

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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 кафедры)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Повышение эксплуатационных характеристик подшипников
технологией ФПУ»

Студент

Д.А. Обухов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Л. Федоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

Цель выпускной работы бакалавра: повышение эксплуатационных характеристик подшипников за счет нанесения покрытий.

Для достижения поставленной цели, решили следующие задачи: выбран и обоснован способ повышения эксплуатационных характеристик подшипников за счет финишного плазменного упрочнения (ФПУ); разработан технологический процесс нанесения покрытий ФПУ; выбрано оборудование; разработаны мероприятия обеспечивающие безопасность на участке упрочнения; выполнен расчет экономической эффективности от внедрения технологии ФПУ.

Работа состоит из пояснительной записки, содержащей 52 страницы, 6 рисунков, 11 таблиц. Графическая часть включает в себя 6 листов формата А 1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных и известных решений.....	6
1.1 Описание условий эксплуатации подшипников и вариантов их конструкции.....	6
1.2 Анализ возможных вариантов упрочнения.....	12
1.3 Задачи работы.....	20
2 Разработка технологии упрочнения.....	21
2.1 Режимы технологического процесса финишного плазменного упрочнения.....	21
2.2 Технологический процесс упрочнения.....	21
3 Оборудование для упрочнения.....	25
4 Безопасность и экологичность проекта.....	29
4.1 Характеристика участка упрочнения.....	29
4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной..... технологии в производство.....	30
4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных..... рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии.....	31
4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной..... безопасности разрабатываемого технологического объекта.....	32
4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого..... технологического объекта.....	34
4.6 Заключение по разделу.....	35
5 Экономическая эффективность проекта.....	36
5.1 Исходные данные для расчетов.....	36
5.2 Расчетное определение норм штучного времени.....	38
5.3 Капитальные вложения в оборудование.....	38
5.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии.....	41
5.5 Цеховая себестоимость.....	45

5.6 Заводская себестоимость.....	45
5.7 Расчет показателей экономической эффективности проектного варианта технологии.....	46
Выводы по экономическому разделу.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

ВВЕДЕНИЕ

Подшипники нашли широкое распространение в технике. Практически в каждом механизме или машине трущиеся детали сочленяют посредством подшипников. Подшипники можно разделить на два основных типа: с трением скольжения и с трением качения.

В первых типах взаимодействуют рабочие поверхности вала и корпуса, как правило, разделённые вкладышами скольжения и смазочными материалами. Во вторых типах между рабочими подвижными поверхностями заложены тела качения, обычно шарики или ролики. В этом случае работа подшипника происходит в процессе трения качения.

К настоящему времени разработано большое количество вариантов конструктивного исполнения подшипников, однако, ко всем подшипникам предъявляются требования эксплуатационной долговечности. Работы по увеличению срока службы подшипников идут по многим направлениям, начиная от поиска новых смазочных материалов и заканчивая применением для деталей подшипников новых конструкционных материалов и являются актуальными. При этом, в ряде случаев, возможен вариант упрочнения трущихся поверхностей подшипника нанесением слоя, обладающего особыми свойствами. Для нанесения таких слоев зачастую применяют сварку и родственные технологии. Однако из всего перечня вариантов нанесения покрытий предстоит выбрать наиболее подходящий применительно к подшипникам, разработать технологический процесс нанесения.

Отсюда сформулируем цель бакалаврской работы – повышение эксплуатационных характеристик подшипников за счет нанесения покрытий.

1 Анализ исходных данных и известных решений

1.1 Описание условий эксплуатации подшипников и вариантов их конструкции

Наибольшее распространение нашли подшипники качения. Следует отметить большое разнообразие конструктивных форм таких подшипников, рисунок 1.1.

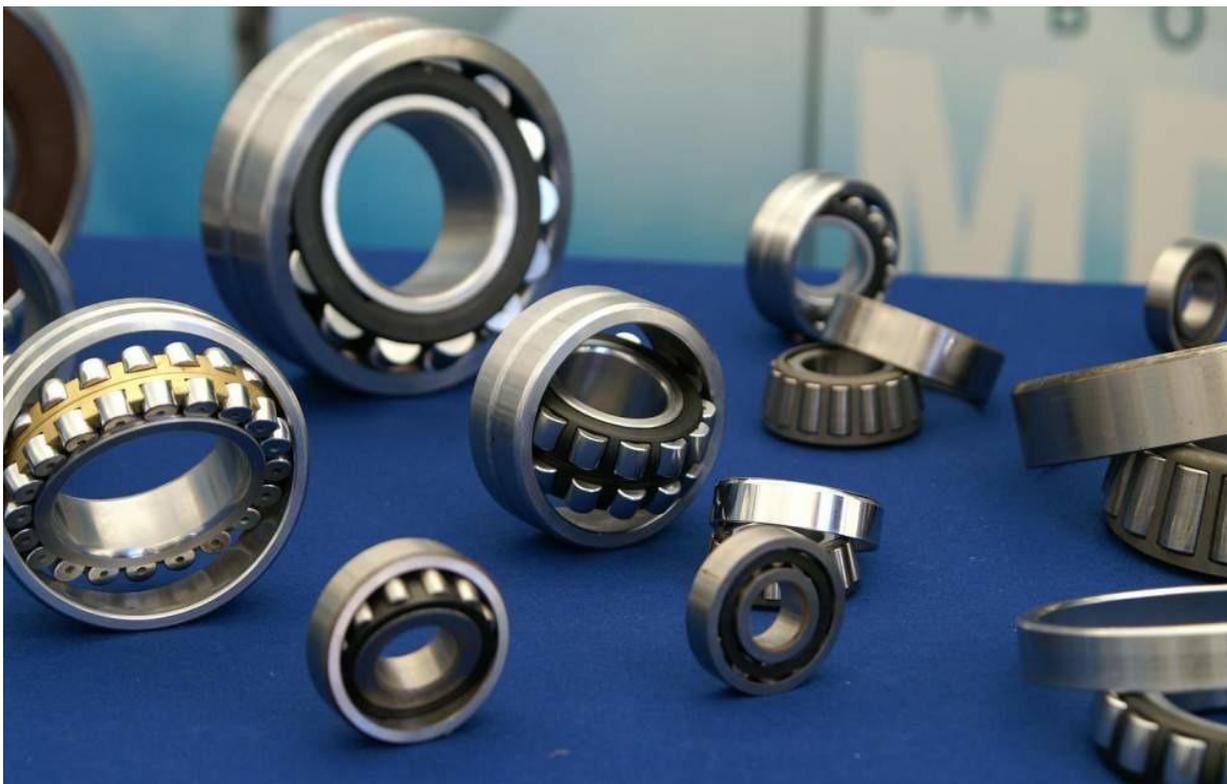


Рисунок 1.1 - Конструктивные варианты подшипников.

Выполнены подшипники качения, рисунок 1,2, из двух колец (1, 5), различной формы тел качения (2) и сепаратора (3). Сепаратор отделяет друг от друга тела качения, удерживает их на равном расстоянии друг от друга, и задает направление их движения. Некоторые типы подшипников выполняют без сепаратора. По поверхности, наружной для внутреннего кольца и внутренней для наружного кольца выполняют дорожки качения (4), специальные желоба, по которым в процессе работы подшипника перемещаются тела качения.

Если подшипник качения выполнен без сепаратора, в нем может быть больше тел качения, а значит, он обладает большей грузоподъемностью. Но предельная частота вращения бессепараторного подшипника значительно меньше из-за высокого момента сопротивления вращению.

