоцентрирующий патрон; 3 – ступенчатый вал; 4 – центр неподвижный ГОСТ 8742-75

Рисунок 18 – Схема поста механической обработки

После того как были выбраны средства оснащения и оборудование на операции можем приступить к расчёту режимов резания, который представлен в следующей главе.

3.2 Разработка поста газопламенного напыления порошком

Также как и для токарной операции, при газопламенном напылении деталь крепится в патроне токарного станка, что значительно сокращает расходы на дополнительное оборудование и точность дальнейшей обработки благодаря постоянству положения детали и единству баз.

Таким образом, для закрепления положения детали используем следующее оборудование и оснастку:

- токарно-винторезный станок модель РАМО Т37;
- трёхкулочковый само-центрирующий патрон;
- центр неподвижный ГОСТ 8742-75

В нашем случае при напылении порошком используется горелка для газопорошкового напыления. Горелка крепится на суппорте токарного станка. По конструкции горелки аналогична сварочные горелке, отличие в наличии бункера для порошкового металла и в принципе работы.

Не мало важную роль в процессе напыления играет направление движения головки, которое может быть неподвижным, в этом случае деталь перемещается за счёт металлорежущего станка, или задаётся продольное перемещение газопламенной горелки. В случае с нашим оборудованием в котором закреплена деталь целесообразно перемещать горелку в доль детали.

Выберем направление движения головки относительно детали, на рисунке 19 представлены возможные варианты направления движения детали и газопламенной горелки.

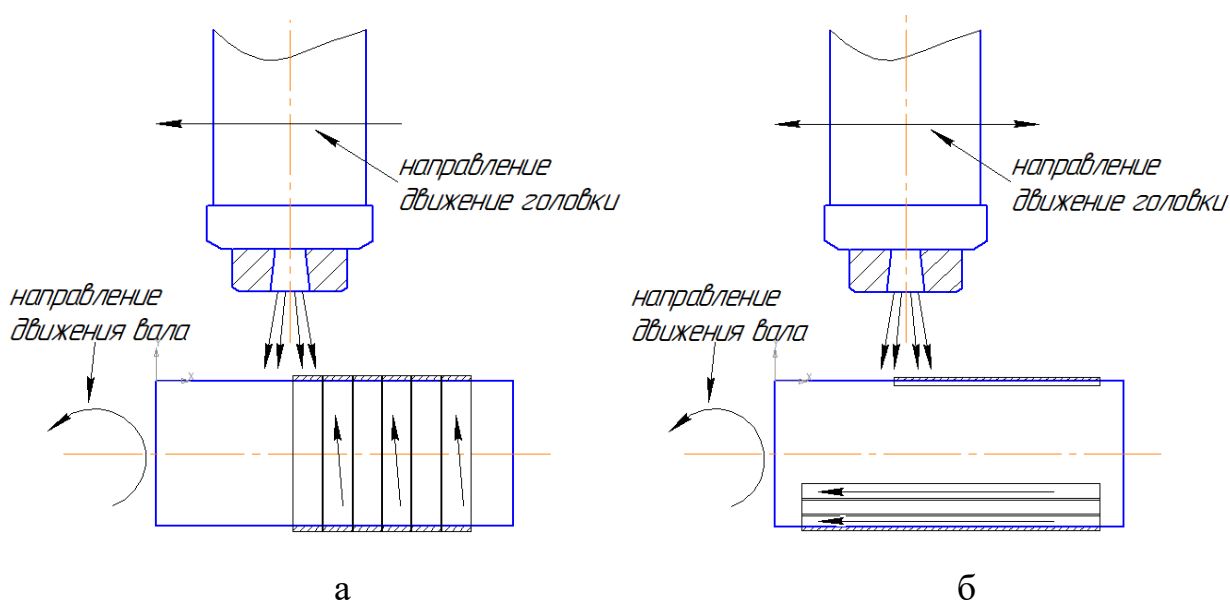


Рисунок 19 – Схемы движения детали относительно напыляемой ГОЛОВКИ

Одним из рассмотренных вариантов, является тот случай, когда установка для напыления движется вдоль оси детали, а вал, закреплённый в патроне, вращается на малых оборотах, обеспечивая равномерное нанесение покрытия (рис. 19 а). Получаем кольцевое нанесение покрытия на изношенную поверхность. Также имеет место тот случай, когда газовая горелка совершает обратное-поступательное движение вдоль оси вала при этом деталь поворачивается с определённым шагом после прохода горелки (рис. 19 б). Наиболее эффективным, простым и быстрым при ремонте вала в нашем случае будет направление движения головки согласно схеме (а) (рисунок 19).

Для проектирования поста газопламенного напыления необходимо подобрать горелку, которая будет соответствовать заданным параметрам восстановительной операции и обеспечивать должное нанесение покрытия на основу. В качестве горелки, соответствующей требованиям, используем порошковую газопламенную горелку фирмы ТЕРМИКА «искра – 1» (рисунок 20), конструкция и её описание указано в [Пат. 2211096].

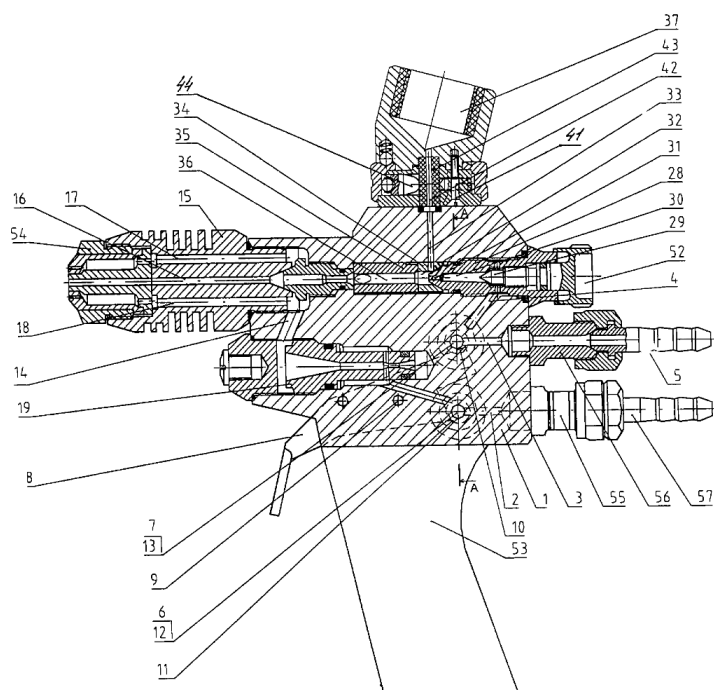


Рисунок 20 – Схема газопламенной горелки для порошкового напыления «Искра – 1» (пат. 2211096)