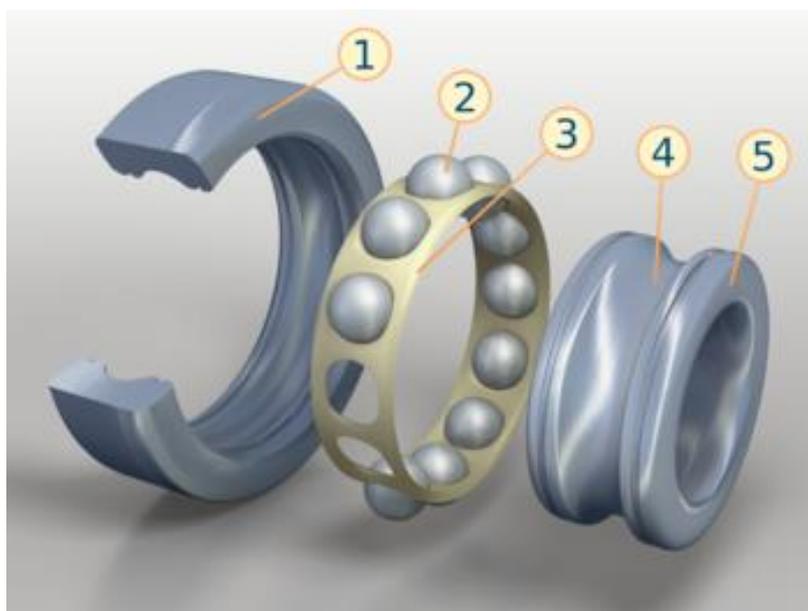


Рисунок 1.2 -

В процессе эксплуатации в узлах различных машин на элементы подшипников качения кольца, шарики, постоянно действуют знакопеременные напряжения. Действие переменного давления ограничено опорной поверхностью, малой площади. Поэтому появляются напряжения с переменным знаком, ограниченные локальной областью и растягивающие поверхность у контура контакта и сжимающие ее в центре.

Размер напряжений может составлять 500 кгс/см^2 , поэтому возникают несущественные остаточные и упругие деформации изделия качения. Через некоторое время появляются трещины усталости, при своем развитии приводящие к разрушению подшипника.

Другой проблемой является то, что детали шарикоподшипника склонны к истиранию, при котором от контактирующих поверхностей изделий отпадают небольшие металлические частицы. Следствием чего

является увеличение зазоров между телами качения и кольцами, и интенсификация их абразивного износа.

На величину абразивного износа подшипников качения оказывают влияние следующие факторы:

- химическая активность среды, в которой эксплуатируется подшипник;
- особенности применения смазочных материалов;
- точность сборки подшипника;
- наличие абразивных частиц в контакте, их количество и свойства.

Если подшипник эксплуатируется очень активно, его верхние слои способны изнашиваться до критической величины еще до того, как в металле образуются усталостные трещины. Ранний выход деталей качения из строя может наблюдаться и в тех случаях, когда на них интенсивно воздействуют комбинированные динамические, изгибающие и раздавливающие нагрузки.

Исходя из всего вышесказанного, становится понятным, что шарико-подшипниковые сплавы обязаны обладать:

- повышенной прочностью и стойкостью против механического износа;
- большой упругостью;
- незначительной хрупкостью в сочетании с повышенным показателем сопротивления физической усталости металла.

В подшипниковых сплавах содержится немало углерода. Именно он отвечает за достаточную стойкость против истирания изделий из них, а также за повышенные прочностные показатели подшипников качения после проведения их термообработки. Последняя требуется для того, чтобы изготовленные детали имели стабильные геометрические параметры при температуре эксплуатации выше 100 градусов. При этом термическая обработка, к сожалению, уменьшает сопротивление металла явлению контактной его усталости, а также твердость стали.

Хром и марганец, вводимые в состав сталей для подшипников, дают возможность повысить сопротивляемость изделий истиранию и одновременно их твердость. Кремний и марганец, будучи по своим

свойствам раскислителями, могут уменьшать вязкость металла, поэтому их содержание в подшипниковых составах должно выдерживаться в четко заданных пределах.

Основное же влияние на характеристики рассматриваемых сталей оказывает хром. Он и его карбиды в разумных количествах) увеличивают стойкость подшипников качения к износу, их твердость. Хром, кроме того, придает стали требуемую структуру (мелкое зерно), снижает склонность металла к чрезмерному перегреву, делает мартенсит устойчивым против отпуска и приостанавливает процесс образования перлита из аустенита.

Молибден вводится с целью увеличения долговечности изделий из шарико-подшипниковых сталей. Остальные же добавки, имеющиеся в описываемых сталях, оказывают негативное воздействие на их свойства, поэтому их содержание строго регламентируется.

К вредным примесям относят:

Медь. Нежелательный элемент, несмотря на то, что она повышает уровень прокаливаемости и прочности, а также твердость металла. Следует тщательно подбирать ее количество, иначе сталь будет подвержена формированию надрывов и опасных трещин на металлической поверхности.

Фосфор. Данная добавка вызывает снижение прочности на изгиб, делает материал хрупким и склонным при нагреве к формированию структуры с крупным зерном, обуславливает появление трещин при закалке стали, повышает ее восприимчивость к нагрузкам динамического характера.

Азот, свинец, олово, мышьяк. Эти примеси, содержащиеся в подшипниковых стальных композициях в тысячных долях процента, провоцируют металл на активное расквашивание.

Никель. При большом содержании данного элемента в стали ее показатели твердости существенно уменьшаются.

С учетом химического состава и свойств шарикоподшипниковая сталь может быть отнесена инструментальным сталям, но по ее использованию она относится к конструкционным сталям специального назначения.

Наибольшее распространение нашли подшипниковые высокоуглеродистые стали. Их классифицируют на две группы.

Первая группа - стали, предназначенные для подшипников, которые работают в нормальных условиях. Сюда относят хромистую сталь, хромистую с добавками молибдена, хромомарганцевокремнистую, хромомарганцевую с добавками молибдена;

Вторая группа - стали предназначенные для подшипников, которые работают в агрессивных средах повышенных температурах. Теплостойкие стали, коррозионно-стойкие стали.

К первой группе могут быть отнесены стали марок ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, ШХ6, ШХ9 и т.д. После унификации, проведенной в 1960 г. две последние марки заменили сталью ШХ15. Аналогичные марки в других странах маркируют 52100, 100С6, SKF-24, SUJ2 и т.д.

Ко второй группе могут быть отнесены стали марок 95Х18-Ш, 11Х18М-ШД, ЭИ760, ЭИ347 (8Х4В9Ф2), 8Х4М4ВФ1-Ш, 8DCV40, М50, Z80WDCV6, 80МоCrV4216 и др. Буква "Ш" в маркировке показывает, что сталь выплавляли методом электрошлакового переплава. Буквы "ШД" в маркировке показывают, что сталь выплавляли методом вакуумно-дугового переплава после электрошлакового.

Кроме указанных выше используют и низкоуглеродистые цементируемые стали и сплавы с особыми физическими свойствами.

Для того, чтобы выбрать сталь для конкретного подшипника следует, в первую очередь, учесть его размеры и условия эксплуатации. Например, хромистую и хромомарганцевокремнистую сталь применяют для изготовления подшипников, эксплуатируемых в диапазоне температур 60...300°С. В рамках указанного интервала температур выбрать хромистую или хромомарганцевокремнистую сталь можно оценив геометрические параметры подшипника. Поскольку кремний и марганец повышают прокаливаемость стали, с ростом толщины деталей подшипника следует брать сталь с большим содержанием кремния и марганца. Для обеспечения

сквозной прокаливаемости деталей подшипников при толщине стенки колец свыше 10 мм и диаметра роликов свыше 22 мм требуется замена стали ШХ15 на сталь ШХ15СГ. Для колец со стенкой толщиной свыше 30 мм может быть использована сталь ШХ20СГ. Ее применяют при изготовлении деталей для крупногабаритных подшипников.

Решить проблему низкой прокаливаемости и теплостойкости деталей из хромистой и хромомарганцевокремнистой сталей можно модифицируя молибденом, ванадием, вольфрамом.

Для экономии хрома разработаны модификации подшипниковой стали, где снижение содержания хрома компенсируется увеличением содержания марганца и незначительными добавками молибдена.

Высокая прочность после термообработки шарикоподшипниковых сталей достигается за счет высокого содержания углерода. Стойкость к истиранию и высокая твердость поверхности обеспечивается концентрацией углерода в мартенсите, следовательно она должна быть высокой у всех шарикоподшипниковых сталей.