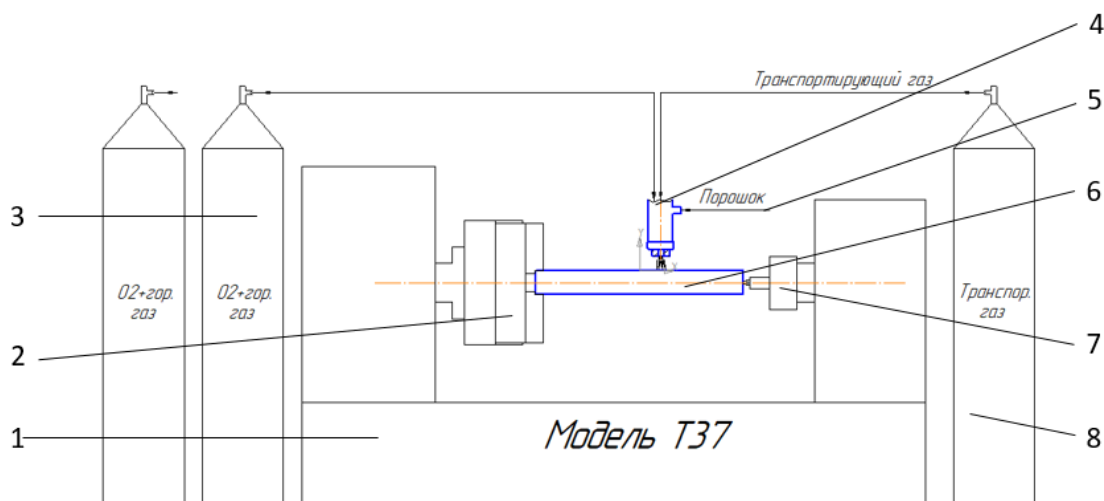
Также следует подобрать материал для напыления исходя из данных детали: марки стали и условий нагрузок в ходе эксплуатации.

Для напыления порошковой смеси в водородно-кислородном пламени порошковую смесь выбираем близкую по составу к стали 45, а именно ПР-65Х25Г12Н3 (табл. 7). Данная марка порошка применима для покрытий низко- и среднеуглеродистых сталей. Нанесённое покрытие обеспечит повышенную вязкость и износостойкость при трении с давлением и ударами.

Таблица 7 – Химический состав ст. 45 и порошка ПР-65Х25Г12Н3

| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | S | P |
|---------|---------------|---------------|---------|------|-----------|-----|-------|-------|
| Вал | 0,41- 0,49 | 0,17- 0,37 | 0,5-0,8 | до | 0,25 | 0,3 | 0,035 | 0,035 |
| | | | | 0,25 | не более | | | |
| Порошок | 0,5 | 0,5 | 13 | 25 | 3 | 0,3 | 0,035 | 0,035 |
| | | | | | основа Fe | | | |

Пост для напыления оборудован следующими объектами: установка для напыления; токарным станком модель Т37; болонами с транспортирующим газом и смесь горючего газа + O₂. В качестве горючего газа, из вышеизложенного, применяется водородно-кислородная смесь с добавлением пропан-бутана 5%. На рисунке 21 изображена схема необходимого оборудования для ремонта вала путём газопламенного напыления.



1 – токарно-винторезный станок модель РАМО Т37; 2 – трёхкулочковый; самоцентрирующий патрон; 3 - водородно-кислородная смесь + пропан-бутан 5%; 4 – газовая горелка; 5 – порошок ПР-65Х25Г12Н3; 6 – ступенчатый вал; 7 – центр неподвижный ГОСТ 8742-75; 8 – транспортирующий газ

Рисунок 21 – Схема поста газопламенного напыления

Также на рисунке 22 изображено оборудование и средства оснащения, задействованное в процессе восстановления.



Рисунок 22 – Оборудование и средства оснащения газопламенного напыления

Таким образом, подобрав оборудование и материалы можно приступить к расчёту режимов напыления.

3.3 Изготовление шлифов и определение σ_b

После проведения процесса восстановления и последующей механической обработки переходим к исследованию полученных результатов за счёт изготовления шлифов.

Методика изготовления шлифов состоит из:

- предварительного осмотра и распиловки образца;
- следующим шагом является шлифовка области предназначенной под полировку;
- и в заключении полировка.

При помощи абразивных материалов ведётся подготовка, шлифование и полирование поверхности. Абразивные материалы бывают природными, такие как корунд, алмаз, гранит, наждак, крокус – Fe_2O_3 , кремнь, кварц и т.д.,

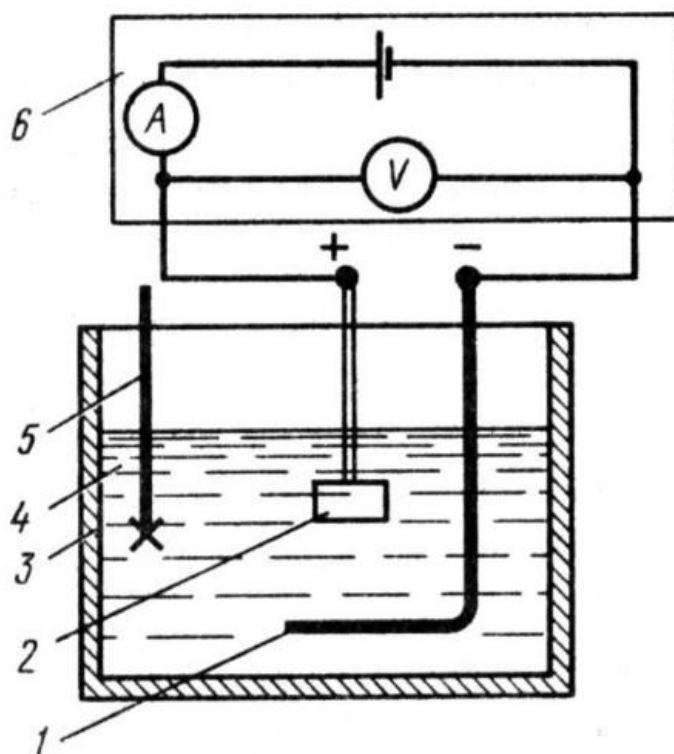
и представляют из себя измельчённую структуру, также бывают и искусственные абразивные материалы (электрокорунд, синтетический алмаз, нитрид бора – эльбор, карбид, бора, карбид кремния, оксид алюминия).

В некоторых случаях применяется метод электролитического полирования. В этом случае на металлическом образце получается гладкая и блестящая поверхность, такой результат получаем благодаря анодного растворения выступов микрорельефа.

При электрополировании шлифов применяют специальную установку, схема которой представлена на рисунке 23.