Хром и марганец увеличивают твердость и сопротивление стали износу. Но, с другой стороны, их высокое содержание увеличивает размер зерна в процессе нагрева, например, при термообработке.

Марганец и кремний - элементы раскислители, и чем больше их содержится в стали, тем она полнее раскислена. Однако они существенно снижают вязкость шарикоподшипниковой стали, поэтому допускают содержание указанных элементов в шарикоподшипниковых сталях всех марок в количестве не превышающем: 0,35 %Si и 0,4 %Mn. В качестве исключения можно назвать сталь ШХ15СГ предназначенную для изготовления деталей крупных подшипников. В данном случае увеличенное содержание марганца и кремния снижает критическую скорость закалки, что уменьшает коробление и трещинообразование в процессе закалки.

1.2 Анализ возможных вариантов упрочнения

Широкое распространение для повышения эксплуатационных характеристик разных деталей получила дуговая наплавка. Вариантов нанесения покрытий дуговой наплавкой большое количество. Используя присадочные материалы с требуемыми свойствами можно на основу из сравнительно дешевого материала нанести тонкий слой с высокой стойкостью в данных условиях эксплуатации. Но точность обработки деталей подшипников очень высокая, и толщины, наносимые технологией дуговой наплавки не менее 1 мм, что нас, применительно к шариковым подшипникам, не устраивает.

Рассмотрим методы, обеспечивающие получение покрытий меньших толщин.

К таким методам можно отнести: нанесение покрытий химико-термическими технологиями; нанесение покрытий термомеханическим способом; электрофизическое физическое и химическое упрочнение; упрочнение локальной закалкой.

К наиболее освоенным и широко распространенным методам химико-термической обработки следует отнести диффузионное насыщение. Процесс диффузионного насыщения может происходить как при высокой температуре, свыше 900°C, так и при низких температурах, 450 – 600°C. Однако, нагрев до указанных температур нежелателен для деталей высокой точности, так как они коробятся и требуется последующая технологическая операция обеспечивающая получение требуемых размеров. Существенным недостатком химико-термической обработки является также низкая производительность процесса.

Металлические покрытия, получаемые методами гальванического осаждения применяют, преимущественно, для восстановления исходных размеров и форм изношенных деталей, рис. 1.4. У таких покрытий высокая твердость и значительная прочность сцепления с основой. Однако, по причине отрицательного действия остаточных растягивающих напряжений

снижено сопротивление усталости. Кроме того, значительная пористость таких покрытий не позволяет их использовать в агрессивных средах.

Широко применяют для восстановления и упрочнения деталей машин конденсацию вещества из плазменной фазы при ионной бомбардировке. Главным недостатком электродуговых испарителей, благодаря которым возможно осуществление данного метода, является присутствие в плазме некоторого количества микрочастиц в виде «капельной фазы». Чтобы разделить ионизированный металлический пар и капельную фазу используют различные системы сепарации потока плазмы. В процессе осаждения происходит ионная очистка поверхности и последующее нанесение покрытия. Ионная очистка обеспечивает активацию поверхности, за счет чего происходит хорошая адгезия покрытия за счет образования псевдодиффузионной связи по границе «покрытие-подложка». Недостатком данного метода является увеличение шероховатости поверхности. Например, при исходной шероховатости в пределах $R_{a \text{ исх}} = 0,1 \dots 0,3$ мкм после нанесения покрытия данным методом происходит ее увеличение до 2,5 раз, и шероховатость достигает $R_a > 0,7$ мкм. При этом снижается радиус выступов и средний шаг микронеровностей.

Другими недостатками данного метода является высокая стоимость оборудования, необходимость высококвалифицированного производственного персонала. С учетом изложенного использовать данный метод для упрочнения шарикоподшипников проблематично.

Существует ряд технологий обеспечивающих легирование поверхностного слоя деталей. Их применение позволяет увеличивать долговечность деталей, повышать эксплуатационные характеристики при достаточно жестких условиях нагружения. Данные технологии позволяют управлять составом и свойствами наносимого поверхностного слоя. Технологии не требуют для осуществления дорогостоящих материалов. Наиболее прост и технологически доступен электроискровой метод поверхностного легирования [1]. К положительным сторонам метода следует

отнести малую энергоемкость, практически не происходит нагрев обрабатываемого материала в объеме, способ легко автоматизируется. Однако к минусам, применительно к упрочнению подшипников следует отнести высокую шероховатость получаемого слоя, $Ra = 0,9...2,5$ мкм. Кроме того, у легированного слоя диффузионный характер, и свойства его существенно зависят от свойств материала подложки. Поэтому при нанесении таких покрытий на незакаленные стали происходит охрупчивание поверхностного слоя.

В последнее время широкое распространение при восстановлении и упрочнении изношенных деталей нашли газотермические технологии нанесения покрытий [1,17]. Такие покрытия обладают достаточно высокими показателями прочности сцепления, которая достигает 250 МПа. Данные способы отличает высокая производительность и возможность получения покрытий в широком диапазоне толщин от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

У каждого газотермического метода нанесения покрытий своя область применения. Так плазменное напыление предпочтительно для крупносерийного производства, а методы электрометаллизации и газоплазменного напыления лучше использовать в условиях мелкосерийного производства.

Сущность газоплазменного нанесения покрытий заключается в нанесении предварительно расплавленного материала газовой струей. Поверхность деталей должна быть должным образом подготовлена. При соударении мелкодисперсных частиц расплавленного металла, обладающих высокой скоростью, происходит их деформация и внедрение в дефекты поверхностного слоя с образованием покрытия. Для расплавления напыляемого материала может быть применено ацетилено-кислородное пламя. К положительным сторонам технологии газоплазменного нанесения покрытий необходимо отнести: неограниченные варианты сочетаний материалов; небольшая температура нагрева напыляемых деталей (120-

180°С); высокие прочностные характеристики покрытий; простое и дешевое оборудование. С помощью газоплазменного напыления можно наносить Покрытия, наносимые газопламенным напылением хорошо сопротивляются износу.

К отрицательным сторонам технологии газопламенного нанесения покрытий следует отнести следующие: низкая усталостная прочность из-за растягивающих остаточных напряжений; низкая стойкость к коррозии из-за пористости; высокие значения шероховатости, в пределах $Ra = 1$ мкм.

При электродуговой металлизации получают покрытия за счет распыления газовой струей жидкого металла. Расплавление металла осуществляют между двумя электродами. В качестве электродов может быть применены и напыляемые металлы, рис. 1.5. Процесс реализуют посредством металлатора. Данный аппарат (см. рис. 1.5) работает по следующему принципу. Ролики непрерывно подают две проволоки 1. К проволокам подводят электрический ток. Дуга между проволоками плавит металл. Поступающий по соплу в зону горения дуги сжатый газ обеспечивает большую скорость полета частиц металла (120–300 м/с) и, как следствие, малое время полёта - тысячные доли секунды. В момент удара частица жидкого металла пластически деформируется, сцепляется с другими частицами и с поверхностью подложки и образуется покрытие.

Стабильность процесса и мелкозернистая структура покрытия обеспечивается при напылении дугой постоянного тока. Поэтому в основном используют источники питания постоянного тока. На температуру дуги влияют транспортирующий газ и состав электродной проволоки.

Плазменное напыление износостойких покрытий основано на использовании для плавления и переноса металла к поверхности детали тепловых и динамических свойств плазменной струи.

Для получения плазменной струи применяют специальные устройства, плазмотроны (плазменные грелки). Струя плазмы является полностью или частично ионизированным газом при высокой температуре. При этом газ электропроводен.. Температура струи плазмы может достигать от 10000°С до 30000°С. Скорость истечения струи плазмы может достигать 1000...1500 м/с. На температуру и скорость истечения влияют сила тока дуги и скорость истечения газа. В качестве плазмообразующего газа могут быть использованы аргон и азот. Напыляемый материал (порошок) подают газом из питателя в горелку и вдувают в дуговой промежуток. там материал нагревается, расплавляется и в виде капель попадает на поверхность изделия. При напылении проволоки получается крупнозернистая структура покрытия.