Процесс проведения электрополирования образцов следующий: отшлифованный образец подключают к цепи постоянного тока, который создаёт выпрямитель и опускают в электролизную ванну, содержащую электролит. Катодом в данном случае служит металлическая пластина, расположенная внизу ванны. При этом в ходе процесса полирования содержимое ванны перемешивают (электролит) механической или электрической мешалкой для равномерного протекания процесса.

Сами же электролизные ванны, в которых протекает процесс полирования, изготавливают из кислотоупорных материалов. Ванны, не подлежащие нагреву в процессе полирование, изготавливают из фарфора, стекла, а ванны, подлежащие подогреву, изготавливают нержавеющей стали. В случае катодов их принято изготавливать из листового металла меди, нержавеющей стали, вольфрама и т.д.



1 – катодом (металлическая пластина); 2 – анод (отшлифованный образец); 3 – электролизная ванна; 4 – электролит; 5 – электрическая мешалка; 6 – выпрямитель

Рисунок 23 – Схема для электрополирования шлифов

Особенности подготовки микрошлифов различных сплавов, следующие: при полировании и промывании, следует применять пассивирующий раствор и тщательно выполняют промывку шлифов спиртом после чего просушивают для предотвращения поверхности шлифа от возможного окисления.

При необходимости в сохранении шлифа на длительный период времени, тогда следует покрывать поверхность тонким слоем раствора кедрового масла в серном эфире. Такая пленка не препятствует изучению шлифа, в случае необходимости удаления данной плёнки с поверхности, шлиф следует протереть спиртом или бензином.

Также в качестве результата проводимых исследований будет определение прочности сцепления покрытия с основой. Наиболее широко известным способом определения прочности сцепления – прочность сцепления при сдвиге, которая оценивается напряжением сдвига.

Один из способов испытания на сдвиг является продавливание образца с нанесённым покрытием через матрицу. В качестве матрицы используется закалённое стальное кольцо. Полученные образцы, охлаждённые до комнатной температуры, устанавливаю в матрицу так чтобы на торцевую поверхность матрицы опиралось напыленное покрытие. Далее образцы продавливают на прессе через стальное кольцо.

Полученное значение напряжения сдвига рассчитывается по формуле 1:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot b \cdot d} \quad (1)$$

Параметры расчёта, следующие: F – усилие сдвига, Н; S – площадь контакта основы с покрытием, м²; d, b – диаметр образца и ширина покрытия, м.

Полученные данные и будут являться результатом прочности сцепления покрытия с основой.

4 Разработка технологии восстановления вала газопламенным напылением порошком с использованием водородно-кислородной смеси

Технологический процесс восстановления вала газопламенным напылением порошком с использованием водородно-кислородной смеси включает в себя разработку процесса механической обработки вала перед самим процессом напыления и последующей для получения размеров в пределах допусков на заданные поверхности.

В четвёртой главе разработана технология восстановления вала напылением и рассчитаны режимы резания и параметры обработки на операциях для выполнения ремонтно-восстановительных работ.

4.1 Разработка технологии механической обработки поверхности вала (подложки)

Технология механической обработки включает в себя предварительную обработку, а именно операция токарная 010, которая состоит из черного точения поверхности в один проход и нарезанию «рванной» резьбы, и последующую обработку после операции восстановления, состоящую из токарной операции 020 и кругло-шлифовальной операции.

Для начала, рассмотрим предварительную механическую обработку и проведём расчёт режимов резания на операции 010.

Токарная операция 010 состоит из двух переходов: черновое точение; и нарезание резьбы режимы резания для каждого перехода подбираются и рассчитываются отдельно.

Так как необходимое оборудование и оснастка для операции были подобраны в предыдущей главе, то следующим шагом является определение параметров обработки на операциях предшествующим операции восстановления – 010 точение и нарезание «равной» резьбы.

Параметры обработки на операции 010 (точение черновое Ø 34) рассчитываются по формулам, приведенным ниже. Расчёт производится на одну из восстанавливаемых поверхностей, а именно на поверхность 7, изначальный диаметр до износа составляет 36 мм, а длина участка равна 14 мм.

Переход 1 – черновое точение – точить Ø 33,5 мм на $l = 14$ мм.

Скорость резания токарной обработки рассчитывается по формуле 2:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/с} \quad (2)$$

Исходные данные операции 010 для чернового точения: $t = 0,65$ мм – глубина резания; $S = 0,5$ мм/об – подача; $T = 60$ мин – период стойкости материала; $C_v = 290$; $m = 0,20$; $x = 0,15$; $y = 0,35$;

K_v – коэффициент рассчитываемый по формуле 3:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{PV} \quad (3)$$

где K_{MV} – поправочный коэффициент влияния физикомеханических свойств обрабатываемого материала на скорость резания (формула 4):

$$K_{MV} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (4)$$

K_{PV} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания;

K_{IV} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания.

Согласно формуле 4 подставляем данные коэффициентов из справочника технолога-машиностроителя Дальского А. М. [13], выбор значений коэффициентов зависит от свойств обрабатываемого материала и размера диаметра поверхности (формула 5).

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{640} \right)^{1,75} = 1,32 \quad (5)$$

Далее полученное значение подставляем в формулу 3 (формула 6):

$$K_v = 1,32 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,77 \quad (6)$$

Таким образом, расчётная скорость вращения при черновом точении на операции 010 равна (формула 7):

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,65^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,77 = 133,87, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (7)$$

Теперь следует рассчитать частоту вращения шпинделя, которая определяется по формуле 8:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/мин} \quad (8)$$

Получаем следующий результат (формула 9):

$$n = \frac{1000 \cdot 133,87}{\pi \cdot 33,5} = 1272, \text{ об/мин} \quad (9)$$

По паспорту станка выбираем частоту вращения шпинделя, которое будет равно $n = 1200$ об/мин.

Теперь рассчитываем фактическое значение скорости исходя из выбранной частоты (формула 10):

$$V = \frac{1200 \cdot \pi \cdot 33,5}{1000} = 126,3, \text{ м/с} \quad (10)$$

Расчётные данные для токарной операции для обеих поверхностей сведём в таблицу 8.

Таблица 8 – Режимы резания на токарной операции 010 – точение

| № Пов. | Диаметр, мм | Скорость резания V, м/с | Частота вращения шпинделя, об/мин | Глубина резания, мм | Подача, мм |
|--------------|-------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------|
| 010 Токарная | | | | | |
| 6 | 30 | 128 | 1500 | 0,7 | 0,5 |
| 7 | 36 | 126 | 1200 | 0,65 | 0,5 |

Теперь подберём режимы резания для нарезания резьбы. Нарезание «рваной» резьбы производится с параметрами обработки, которые приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры обработки вала при нарезании резьбы

| Позиция | Диаметр вала | Смещение резца | Частота вращения шпинделя, с ⁻¹ |
|---------|--------------|----------------|--|
| 6 | 30 | 3,0 | 10 |
| 7 | 36 | 3,0 | 7,8 |

На этом подготовка поверхности окончена после чего приступаем непосредственно к процессу восстановления, подбор параметров обработки для газопламенного напыления с учётом проведённых теоретических исследований, указаны ниже.

Теперь рассмотрим, какие режимы и параметры обработки следует проводить непосредственно после восстановительной операции. Для получения поверхностей, соответствующих заданным характеристикам и условиям эксплуатации после напыления слоя, следует провести ряд механических обработок для получения точных поверхностей.

Последующая механическая обработка производится на токарном и на шлифовальном оборудовании. Технологический маршрут обработки поверхностей указан в таблице 10.

Таблица 10 – Технологический маршрут обработки восстановленных поверхностей

| № Пов. | Вид поверхности | Квалитет точности | Шероховатость Ra | Последовательность обработки |
|--------|-----------------|-------------------|------------------|--|
| 6 | Ц | 6 | 1,25 | Точение черновое – Шлифование Точение чистовое – |
| 7 | Ц | 6 | 1,25 | Точение – Точение чистовое – Шлифование |

Обработку поверхностей начинаем с чернового точения на операции 020. Расчёт чернового точения проводится аналогично расчёту обработки на операции 010. Опираясь на формулы 2 – 5 имеем следующие расчёты.

Переход 1 – черновое точение – точить Ø 37 мм на $l = 14$ мм.

Исходные данные операции 020 для чернового точения: $t = 0,65$ мм – глубинна резания; $S = 0,5$ мм/об – подача; $T = 60$ мин – период стойкости материала; $C_v = 290$; $m = 0,20$; $x = 0,15$; $y = 0,35$;

Расчётная скорость резания равна (формула 11):

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,77 = 140, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (11)$$

Расчётная частота вращения шпинделя равна (формула 12):

$$n = \frac{1000 \cdot 140}{\pi \cdot 37} = 1204,5 \text{ об/мин} \quad (12)$$

По паспорту станка определяем частоту вращения равную $n = 1200$ об/мин.

Фактическое значение скорости равно $V = 139,5$ об/мин. Полученные данные сведём в таблицу 13.

Следующая механическая обработка – это чистовое точение на операции 020 [14].

Переход 2 – чистовое точение – точить Ø 36 мм на $l = 14$ мм.

Также указываем исходные данные для чистового точения: $t = 0,3$ мм – глубинна резания; $S = 0,165$ мм/об – подача; $T = 60$ мин – период стойкости материала; $C_v = 290$; $m = 0,20$; $x = 0,15$; $y = 0,35$;

Расчётная скорость резания равна (формула 13):

$$V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 0,3^{0,15} \cdot 0,165^{0,35}} \cdot 0,77 = 221,6, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (13)$$

Расчётная частота вращения шпинделя равна (формула 14):

$$n = \frac{1000 \cdot 221,6}{\pi \cdot 36} = 1937,84 \text{ об/мин} \quad (14)$$

По паспорту станка определяем частоту вращения равную $n = 1600$ об/мин.

Фактическое значение скорости равно $V = 183$ об/мин. Полученные данные занесены в таблицу 11.

Таблица 11 – Режимы резания на токарной операции 020 – точение

| № Пов. | Диаметр, мм | Скорость резания V, м/с | Частота вращения шпинделя, об/мин | Глубина резания, мм | Подача, мм |
|------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------|
| 020 Токарная: | | | | | |
| Точение черновое | | | | | |
| 6 | 30 | 143,25 | 1500 | 0,5 | 0,5 |
| 7 | 36 | 140 | 1200 | 0,5 | 0,5 |
| Точение чистовое | | | | | |
| 6 | 30 | 152,8 | 1600 | 0,3 | 0,21 |
| 7 | 36 | 183 | 1600 | 0,3 | 0,165 |

После расчёта режимов резания на токарной операции приступаем к операции шлифования поверхностей [15].

На операции шлифования применяются следующее оборудование, режущий инструмент и оснастка:

- Кругло-шлифовальный станок модель 3Т160;
- Круг шлифовальный К6 30х100х35 24А25СМ26К5 ГОСТ 2877-80;
- Центр неподвижный А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, патрон поводковый ГОСТ 2571-71.

Все подобранные средства технического оснащения технологического процесса восстановления вала газопламенным напылением представлены в таблице 16.

Проведём расчёт режимов резания при шлифовании (операция 025). Режимы резания при традиционном шлифовании рассчитываются по следующим формулам.

Скорость резания шлифовального круга рассчитывается по формуле 15:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (15)$$

Где: D – диаметр шлифовального круга (согласно параметрам инструмента) [мм];

n – частота вращения шпинделя (принимается согласно паспорта станка) [об/мин];

Проводим расчёт подачи для врезного шлифования по формуле 16:

$$S = \frac{Q \cdot d}{60 \cdot \pi} \quad (16)$$

Где: Q – объёмная производительность, которая при традиционном шлифовании легированной стали равна $Q = 0,6 \text{ мм}^3/\text{мм} \cdot \text{с}$;

d – диаметр обработки.

Параметры обработки сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Режимы резания на кругло-шлифовальной операции 025 – шлифование

| № Пов. | Диаметр, мм | Скорость Заготовки, V_z м/с | Скорость резания круга V_k , м/с | Частота вращения шпинделя, об/мин | Продольная подача, S мм | Глубина шлифования t, мм |
|--------------|-------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Шлифовальная | | | | | | |
| 6 | 30 | 30 | 35 | 4300 | 0,1 | 0,015 |
| 7 | 36 | 30 | 35 | 4300 | 0,114 | 0,015 |

Таким образом, проведя расчёт предварительной и окончательной механической обработки вала были получены значения режимов обработки на всех металлорежущих операциях.

4.2 Разработка технологии восстановления вала газопламенным напылением

В ходе работы для процесса восстановления газопламенным напылением исходя из исследования влияния режимов напыления и влияние состава горючего газа (глава 2) следует определить режимы и параметры газопламенного напыления (таблица 13).

Ориентировочные режимы водородно-кислородного пламени при напылении порошком на подготовленный профиль приведены в табл. 1. Возможна замена $C_2 H_2$ пропаном, температура пламени которого составляет $(2200-2500) ^\circ C$.