К положительным сторонам технологии относят: одновременное нанесение разнородных материалов; высокая адгезия покрытий за счет высокой скорости частиц; незначительно повышение температуры напыляемой поверхности; легкость автоматизации процесса.

К отрицательным сторонам технологии следует отнести: низкую прочность покрытий; высокую пористость; неоднородную структуру; высокий уровень растягивающих напряжений.

Таким образом, анализ традиционно применяемых технологий и методов упрочнения не позволил выделить какой то, устраивающий по всем параметрам подшипники.

Рассмотрим сравнительно новый метод упрочнения – финишное плазменное упрочнение (ФПУ) [28]. Сущность данного метода заключается в нанесении покрытия и одновременной плазменной закалке слоя поверхности на глубину несколько микрометров. Покрытие образуется в процессе плазмохимических реакций специальных реагентов, проходящих

через плазмотрон. Закалка реализуется путем локального воздействия плазменной струи высокой концентрации.

При финишном плазменном упрочнении эффект достигается путем изменения свойств тонкого поверхностного слоя: увеличивается его микротвердость, уменьшается коэффициент трения, появляются сжимающие напряжения, на поверхности образуется диэлектрическое и коррозионностойкое пленочное покрытие обладающее малыми значениями коэффициента теплопроводности, низкой химической активностью.

Если сравнивать с рассмотренными выше способами упрочнения поверхности, такими как ионно-плазменное напыление, лазерное и электроискровое упрочнение, у финишного плазменного упрочнения следующие достоинства:

- двойной эффект - наносится покрытие со специфическими свойствами и в тонком приповерхностном слое происходят структурные изменения;
- упрочнение осуществляется на воздухе, не нужны вакуумные и другие камеры и защитная среда;
- поскольку толщина наносимого покрытия не превышает 3 микронметра, финишное плазменное является окончательной операцией, после него деталь отправляют на сборку;
- с учетом малой толщины покрытия параметры шероховатости поверхности не изменяются после проведения упрочнения;
- поскольку температура нагрева при обработке не превышает 100...120 °С, отсутствуют деформации обрабатываемых деталей, и появляется возможность упрочнения инструментальных сталей у которых температура отпуска сравнительно невелика;
- возможность упрочнения ограниченных объемов в нужных местах, причем исходные свойства материала в остальном объеме сохраняются;
- механические свойства тонкопленочного покрытия близки к свойствам алмазоподобных покрытий;

- в тонкопленочном покрытии, образующемся на поверхности, присутствуют сжимающие остаточные напряжения, что повышает усталостную прочность детали;
- образующееся на поверхности тонкопленочное покрытие обладает высокими значениями адгезионной прочности сцепления с основой;
- коэффициент трения тонкопленочного покрытия низкий, что при некоторых технологиях обработки препятствует образованию наростов;
- при нанесении таких покрытий формируется специфический микрорельеф поверхности, обеспечивающий заполнение его смазочно-охлаждающими жидкостями в процессе эксплуатации;
- аморфное (стеклообразное) покрытие малой толщины, которое образуется на поверхности обеспечивает защиту деталей от высоких температур, до 800 °С, и высокотемпературной воздушной коррозии;
- операции по очистке и обезжириванию перед нанесением покрытия не требуют специальных технологических приемов, достаточно обычных действий по очистке и обезжириванию;
- нет ограничений по габаритам упрочняемых деталей;
- расходные материалы потребляются в незначительных количествах и стоимость их невелика;
- низкая потребляемая мощность установки для упрочнения - менее 6 кВт;
- производственная площадь, требуемая для установки оборудования не превышает 2 м² и в совокупности с малой массой оборудования обеспечивает возможность легкого перемещения установки в заданное место;
- малогабаритный плазматрон позволяет легко проводить манипуляции им как оператору так и в автоматическом режиме;
- процесс характеризуется почти полным отсутствием производственных отходов и не требует применения в технологическом цикле токсичных и вредных материалов.

Из недостатков финишного плазменного упрочнения следует отметить высокий уровень шума и ультрафиолетовое излучение. Кроме того, производительность процесса сравнительно низкая.

Технология финишного плазменного упрочнения достаточно давно, первая публикация датирована 1987 годом [1], используется для увеличения долговечности и стойкости режущего инструмента, пресс-форм, ножей, штампов, различных деталей машин, медицинского инструмента. Однако в 2007 году оборудование для финишного плазменного упрочнения внедрено в ПАО «НПО «Сатурн», в Рыбинске, для получения антифрикционных покрытий на подшипниках качения спецтехники. При этом производится нанесение покрытий системы Si-O-C-N.

1.3 Задачи работы

Цель настоящей работы – повышение эксплуатационных характеристик подшипников за счет нанесения покрытий.

Проведенный анализ свойств материалов, из которого изготавливают детали подшипников и возможных вариантов нанесения покрытий позволил рекомендовать финишное плазменное упрочнение за счет нанесения покрытий системы Si-O-C-N.

С учетом изложенного сформулируем следующие задачи работы: 1) разработать технологический процесс финишного плазменного упрочнения деталей подшипников; 2) выбрать оборудование; 3) обеспечить технику безопасности на участке упрочнения; 4) рассчитать экономическую эффективность.

2 Разработка технологии упрочнения

2.1 Режимы технологического процесса финишного плазменного упрочнения

Термическое воздействие плазменной струи может сыграть как положительную, так и отрицательную роль. Влияние температуры поверхности изделия с одной стороны может обеспечить увеличение качества покрытия. в первую очередь его плотности. Но температура поверхности не должна привести к ее окислению.

Чрезмерное воздействие температуры может привести к появлению хрупких фаз или уменьшению твердости поверхности по механизму отпуска. Поэтому, высокое качество при применении технологии финишного плазменного упрочнения достигается при оптимальном сочетании всех параметров режима. В первую очередь, это температура обработки, концентрация реагентов в плазме. Поэтому, все параметры режима технологии финишного плазменного упрочнения делят на две группы: настроечные и режимы непосредственно процесса обработки.

Скорость перемещения плазмотрона и производительность выбирается по таблицам.

Значения максимально возможной скорости перемещения менее 150 мм/с, иначе не произойдет взаимодействие струи плазмы и обрабатываемой поверхности..

2.2 Технологический процесс упрочнения

Первая операция технологического процесса – обезжиривание. Обезжириванию подлежат поверхности, подлежащие упрочнению, бензином и ацетоном. Затем выполняется протирка бязью, смоченной спиртом. Расход спирта при этом должен составлять 0,06 л/м².

После обезжиривания, поверхности подлежащие финишному плазменному упрочнению необходимо протереть салфеткой из бязи. Операция обезжиривания проводится в хлопчатобумажных перчатках.

Затем выполняется операция контроля оборудования. Осмотром проверяется комплектность плазмотрона и плазмохимического генератора, их состояние. Особое внимание обращается на правильность сборки узлов, корректно ли присоединены все шланги и разъемы.

В плазмотроне следует проверить состояние электрода, сопла, уплотнений, шлангов и электрической проводки.

После выполненной проверки блок аппаратуры следует подключить к плазмотрону, плазмохимическому генератору, коммуникациям воды и газа.

Затем, включив подачу воды и газа, контролируют герметичность и проходимость трубопроводов воды и газа и соответствие расхода воды требованиям.

После контроля герметичности трубопровода подачи реагентов к плазмотрону следует снять плазмохимический генератор, включить подачу аргона (плазмообразующий газ) и при выключенном напряжении холостого хода нажав кнопку «Пуск» осуществить контроль возбуждения разряда между электродом и соплом плазмотрона. При слабом возбуждении разряда или его отсутствии выполнить регулировку положения вольфрамового электрода относительно сопла плазмотрона. Установить плазмохимический генератор на плазмотрон и завернуть накидную гайку до упора.

Затем задав давление аргона по манометру $2...3$ кгс/см² установить расход транспортирующего газа (аргон) через емкости питателя $0,9...1,2$ л/мин.

В течение $3...5$ мин продуть аргоном канал подачи технологического препарата аргоном. При необходимости заправить емкости технологическими препаратами. После заправки вручную закрутить гайки питателя. После того, как с помощью ротаметра установлено требуемое значение расхода газа и трубопроводы продуты закрыть клапан подачи реагентов.