Таблица 13 – Параметры режима газопламенного напыления вала

| Толщина напыл. | (0,5-1,5) мм | | | (1,0-2,5) мм | | |
|--|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| | O ₂ | H ₂ | C ₂ H ₂ * | O ₂ | H ₂ | C ₂ H ₂ * |
| Расход, л/ч | 55-135 | | 50-125 | 130-260 | | 120-240 |
| P на входе горелки, МПа | 0,1-0,4 | | | 0,15-0,4 | | |
| V истечения смеси, м/с | 50-130 | | | 65-135 | | |
| T пламени при сгорании в O ₂ , °C | | 2000- 2100 | 3050- 3150 | | 2000 2100 | 3050- 3150 |

*коэффициент замены C_2H_2 пропаном – 0,6

С учётом влияния на прочность сцепления параметров напыления имеем следующие изменения режимов на операции восстановления:

- кислород (O_2) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (55...135 л/ч);
- ацетилен (C_2H_2) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (50...135 л/ч);
- водородно-кислородная смесь ($H_2 + O_2$) – давление ($P = 0,1 \dots 0,4$ МПа), расход (16...24 л/мин);
- пропан-бутан ($C_3H_8 + C_4H_{10}$) – давление ($P = 0,03$ МПа), расход (0,8...1,2 л/мин);
- $L = 115 \dots 120$ мм – дистанция напыления (расстояние от головки горелки до детали);
- $\alpha = 90 \pm 5^\circ$ – угол атаки (угол напыления);
- $n = 100$ мин⁻¹ – частота вращения детали;
- $d_{п} = 40 \dots 60$ мкм – фракция порошка.

Напыление порошка следует проводить в два слоя:

- Толщина напыления первого слоя составляет 2,5 мм;
- Толщина напыления второго слоя порошка равна 1 мм.

Таким образом, для поверхности 7 исходный диаметр которой составляет 36 мм, после газопламенного напыления составит 37,5 мм.

Оборудование и средства оснащения необходимые для проведения восстановительного процесса представлены в 3 главе и сведены в таблицу 14.

В приложении А на рисунке А.1 показан разработанный технологический процесс восстановления ступенчатого вала газопламенным напылением порошком.

Таблица 14 – Средства технического оснащения технологического процесса

| № Операции | Оборудование | Приспособление | Режущий инструмент | Средства контроля |
|--------------------------------|---|---|---|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 000 Моечная | Ванна ММА | Моющий раствор МЛ-51 | - | Визуальный контроль |
| 005 Дефектовочная | - | Микрометр ГОСТ 6507-90, Штангенциркуль ШЦ-П, ГОСТ 160-80 | - | - |
| 010 Токарная | Токарно-винторезный станок модель РАМО Т37 | Токарный самоцентрирующий трёх-кулачковый патрон – специальный; Центр неподвижный А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, | Резец 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73, Резец 16x16 2102-1155 ГОСТ 24996-81, Режущая пластина 01114-160304 по ГОСТ 19046-80 Профильные ролики для накатывания замкового профиля – специальные. | Штангенциркуль ШЦ-П, ГОСТ 160-80 |
| 015 Газопламенное напыление | Токарно-винторезный станок модель РАМО Т37 Установка для напыления | Газовая горелка, водородно-кислородная (H ₂ +O ₂) смесь с добавкой пропан-бутана 5% (C ₃ H ₈ +C ₄ H ₁₀); транспортирующий газ; напыляемый порошок ПР-65Х25Г12НЗ | - | - |
| 020 Токарная | Токарно-винторезный станок модель РАМО Т37 | Токарный самоцентрирующий трёх-кулачковый патрон – специальный; Центр неподвижный А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, | Резец 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73, | Штангенциркуль ШЦ-П, ГОСТ 160-80 |
| 025 Круглошлифовальная | Круглошлифовальный 3Т160 | Центр неподвижный А-1-4-Н ГОСТ 8742-75, патрон поводковый ГОСТ 2571-71 | Круг шлифовальный К6 30x100x35 24А25СМ26К5 ГОСТ 2877-80 | Прибор активного контроля БВ-153 |
| 030 Моечная | Ванна ММА | Моющий раствор МЛ-51 | - | Визуальный контроль |
| 035 Контрольная | - | Микрометр ГОСТ 6507-90 Твердомер, индикатор часового типа ИЧ2 | - | - |

5 Безопасность и экологичность объекта

Раздел безопасность и экологичность проекта включает в себя условия работы в условиях производства требования к безопасности и экологичности объекта. Для газопламенного напыления требования безопасности представлены в ГОСТе 12.3.036-84 «Система стандартов безопасности труда. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности» [17].

Данный стандарт относится к газопламенной обработке металлов во всех отраслях промышленности и народного хозяйства. В ГОСТе указаны общие требования безопасности, которые распространяются на выполнение работ газовой сваркой, газовой резке, газопламенной наплавке, газопламенной поверхностной закалке, зачистке и нагреве, газопламенном (пламенном и детонационном) напылении покрытий (далее — сварке, резке).

«В стандарте указаны общие положения относящиеся к безопасности объекта:

— Газопламенная обработка металлов на объектах народного хозяйства должна выполняться в соответствии с требованиями настоящего стандарта;

— При газопламенной обработке металлов возможно воздействие на работающего опасных и вредных производственных факторов;

— Уровни вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 —для уровня шума, ГОСТ 12.1.005 —для предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны и для температуры наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств.

— Газопламенную обработку в замкнутых пространствах и труднодоступных местах (резервуарах, котлах, цистернах, тоннелях, подвалах и др.) выполняют по наряду-допуску на особо опасные работы.

Также в ГОСТе указаны требования к технологическому процессу, которые представлены ниже.

При разработке технологических процессов газопламенной обработки металлов следует предусматривать:

- механизацию и автоматизацию процессов;
- мероприятия по предотвращению поступления в воздух рабочей зоны вредных веществ;
- мероприятия по очистке выбросов;
- снижение уровней шума;
- рациональную организацию рабочих мест.

Технологическое оборудование должно соответствовать ГОСТ.

Если газопламенное напыление покрытий и наплавку из порошковых материалов на крупногабаритные изделия проводят в помещениях вручную, следует применять портативные местные отсосы, обеспечивающие концентрации вредных веществ в воздухе не выше предельно допустимых.

Операции по засыпке и уборке порошков в бункеры установок для газопламенного напыления покрытий и наплавки порошков следует проводить с использованием местных отсосов или в специальных камерах и кабинах, снабженных вытяжной вентиляцией.

При проведении сварки, резки, наплавки, закалки, зачистки и нагрева крупногабаритных изделий должны применяться технологические режимы, исключая коробление изделий, приводящее к травматизму работающих.

При автоматизации процессов газопламенной обработки металлов должно быть предусмотрено дистанционное управление.

При работе с баллонами, содержащими сжиженные и сжатые газы, необходимо использовать редукторы по ГОСТ 13861.

При снижении давления в баллонах со сжиженными и сжатыми газами до предела, ниже которого невозможно поддерживать требуемое рабочее давление, отбор газа должен быть прекращен.

Требования к производственным помещениям также содержатся в нормативной документации на проведение газопламенной наплавки.

Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям строительных норм и правил. Технология газопламенной обработки относится по точности ко второму разряду зрительных работ.

Цветовое оформление помещений и оборудования должно обеспечивать наименьший коэффициент отражения (не более 0,4) в соответствии с правилами по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий.

Полы производственных помещений должны соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям, быть несгораемыми и нескользкими, обладать малой теплопроводностью.

Отделка производственных помещений должна исключать возможность накопления пыли, сорбции паров и газов материалами покрытий, допускать систематическую уборку поверхностей влажным способом.

Стены, потолки и внутренние конструкции помещений для газопламенного напыления должны иметь звукопоглощающую облицовку с защитной отделкой.

Звукоизоляция помещений, в которых проводят детонационное напыление, должна обеспечивать защиту работающих от уровней звука 100—140 дБ А.

Газопламенная обработка в замкнутых пространствах и труднодоступных местах должна выполняться при соблюдении следующих условий:

- наличия не менее двух проемов (окон, дверей, люков);

- тщательной очистки и проверки на содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны перед началом работ;
- проверки значений показателей пожарной опасности по ГОСТ 12.1.004;
- концентрации взрывоопасных веществ не выше 20 % от нижнего предела взрываемости;
- наличия непрерывно работающей приточно-вытяжной вентиляции, обеспечивающей приток свежего и отсос загрязненного воздуха из нижней и верхней частей замкнутого пространства и труднодоступных мест;
- осуществлении специальной вентиляции с помощью местных отсосов от стационарных или передвижных установок, если общеобменная вентиляция не обеспечивает нормальных условий работы;
- установки контрольного поста для наблюдения за работающими и наличия связи между работающими и наблюдающим.

Во время проведения работ в замкнутых пространствах и труднодоступных местах газовые баллоны, газоразборные посты, передвижные ацетиленовые генераторы должны быть расположены снаружи и закреплены в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Не допускается оставлять рукава, резаки, горелки, металлизационные аппараты во время перерыва и после окончания работ в замкнутых и труднодоступных местах.

Помещения для проведения детонационного напыления покрытий должны быть звукоизолированы.

Показатели микроклимата в производственных помещениях должны соответствовать ГОСТ 12.1.005.

К исходным материалам предъявляются следующие требования, указанные в ГОСТе.

Поверхности свариваемых заготовок и деталей должны быть сухими, очищенными от окалины, смазки и других загрязнений. Кромки заготовок и деталей не должны иметь заусенцев.

Обезжиривание поверхностей изделий перед газопламенной обработкой металлов должно проводиться растворами и растворителями.

Хранение и транспортирование газов, применяемых при газопламенной обработке металлов, следует осуществлять в соответствии с ГОСТ 12.2.060.

Способы хранения и транспортирования исходных материалов, готовой продукции и отходов производства не должны создавать дополнительной опасности при проведении работ и обеспечивать возможность механизации погрузочно-разгрузочных операций.

При проведении газопламенного напыления покрытий и наплавки следует использовать порошки, прутки или проволоку, которые в процессе напыления и наплавки выделяют вредные вещества в количествах, не превышающих предельно допустимые концентрации, предусмотренные санитарными нормами, утвержденными в установленном порядке.

Размещение производственного оборудования и организация рабочих мест:

Пространственная планировка рабочего места при механизированных и автоматизированных процессах газопламенной обработки металлов с учетом группировки, расположения органов управления (рычаги, выключатели и переключатели) и средств отображения информации должна соответствовать ГОСТ 12.2.032, ГОСТ 12.2.033. Общие требования безопасности к рабочим местам по ГОСТ 12.2.061.

Места проведения газопламенной обработки металлов могут быть постоянными, организуемыми в специально оборудованных для этих целей

участках или на открытых площадках, и временными, организуемыми на территории предприятий в целях ремонта оборудования, а также монтажа строительных и других конструкций.

При газопламенной обработке металлов необходимо исключать возможность воздействия опасных и вредных производственных факторов на персонал расположенных рядом рабочих зон.

Рабочие места для сварки, резки, наплавки, зачистки и нагрева должны быть оснащены средствами коллективной защиты от шума, инфракрасной радиации и брызг расплавленного металла экранами и ширмами из негорючих материалов.

Рабочее место для газопламенной обработки должно быть оборудовано местной вытяжной вентиляцией.

На рабочих местах должны быть установлены знаки безопасности.

Газопламенное напыление покрытий ручным способом в помещениях должно осуществляться в звукоизолированных кабинах, камерах или на специальных участках, с использованием звукоизолирующих кожухов.

Стены кабины должны иметь слоистую структуру и состоять из звукопоглощающих материалов. Передние стенки кабин следует закрывать створками со встроенными в них светофильтрами и рабочими проемами для рук.

Стационарные установки газопламенного напыления должны эксплуатироваться в отдельных помещениях или на изолированных участках цеха.

Установки детонационного напыления покрытий размещают в отдельных зданиях или на первых этажах производственных зданий в отдельных помещениях.

При конвейерной или поточной технологии необходимо изолировать участки газопламенного напыления ограждениями со звукопоглощающей теплостойкой облицовкой.

При организации питания горючими газами и кислородом от сети по трубопроводу для защиты от обратного удара перед каждой единицей оборудования для газопламенной обработки металлов (горелка, резак, машины термической резки и др.) должны быть установлены газоразборные посты.

Трубопроводы, шланги для подачи воздуха, газа, а также вентиляционные устройства должны быть расположены так, чтобы не затруднялось обслуживание оборудования. Конструкции штуцеров, на которые надевают шланги, должны обеспечивать удобное прочное крепление и герметичное соединение.

Организация рабочих мест при сварке, резке, закалке, зачистке и нагреве должна исключать нагрев токоведущих устройств, находящихся вблизи.

Рабочие места для газопламенной обработки металлов в монтажных условиях, расположенные на деревянных настилах или подмостях, должны быть очищены от горючих материалов (пакли, стружки и др.) в радиусе не менее 5 м. Деревянные настилы должны быть покрыты металлическими листами, на них должны быть установлены сосуды с водой.

На каждое стационарное рабочее место для газопламенной обработки металлов должно быть отведено не менее 4 м², помимо площади, занимаемой оборудованием и проходами, а при работе в кабине — не менее 3 м². Проходы должны иметь ширину не менее 1 м.

Площадь рабочего места оператора газопламенного напыления должна быть не менее 10 м².

Защитные ограждения рабочих мест должны соответствовать ГОСТ 12.2.062.