Ротаметром № 1 установить рабочий расход плазмообразующего газа в пределах $1,5...2$ л/мин. При возбуждении дуги возможно увеличение

расхода аргона в пределах 2,5...3 л/мин. После завершения вышеописанных регулировок вентиль баллона с аргоном закрывается и полностью отпускается регулировочный винт редуктора.

Источник питания готовится к работе согласно его паспорта. При этом необходима визуальная проверка подключения электрических проводов разъемам и заземление источника питания и заземление блока управляющей аппаратуры.

После выполнения перечисленных проверок в плазмотрон и плазмохимический генератор подается вода. Проводится визуальный контроль отсутствия протечек и наличия воды в сливе. По ротаметру выполняется проверка расхода воды. Он должен находиться в пределах 200...250 литров в час.

Включается система вентиляции рабочего места.

Включается охлаждающая вода, включается аргон при давлении 0,2...0,3 МПа. Устанавливается ток дуги 80...120 А.

Зажигание дуги контролируют по факелу плазмы. При наличии факела плазмы отпускают кнопку «Пуск». Затем снижают расход плазмообразующего газа до значений, требуемых при напылении.

Открывают клапан «Подача реагентов» и транспортирующим газом начинается подача паров реагентов от питателя в плазмохимический генератор. Корректируют регулятором ток основной дуги до значения 100 А и начинают процесс напыления. Плазмотрон с плазмохимическим генератором подводят к напыляемой поверхности на расстояние 10...20 мм от среза плазмохимического генератора до поверхности, подлежащей упрочнению. Данное расстояние следует выдерживать в течение всего цикла обработки. Выполняя перемещение плазменной струи вдоль поверхности наносят покрытие. Контролируют увеличение температуры нагрева детали. Температура не должна превышать 100...150 °С.

Момент завершения упрочнения для данного участка определяется появлением интерференционной картины. Цвета, в основном, розово-желто-зеленой гаммы.

После завершения процесса финишного плазменного упрочнения снимают напряжение с плазмотрона, дуга гаснет. Перекрывают подачу реагентов перекрыв клапан «Подача реагентов». После выдержки 5...10 с зачищают плазменный канал втулки специальным ершиком. И после этого вентилем ротаметра № 1 перекрывают подачу плазмообразующего газа.

Если повторять обработку в ближайшее время не планируют - закрывают вентиль баллона с аргоном. Если перерыв в работе планируется большой, отключают от сети аппаратуру управления и источник тока, перекрывают подачу воды.

Контроль качества нанесенного покрытия предусмотрен визуальный. Производится сравнение цветовой гаммы нанесенного покрытия и на поверхности эталона.

3 Оборудование для упрочнения

В состав установки входит блок с жидкостным дозатором, показано на рисунке 3.1, плазмотрон и плазмохимический генератор, изображены на рисунке 3.2, и источник питания дуги (рис. 3.3). Кроме того, в некоторых случаях установку комплектуют манипулятором (рис. 3.4) обеспечивающим вращение изделий, перемещение и позиционирование плазмотрона при проведении финишного плазменного упрочнения, вытяжной системой, обеспечивающей безопасные условия труда, блоком охлаждения, и прибором, обеспечивающим качества нанесения покрытия. Основной комплект оборудования для ФПУ показан на рисунке 2.5.



Рисунок 3.1 - Блок с жидкостным дозатором



Рисунок 3.2 - Плазматрон и плазмохимический генератор



Рисунок 3.3 - Источник питания дуги



Рисунок 2.4 – Манипулятор

Нанесение покрытий на данной установке методом финишного плазменного упрочнения осуществляется при нормальном давлении в воздухе и включает в себя операции очистки и упрочнения поверхности за счет воздействия струи плазмы.



Рисунок 2.5 - Основной комплект оборудования для ФПУ

Установка обеспечивает нанесение алмазоподобного покрытия толщиной от 0,1 до 2 мкм. Возможно нанесение покрытия на инструмент, детали машин и технологическую оснастку. В состав блока аппаратуры установки (см. рис. 3.1) входят: система газораспределения; система регулировки; питатель жидкостный ПЖ-3-01; устройство зажигания дуги; блок питания; элементы коммуникации для соединения частей установки.

На внешняя панель блока аппаратуры схематически изображена на рисунке 3.6.

Задняя панель блока аппаратуры изображена на рисунке 3.7 (схематически).

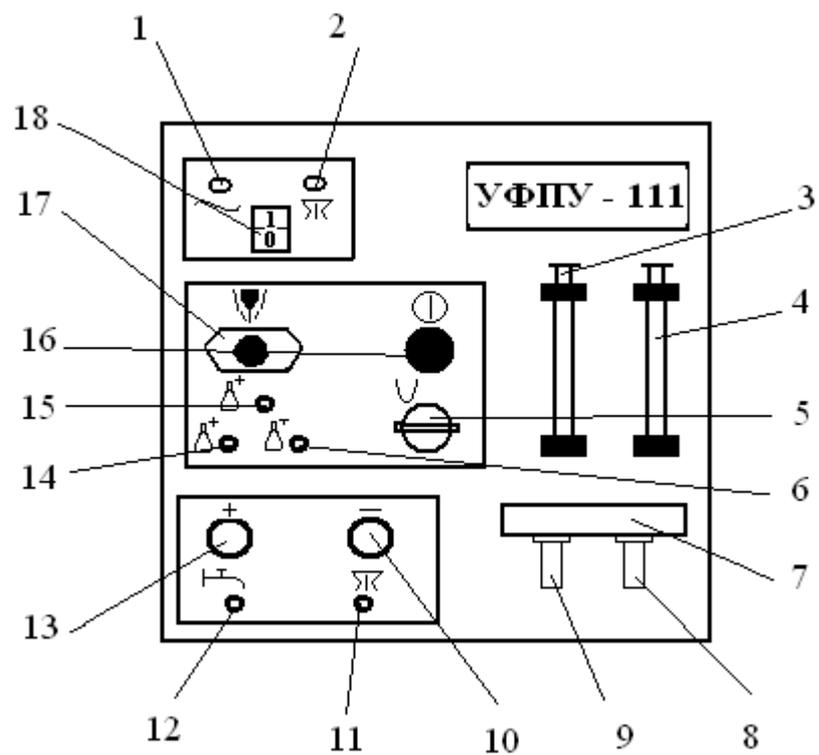


Рисунок 3.6 – Передняя панель блока аппаратуры БА-УФПУ-111.

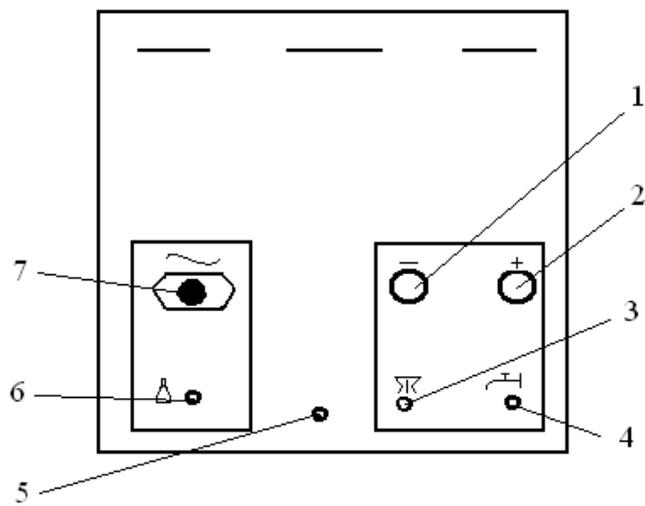


Рисунок 3.7 – Задняя панель блока аппаратуры БА-УФПУ-111:

4 Безопасность и экологичность проекта.

4.1 Характеристика участка упрочнения.