На рабочих местах должны быть вывешены инструкции по технике безопасности при проведении газопламенных работ.

К персоналу предъявляются следующие требования для допуска к проведению работ.

К работе по газопламенной обработке металлов допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие соответствующее обучение, инструктаж и проверку знаний техники безопасности и имеющие квалификационное удостоверение.

К газопламенным работам женщины допускаются в соответствии с перечнем производств, профессий и работ с тяжелыми и вредными условиями труда, на которых запрещается применение труда женщин.

Лица, допускаемые к работе по газопламенной обработке металлов, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры.

Организация обучения работающих безопасности труда — по ГОСТ 12.0.004.

Персонал, допускаемый к газопламенной обработке металлов, должен уметь оказывать первую помощь при острых отравлениях, ожогах кожи и слизистых оболочек.

Для работы не обходимы персональные средства защиты, к которым также предъявляются требования.

Лица, занятые газопламенной обработкой металлов, должны применять средства индивидуальной защиты, обеспечение которыми осуществляется в соответствии с отраслевыми нормами, утвержденными в установленном порядке с учетом проводимых работ.

Хранение, периодический ремонт, чистка другие виды профилактической обработки средств индивидуальной защиты, работающих следует проводить в соответствии с нормативно-технической документацией на эти изделия.

При работе в замкнутых пространствах и труднодоступных местах для защиты органов дыхания необходимо применять изолирующие средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.034* с подачей чистого воздуха в зону дыхания. Работы не следует проводить при содержании кислорода в воздухе менее 19 % и более 23 %.

Для защиты лица при сварке, резке, закалке, зачистке и нагреве рабочие должны обеспечиваться защитными щитками.

Для защиты глаз применяются защитные очки по ГОСТ 12.4.013.

Средства индивидуальной защиты органов слуха следует выбирать исходя из частотного спектра шума на рабочем месте.

Типы и группы средств индивидуальной защиты органов слуха — по ГОСТ 12.4.051**.

Для защиты рук применяются рукавицы по ГОСТ 12.4.010» [17].

Заключение

В процессе написания выпускной квалификационной работы были выполнены необходимые инженерные и проектные расчёты, проведены исследования и анализ полученных данных.

По разделам магистерской работы, были выполнены следующие действия и получены соответствующие результаты:

- по разделу «ВВЕДЕНИЕ», исследована актуальность и поставлена цель проекта;

- в ходе первого раздела проведен анализ исходного объекта (детали) для дальнейшего проектирования технологического процесса восстановления поверхностей вала;

- второй раздел содержит результаты анализа исследования опираясь на которые проведена дальнейшая разработка технической части, а именно разработка технологического процесса;

- по третьему разделу определены и выбраны специальные средства оснащения, режущие инструменты, материалы и оборудование для механической предварительной и последующей обработки вала, а также для процесса газопламенного напыления с применением водородно-кислородной смеси + 5% пропан-бутана.

- по четвертому разделу выполнена разработка технологического процесса восстановления вала газопламенным напылением, также проведены расчёты параметров и режимов резания для механической обработки и определены параметры газопламенного напыления.

- в пятом разделе представлены исследования по мероприятиям безопасности и экологичности проекта.

Согласно полученным данным расчётно-исследовательской части выпускной квалификационной работы, были рассмотрены методы предварительной механической обработки объекта (детали), разработан

процесс изготовления и маршрут обработки, представлена экологическая часть объекта.

Следовательно, можно утверждать, что цель магистерской работы – повышение качества восстанавливаемых валов путём разработки технологического процесса, достигнута.

Список используемых источников

1. Кравченко И.Н. Новые подходы к повышению ресурсов деталей машиностроения методами газотермического напыления наноструктурированными покрытиями \ И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, А.В. Коломейченко [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2014. - №6. – С. 32-35.
2. Кравченко И.Н. Технологии высокоскоростного нанесения наноструктурированных покрытий / И.Н. Кравченко, Ю.А. Кузнецов, А.В. Гуревский, А.А. Коломейченко // Строительные и дорожные машины. 2015. № 2. С. 10-15.
3. Кравченко И.Н. Исследования прочностных свойств и эксплуатационных характеристик хромовых покрытий, полученных различными методами напыления / И.Н. Кравченко, Е.М. Зубрилина, А.В. Шиян // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2012. - № 6. – С. 27-30.
4. Кравченко И.Н. Эффективные технологические методы нанесения покрытий газопламенным напылением / И.Н. Кравченко, В.М. Корнеев, А.А. Коломейченко, И.Е. Пупавцев // Вестник, 2015. - № 1. – С. 36-40
5. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 1/ А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение-1, 2001 г., 912 с.
6. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х кн. Кн. 2/ А.Г. Косилова [и др.]; под ред. А.М. Дальского [и др.]; - 5-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение-1, 2001 г., 944 с.
7. Сидоров В.П., Борисов Н.А. Критерий проплавления способности дуги при сварке [Текст] // Сварка и диагностика. - 2013. – С.24-27.
8. Сидоров В.П., Борисов Н.А. Вклад в проплавление изделия мощности электродного металла при сварке под флюсом [Текст] // Пайка - 2013: сборник материалов международной научно-технической конференции

(Тольятти, 10-12 сентября 2013 года) / редкол.: А.Ю. Краснопевцев (отв. ред.) [и др.] - Тольятти: ТГУ. – 2013. - С. 232–239.

9. Хромов В.Н., Коренев В.Н., Барабаш В.В. Повышение микротвёрдости покрытий при газопламенном напылении водородно-кислородным пламенем // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2010. - № 10. – С. 43-44.

10. Хромов В.Н., Коренев В.Н., Барабаш В.В., Венцов В.В. Газотермическое напыление покрытий с использованием водородно-кислородной смеси // Матер. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. 28–30 мая 2002. г. Ялта; Киев: АТМ Украины. 2002. С. 217–220.

11. Хромов В.Н., Коренев В.Н., Барабаш В.В. Выбор режимов газопламенного напыления порошковыми материалами с использованием водородно-кислородного пламени // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2009. - № 7. – С. 30-33.

12. Гусев С.А., Клепов Д.В. Способ диспергирования металлического расплава: Научно-технический журнал “Электромеханик”, 2021. - № 21. - с.8-13.

13. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сулова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 358-365.

14. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сулова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 366-367.

15. Дальский А. М., Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К., Сулова А.Г. Справочник технолога машиностроителя // Машиностроение, 2003. Том 2. – С 438-442.