Участок подшипникового завода, выделенный под внедрение разработанной технологии, охарактеризован в таблице 4.1. Технология упрочнения подшипников включает в себя следующие операции: мойка; подготовка; упрочнение; контроль.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Должность работника, выполняющего данную технологическую операцию	Оборудование, устройства и приспособления, применяемые при выполнении технологической операции	Вещества и материалы, применяемые при выполнении технологической операции
1	2	3	4
1. Подготовка поверхности подшипника к упрочнению	Слесарь-сборщик,	Стол лабораторный	Спирт, ацетон, вата.
2. настройка оборудования для упрочнения	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка УФПУ	Вода техническая, аргон
3. упрочнение	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка УФПУ	Вода техническая, аргон, Сетол
4. Контроль качества сварки	Дефектоскопист	1) лупа х4	-

Установка УФПУ обеспечивает нанесение алмазоподобного покрытия толщиной от 0,1 до 2 мкм. Возможно нанесение покрытия на инструмент, детали машин и технологическую оснастку. В состав блока аппаратуры установки входят: система газораспределения; система регулировки; питатель жидкостный ПЖ-3-01; устройство зажигания дуги; блок питания; элементы коммуникации для соединения частей установки.

4.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной

технологии в производство

Таблица 4.2 –Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Источник появления опасного или вредного производственного фактора
1	2	3
1. Подготовка поверхности подшипника к проведению упрочнения	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека 	Ацетон, спирт этиловый, вата
2. Настройка установки	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов; - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне 	Установка УФПУ

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3
3. Упрочнение	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов; - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне 	1) установка УФПУ
4. Контроль упрочнения подшипника	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека 	1) лупа х4 2) шаблон сварщика УШС-3 3) стенд гидроиспытательный

4.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных

рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии

Таблица 4.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Наименование предлагаемого организационного мероприятия и технического средства, осуществляющего защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора	Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника
1	2	3
- Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Перчатки, спецодежда.

Продолжение таблицы 4.3

- Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Нанесение предостерегающих надписей, соответствующая окраска, применение ограждения	-
- Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа по вопросам техники безопасности	Спецодежда, перчатки
- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
- Повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Спецодежда, маска сварщика

4.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 4.4 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Наименование первичного средства для осуществления тушения	Наименование мобильного средства для осуществления тушения	Наименование стационарных систем и установок для осуществления тушения	Наименование пожарной автоматики	Наименование пожарного оборудования, применяющегося для тушения	Наименование средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при	Наименование пожарного инструмента	Наименование пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.5 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок, на котором осуществляется упрочнение поверхности	Установка для упрочнения	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей

Таблица 4.6 – Проведение организационных и технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Подготовка поверхности, упрочнение и контроль качества упрочненной поверхности	Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими	Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр.

4.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Реализуемый технологический процесс	Операции, входящие в состав технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Подготовка поверхности, упрочнение подшипника и контроль качества упрочненного слоя	Подготовка поверхности, выполнение упрочнения, контроль качества упрочненной поверхности подшипника	Выделяемые при упрочнении газообразные частицы и сажа	Жидкость Сетол	Бумажная и полиэтиленовая упаковка от вспомогательных материалов; бытовой мусор, преимущественно стальной металлолом .

Таблица 4.8 – Организационно-технические мероприятия обеспечивающие снижение негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Упрочнение подшипника
Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу	Следует предусмотреть установку контейнеров, позволяющих проводить селективный сбор производственных отходов и бытового мусора. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди рабочих сварочного участка по вопросу правильного складывания мусора и отходов в контейнеры.

4.6 Заключение по разделу

В ходе выполнения данного раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при внедрении проектной технологии в производство. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов. В результате проведения этого анализа установлено, опасные и вредные производственные факторы могут быть устранены или уменьшены до необходимого уровня с применением стандартных средств безопасности и санитарии производства. Отсутствует необходимость в разработке дополнительных средств защиты. При внедрении проектной технологии возможны угрозы экологической безопасности. Для устранения этих угроз необходимо соблюдение технологического регламента и производственной санитарии.

По устранении угрозы окружающей среде вопросы по составу жидкости «Сетол», производитель не разглашает его. Но, на всякий случай, следует исключить ее пролив.

5 Экономическая эффективность проекта

Для упрочнения подшипников по базовому варианту их поверхность, которая взаимодействует с шариками, наплавляют дугой.

Разработан проектный вариант, который предусматривает финишное плазменное упрочнение поверхности деталей штамповой оснастки.

Характеристика сравниваемых вариантов представлена в виде таблицы 5.1. Здесь указаны недостатки базового варианта, и как они будут устранены в проектном варианте технологического процесса.

Таблица 5.1.

Базовый вариант	Проектный вариант
Сварщик вручную перемещает в пространстве сварочную горелку. Качество соединения зависит от субъективных характеристик рабочего. И разряд у него высокий.	Поскольку процесс происходит с высокой степенью автоматизации, контролю подлежат только 2 параметра режима, разряд рабочего может быть меньше а качество и производительность выше.
Низкая скорость перемещения сварочной горелки обусловлена малыми значениями силы сварочного тока.	Увеличить скорость можно, так как тонкий слой наносится

5.1 Исходные данные для расчетов

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

Таблица 5.2 – Исходные данные

№ п/п	Показатель	Условные обозначения	Единицы измерений	Варианты	
				Базовый	Проектный
1	2	3	4	5	6
1	Цена присадочного материала: электроды ЭН-60М ; Сетол	Цэл	Руб/кг	250	8660
2	Коэф. транспортно-заготовительных расходов	Ктз	-	1,05	1,05
3	Часовая тарифная ставка	Сч	Руб/час	56,24	42,48
4	Значение коэффициента, устанавливающего размер доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
5	Значение коэффициента, устанавливающего размер отчислений на дополнительную заработную плату	Кдоп	%	12	12
6	Значение коэффициента, учитывающего размер отчислений на социальные нужды.	Нсоц	%	36	36
7	Рыночная стоимость применяемого технологического оборудования	Соб	Руб	30000	1800000
8	Установленная норма амортизационных отчислений на используемое в технологическом процессе оборудование	На	%	18	18
9	Стоимость аргона	Цгг	Руб/м ³	50	-
10	Стоимость приобретения производственных площадей	Сэкспл	Руб/м ²	1800	1800
11	Площадь, которая занята технологическим оборудованием	S	М ²	8	10
12	Принятое значение нормы амортизации производственных площадей	Напл	%	5	5
13	Принятая величина коэффициента затрат по демонтажу оборудования базового варианта и монтажу проектного	кдем кмонт	-	0,2	0,2
14	Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м ²	3000	3000
15	Значение коэффициента, который учитывает цеховые расходы	Кцех		2,50	250
16	Значение коэффициента, который учитывает заводские расходы	Кзав		1,8	1,8
17	Годовая программа	Нпр	Шт	10000	10000

5.2 Расчетное определение норм штучного времени

Для определения норм штучного времени воспользуемся зависимостью

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (5.1)$$

где $t_{шт}$ – общее время, которое затрачивает персонал на выполнение операций технологического процесса;

$t_{маш}$ – время, которое затрачивает персонал непосредственно на выполнение сварочных операций;

$t_{всп}$ – время, которое затрачивает персонал на подготовку к работе сварочного оборудования и составляет 10% от $t_{маш}$;

$t_{обсл}$ – время, которое затрачивает персонал на обслуживание, текущий и мелкий ремонт сварочного оборудования и составляет 5% $t_{маш}$;

$t_{отл}$ – время, которое затрачивает персонал на личный отдых, составляет 5% $t_{маш}$;

$t_{п-з}$ – время на подготовительно – заключительные операции, 1% $t_{маш}$.

Машинное время определим по технологическим картам на упрочнение подшипников:

базовый

$$t_o = 2 \text{ мин} = 0,03 \text{ час.}$$

проектный

$$t_o = 0,55 \text{ мин} = 0,009 \text{ час}$$

$$t_{штб} = 2 * 0,0005 + 2 + 2 * 0,1 + 2 * 0,05 + 2 * 0,08 = 2,301 \text{ мин} = 0,04 \text{ час.}$$

$$t_{шт} = 0,33 * 0,0005 + 0,55 + 0,55 * 0,1 + 0,55 * 0,05 + 0,55 * 0,08 = 0,676 \text{ мин} = 0,011 \text{ час.}$$

5.3 Капитальные вложения в оборудование

Расчётное определение величины капитальных затрат, сопровождающих реализацию технологии производим с использованием следующей зависимости:

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{кон} \quad (5.4)$$

Прямые капитальные вложения:

$$K_{np} = \Sigma Ц_{об} * k_3 \quad (5.5)$$

где $\Sigma Ц_{об}$ – суммарная цена оборудования, руб.;

k_3 – коэффициент загрузки оборудования.

Количество оборудования:

:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{np} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60} \quad (5.6)$$

где: N_{np} – программа выпуска изделий, шт.;

$t_{шт}$ – штучное время на изготовление одного изделия, мин.;

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

Для выполнения принятой N_{np} принимаем целое число единиц оборудования ($n_{об.прин}$).

Для этого $n_{об.расчетн}$ округляем до ближайшего целого большего числа.

Тогда расчётное определение величины коэффициента загрузки оборудования выполним с использованием зависимости:

$$k_3 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (5.7)$$

Величина эффективного фонда времени работы сварочного оборудования:

:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{np}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.п}) \quad (5.8)$$

где: D_k – количество календарных дней в году;

$D_{вых}$ – количество выходных дней в году;

D_{np} – количество праздничных дней в году;

$T_{см}$ – продолжительность рабочей смены, час;

S – количество рабочих смен;

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

$$\Phi_{эф.} = (250 \cdot 8 - 8 \cdot 7) \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1827 \text{ час.}$$

$$n_{об.расчетнб} = \frac{10000 \cdot 2,3}{1827 \cdot 60} = 0,20$$

$$n_{об.расчетн} = \frac{10000 \cdot 0,67}{1827 \cdot 60} = 0,05$$

$$k_{зб} = \frac{0,20}{1} = 0,20$$

$$k_{зпр} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

$$K_{прб} = 30000 \cdot 0,2 = 6000 \text{ руб.}$$

$$K_{прпр} = 1800000 \cdot 0,05 = 90000 \text{ руб.}$$

Принятая величина сопутствующих капитальных вложений определяется по зависимости:

$$K_{сов} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (5,9)$$

$K_{монт}$ – затраты на монтаж нового оборудования;

$K_{дем}$ – затраты на демонтаж старого оборудования;

$K_{площ}$ – затраты на производственные площади под новое оборудование.

$$K_{монт} = \Sigma Ц_{об} \cdot k_{монт} \quad (5,10)$$

где: $k_{монт}$ – коэффициент монтажа оборудования = 0,2.

$$K_{монт} = 1800000 \cdot 0,2 = 360000 \text{ руб.}$$

$$K_{дем} = \Sigma Ц_{об} \cdot k_{дем} \quad (5,11)$$

где: $k_{дем}$ – коэффициент демонтажа оборудования = 0,2.

$$K_{дем} = 30000 \cdot 0,2 = 6000 \text{ руб.}$$

Затраты на площадь, дополнительно занимаемую под новое оборудование, рассчитываем по формуле:

$$K_{площ} = S_{площ} \cdot Ц_{площ} \cdot g \cdot k_з \quad (5,12)$$

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

$$K_{площ} = 2 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,05 = 900 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{соп}} = 360000 + 6000 + 900 = 366900 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ.б}} = 6000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ.пр}} = 90000 + 366900 = 456900 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины удельных капитальных вложений выполняем с использованием зависимости

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.13)$$

$$K_{\text{уд.б}} = 6000/10000 = 0,6 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд.пр}} = 456900/10000 = 45,69 \text{ руб.}$$

5.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии.

Затраты на материалы, используемые при реализации базового и проектного вариантов технологии, определяем с использованием формулы:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}$$

Затраты на основные материалы не рассчитываем, так как основные материалы одни и те же.

Затраты на присадочный материал (базовый вариант) определим согласно сведений из технологических карт

$$ЗМ_{\text{ЭЛБ}} = 250 * 0,063 = 15,91 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы для проектного варианта согласно технологическим картам.

$$ЗМ_{\text{пр}} = 0,34 \text{ руб.}$$

Расчётное определение расходов на электроэнергию производим с использованием зависимости:

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_{\text{о}}}{\text{КПД}} \cdot Ц_{\text{э-э}} \quad (5.17)$$

где $P_{\text{об}}$ – полезная мощность сварочного оборудования, кВт;

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

КПД – КПД установки.

Мощность оборудования определим по режимам обработки: сила тока и напряжение,

Базовый

$$M_{об} = 125 \cdot 23 = 2875 \text{ Вт} = 2,75 \text{ кВт}$$

Тогда

$$Зэ - эб = \frac{2,75 \cdot 2,2 \cdot 0,04}{0,7} = 0,34 \text{ руб.}$$

Проектный

$$M_{упр} = 10,2 \text{ кВт}$$

Тогда

$$Зэ - эпр = \frac{10,2 \cdot 2,2 \cdot 0,022 \cdot 1}{0,7} = 0,70 \text{ руб}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} + З_{в.тех} + З_{сж.возд} \quad (5.20)$$

Затраты на амортизацию оборудования, используемого при упрочнении можно рассчитать по формуле:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об.} \cdot N_{а_{об.}} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.21)$$

$$A_{обб} = \frac{30000 \cdot 2,3 \cdot 18}{1827 \cdot 100 \cdot 60} = 0,1 \text{ руб}$$

$$A_{обпр} = \frac{1800000 \cdot 0,67 \cdot 18}{1827 \cdot 100 \cdot 60} = 1,98 \text{ руб}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об.} \cdot N_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} \quad (5.22)$$

где $N_{т.р.}$ – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, (35%).

Подставив в (5.22) необходимые значения, получим:

$$P_{\text{трб}} = \frac{30000 \cdot 35 \cdot 0,2}{1827 \cdot 100} = 1,14 \text{руб}$$

$$P_{\text{трпр}} = \frac{180000 \cdot 35 \cdot 0,05}{1827 \cdot 100} = 1,72 \text{руб}$$

$$З_{\text{обб}} = 0,11 + 1,14 = 1,25 \text{руб.}$$

$$З_{\text{обпр}} = 1,98 + 1,72 = 3,70 \text{руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$З_{\text{пл.ощ.}} = \frac{S_{\text{пл.ощ.}} \cdot Ц_{\text{пл.ощ.}} \cdot N_{\text{а пл.ощ.}} \cdot k_3}{100 \cdot N_{\text{пр}}}$$

где $S_{\text{пл.ощ.}}$ - площадь, занимаемая оборудованием на i -той операции, м^2 ;

$Ц_{\text{пл.ощ.}}$ - цена 1 м^2 занимаемой производственной площади;

$N_{\text{а пл.ощ.}}$ - норма амортизационных отчислений на производственные здания.

Подставив в (5.20) необходимые значения, получим:

$$З_{\text{пл.ощ.б}} = \frac{8 \cdot 3000 \cdot 2 \cdot 0,2}{100 \cdot 10000} = 0,01 \text{руб.}$$

$$З_{\text{пл.ощ.пр}} = \frac{10 \cdot 3000 \cdot 2 \cdot 0,05}{100 \cdot 10000} = 0,01 \text{руб.}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды.

Фонд заработной платы (ФЗП) представляет собой сумму основной зарплаты и дополнительной.

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{\text{осн}} + \text{ЗПЛ}_{\text{доп}} \quad (5.22)$$

Для расчётного определения основной зарплаты используем зависимость:

$$\text{ЗПЛ}_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot k_{\text{зпл}} \quad (5.23)$$

где $C_{\text{ч}}$ – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$t_{\text{шт}}$ – норма штучного времени, час;

$k_{зпл}$ – коэффициент начислений на основную заработную плату, 1,81.

$$ЗПЛ_{оснб} = 0,04 \cdot 56,24 \cdot 1,82 = 4,09 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{оснпр} = 0,011 \cdot 42,48 \cdot 1,82 = 0,85 \text{ руб.}$$

Для расчётного определения дополнительной заработной платы используем формулу:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.25)$$

где $k_{д}$ – коэффициент, соотношения между основной и дополнительной заработной платой, 10%.