16. Дуданова Л.Ф. Бакалаврская работа. Технологический процесс изготовления ступицы переднего колеса автомобилей семейства LADA [Электронный ресурс] // Репозиторий ТГУ. 2020. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/13521>

17. ГОСТ 12.3.036-84 Система стандартов безопасности труда. Газопламенная обработка металлов. Требования безопасности [Электронный ресурс] // База ГОСТов. 1986. URL: https://allgosts.ru/13/100/gost_12.3.036-84

18. Чеботарев М.И., Кадыров М.Р. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности [Электронный ресурс] URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/302/3022a16c56239d8f9a695b313ba0351a.pdf> (дата обращения: 23.10.2020).

19. Анализ вида изнашивания рабочих поверхностей детали [Электронный ресурс] 2018. URL: <http://www.lib.madi.ru/fel/fel1/fel18E497.pdf> (дата обращения: 12.10.2020).

20. Анализ повреждений машинных валов [Электронный ресурс] URL: <https://prmech.ru/pub/company/press/20180821-01.pdf> (дата обращения: 12.10.2020).

21. Валы и оси – назначение, конструкция и материалы валов и осей [Электронный ресурс] URL: <http://www.detalmach.ru/lect6.htm> (дата обращения: 12.10.2020).

22. Справочник металлиста [Электронный ресурс] URL: <http://enginiger.ru/materials/konstruktsionnaya-legirovannaya/stal-45h-konstruktsionnaya-legirovannaya/#naznachenie-i-primenenie> (дата обращения: 12.10.2020).

23. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа конструкций изделий [Электронный ресурс] 2012. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TMRI/uchwork/Tab4/IK_Skvorcov.pdf (дата обращения: 12.10.2020).

24. Козлов, А.А. Оборудование и технологическая оснастка машиностроительных производств. Проектирование кулачковых самоцентрирующих патронов: практикум / А.А. Козлов, С.И. Ярыгин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

25. Михайлов, А.В. Методические указания для студентов по выполнению курсового проекта по специальности 1201 Технология

машиностроения по дисциплине «Технология машиностроения» / А.В. Михайлов, – Тольятти, ТГУ, 2005. - 75 с.

26. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1./ Б.Н. Вардашкин; под ред. Б.Н. Вардашкина [и др.]; - М.: Машиностроение, 1984.

27. Zhang C., Xu J., Sun G., Wei X., Xiao J., Zhang G., Yin S. Wear behaviors of 5 wt % SiO₂-Ni₆₀ coatings deposited by atmospheric plasma spraying under dry and water-lubrication sliding conditions [Электронный ресурс] // Wear. 2021. Vol. 470 - 471. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164821000107?via%3Dihub> (дата обращения: 02.03.2021).

28. Nimuda G. E., Hermant B., Sudir T. Study of Flame Spray Coated Fe-Al Using N-2 as a Gas Carrier [Электронный ресурс] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1191. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1191/1/012054> (дата обращения: 11.10.2020).

29. Haoliang T., Changliang W., Mengqiu G., Zhihui T., Hui T., Xinkun W., Shicheng W., Binshi X. A residual stresses numerical simulation and the relevant thermal-mechanical mapping relationship of Fe-based [Электронный ресурс] // Results in Physics. 2019. Vol. 13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379719300129> (дата обращения: 11.10.2020).

30. Student M., Gvozdetsky V., Student O., Prentkovskis O., Maruschak P., Olenyuk O., Titova L. The Effect of Increasing the Air Flow Pressure on the Properties of Coatings During the Arc Spraying of Cored Wires [Электронный ресурс] // Strojnicky časopis - Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 69. URL: <https://content.sciendo.com/view/journals/scjme/69/4/article-p133.xml> (дата обращения: 11.10.2020).

31. Tischendorf R., Simmler M., Weinberger C., Bieber M., Reddemann M., Fröde F., Lindner J., Pitsch H., Kneer R., Tiemann M., Nirschl H., Schmid H.-J. Examination of the evolution of iron oxide nanoparticles in flame spray pyrolysis

by tailored in situ particle sampling techniques [Электронный ресурс] // Journal of Aerosol Science. 2021. Vol. 154. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002185022030207X?via%3Dihub> (дата обращения: 02.03.2021).

Технологический процесс восстановления изношенного вала

| ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТОГО ВАЛА | | | |
|--|-------|--|---|
| Операция | Эскиз | Оборудование вспомогательные материалы | Режимы |
| 000 Маячная | | Ванна ММА, мощный раствор МТ-51 | $T = 60^{\circ}\text{C};$ $t = 30 \text{ мин.}$ |
| 005 Дефектовочная - осматривать вал на наличие дефектов, - определить износ. | | Штангенциркуль ШЦ-II, ГОСТ 160-80 Микрометр ГОСТ 6507-90, | - |
| 010 Подготовительная - точить поверхность под размер; - нарезать "обданный" резьбу. | | Станок токарный модель РАМТО Т37, резец 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73, резец 16x16 2102-1155 ГОСТ 24-996-81 | Точение: $N = 1000 \text{ об/мин};$ $S = 0,6 \text{ мм/об};$ $f = 0,4 \text{ мм};$ Нарезание резьбы: $N = 7,8 \text{ об/мин};$ смещение резца = 3 мм; Рядсход: $O_2+H_2 = 16..24 \text{ л/мин};$ $C_3+H_3+C_4+H_4 = 0,8..1,2 \text{ л/мин};$ расстояние от сопла до напыляемой поверхности $L = 115..120 \text{ мм}$ |
| 015 Нанесение покрытия газоплазменным напылением | | Станок токарный модель РАМТО Т37, установка для напыления, газодвигатель | Точение: $N = 1000 \text{ об/мин};$ $S = 0,6 \text{ мм/об};$ $f = 0,8 \text{ мм};$ |
| 020 Токарная - точить поверхность под размер. | | Станок токарный модель РАМТО Т37, резец 10x10 2136-0706 ГОСТ 18875-73; | Точение: $N = 1200 \text{ об/мин};$ $S = 2,1 \text{ мм/об};$ $f = 0,08 \text{ мм};$ |
| 025 Круглошлифовальная | | Станок круглошлифовальный Модель 3Т160, круг шлифовальный К6 30x100x35 24.4.25СМ26К5 ГОСТ 28777-80 | Допуск на поверхность: $T_{2A}^{020} = 0,04 \text{ мм}$ |
| 030 Маячная | | Ванна ММА, мощный раствор МТ-51 | Допуск на поверхность: $T_{2A}^{025} = 0,025 \text{ мм}$ |
| 035 Контрольная | | Микрометр ГОСТ 6507-90, твердомер, индикатор часового типа ИЧ2 | Радиальное биение рабочих поверхностей относительно оси вала не более 0,02 мм, отклонение размеров в пределах допусков. Твердость поверхности НВ = 600 |

Рисунок А.1– Технологический процесс восстановления вала