Подставив в (5.25) необходимые значения, получим:

$$ЗПЛ_{допб} = 4,09 \cdot 12 / 100 = 0,49 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{доппр} = 0,85 \cdot 12 / 100 = 0,10 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗПб = 4,09 + 0,49 = 4,58 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗПпр = 0,85 + 0,10 = 0,95 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины отчислений на социальные нужды производим с использованием формулы:

$$O_{сн} = \Phi ЗП \cdot N_{соц} / 100 \quad (5.26)$$

где $N_{соц}$ – коэффициент отчислений на социальные нужды, 30 %.

Подставив в (5.26) необходимые значения, получим:

$$O_{снб} = 4,58 \cdot 36 / 100 = 1,64 \text{ руб.}$$

$$O_{снпр} = 0,95 \cdot 36 / 100 = 0,34 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины технологической себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{тех} = ЗМ + З_{э-э} + З_{об} + З_{пл} + \Phi ЗП + O_{сн} \quad (5.27)$$

Подставив в (5.27) необходимые значения, получим:

$$C_{техб} = 2,97 + 4,58 + 1,64 + 1,25 + 0,01 = 10,45 \text{ руб.}$$

$$C_{техпр} = 0,76 + 0,95 + 0,34 + 3,70 + 0,01 = 5,76 \text{ руб.}$$

5.5 Цеховая себестоимость

Расчётное определение величины цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.28)$$

где $P_{\text{ЦЕХ}}$ - сумма цеховых расходов, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = k_{\text{ЦЕХ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.29)$$

где $k_{\text{ЦЕХ}}$ – коэффициент, который учитывает цеховые расходы, 2,5;

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

Подставив в (5.29) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{Цехб}} = 10,45 + 4,09 \cdot 2,5 = 10,45 + 10,22 = 20,67 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{Цехпр}} = 5,07 + 0,85 \cdot 2,5 = 5,07 + 2,12 = 7,19 \text{ руб.}$$

5.6 Заводская себестоимость

Расчётное определение величины заводской себестоимости производим на основании зависимости:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.30)$$

где $P_{\text{ЗАВ}}$ – сумма заводских расходов, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент, учитывающий заводские расходы, 1,8.

Подставив в (5.30) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{Завб}} = 20,67 + 4,09 \cdot 1,8 = 20,67 + 7,36 = 28,03 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{Завпр}} = 7,19 + 0,85 \cdot 1,8 = 7,19 + 1,53 = 8,72 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Результаты расчета себестоимости сведем в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Калькуляция себестоимости изготовления одного нейтрализатора

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	Проект
1	2	3	4	5
1	Материалы	М	2,97	0,76

Продолжение таблицы 5.6				
2	Фонд заработной платы	ФЗП	4,58	0,95
3	Отчисления на социальные нужды	О _{сн}	1,64	0,34
4	Затраты на площади	Зпл	1,25	3,70
5	Затраты на оборудование	Зоб	0,01	0,01
6	Себестоимость технологическая	Стех	10,45	5,07
	Расходы цеховые		10,22	2,12
7	Себестоимость цеховая	Сцех	20,67	7,19
	Расходы заводские		7,36	1,53
8	Себестоимость заводская	Сзав	28,03	8,72

5.7 Расчет показателей экономической эффективности проектного варианта технологии

Величину условно-годовой экономии (ожидаемой прибыли) определим по формуле:

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{у.г.} = \left(C_{зав}^б - C_{зав}^{np} \right) \cdot N_{np} \quad (5.31)$$

Подставив в (5.31) необходимые значения, получим:

$$\mathcal{E}_{у.г.} = (28,03 - 8,72) \cdot 10000 = 193100 \text{ руб.}$$

Для определения размера годового экономического эффекта воспользуемся формулой

$$\mathcal{E}_г = [(C_{зав}^б + E_n \cdot K_{уд}^б) - (C_{зав}^{np} + E_n \cdot K_{уд}^{np})] \cdot N_{np} \quad (5.32)$$

$$\mathcal{E}_{гп} = [(28,03 + 0,33 \cdot 0,6) - (8,72 + 0,33 \cdot 45,95)] \cdot 10000 = 41465 \text{ руб.}$$

Величину показателя снижения трудоемкости определим с использованием формулы:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штб} - t_{штгп}}{t_{штб}} \cdot 100\% \quad (5.33)$$

Подставив в (5.33) необходимые значения, получим:

$$\Delta t_{шт} = \frac{0,117 - 0,0735}{0,117} \cdot 100\% = 37,17\%$$

Величину показателя увеличения производительности труда определим по формуле:

$$П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (5.34)$$

Подставив в (5.34) необходимые значения, получим:

$$П_T = \frac{100 \cdot 37,17}{100 - 37,17} = 59\%$$

Величину показателя снижения технологической себестоимости определим по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХ}}^{\text{БАЗ}} - C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}}}{C_{\text{ТЕХ}}^{\text{БАЗ}}} \cdot 100\% \quad (5.35)$$

Подставив в (5.35) необходимые значения, получим:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{18,98 - 6,12}{18,98} \cdot 100\% = 67\%$$

Величину срока окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\Xi_{\text{УГ}}} \quad (5.36)$$

$$T_{\text{ОК}} = \frac{7303205}{4489000} \approx 0,5 \text{ года}$$

Сравнительная экономическая эффективность

$$E_{\text{СР}} = \frac{1}{T_{\text{ОК}}} = \frac{1}{0,5} = 2 \quad (5.37)$$

Выводы по экономическому разделу

В разделе Оценка экономической эффективности бакалаврской работы были произведены расчеты с целью определения таких экономических параметров, базового и проектного вариантов, как себестоимость упрочнения технологическая и заводская.

Установлено, что проектный вариант упрочнения после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 37 %, увеличение производительности труда на 59 %, что

уменьшило технологическую себестоимость на 38,9%. Расчётная величина условно-годовой экономии составила 193100 рублей.

Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составит 41465 рублей. Капитальные вложения в оборудование рублей будут окуплены за 0,5 года.

На основании вышеизложенного делаем вывод о том, что разработанная технология упрочнения обладает экономической эффективностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ современного состояния возможных способов упрочнения подшипников. Рассмотрены передовые научные разработки в данной области.

Показано, что использование технологии финишного плазменного упрочнения при упрочнении рабочих поверхностей подшипников качения позволит изменив геометрию деталей подшипника на микроны существенно увеличить срок их службы.

Разработан технологический процесс упрочнения финишно-плазменным упрочнением. Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составит 41465 рублей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соснин Н.А., Вичик Б.Л., Ермаков С.А., Тополянский П.А., Райчук Д.Ю. Плазменное упрочнение изделий на базе серийной установки для сварки УПС-301 // ЭИ Всесоюз. научно-исслед. института научно - техн. пропаганды и экономики промышленности строительных материалов. Серия 15 Ремонт и эксплуатация оборудования. Вып. 6., М., 1987 С. 8-11.
2. Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск: Изд-во Металл, 1993 – 144 с.
3. Пархимович Э.М., Голозубов А.Л. Исследование физико-механических и триботехнических свойств тонкопленочных упрочняющих покрытий // Трение и износ. - 1995 Т.16. № 4 - С. 766-771.
4. Мьяконьков М.Б., Хмелевская В.Б. Сравнительные исследования способов нанесения покрытий на поршневые кольца для уменьшения их износа // Металлообработка. 2010 № 3 - С. 36-40
5. Аманов С.Р., Кислов А.В., Юков А.В. Влияние поверхностной обработки штампов на коэффициент трения при вытяжке. Кузнечно-штамповочное производство, 2003, №1, С. 35-39
6. Мейстер Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с..
7. Гитлевич А.Д., Этитоф А.А. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, А.А. Этитоф. – М.: Машиностроение, 1987 – 280 с.
8. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах : ПОТ РМ-020-2001 : ввод. в действие с 1 янв. 2002 г. - Москва : [б. и.], 2001. - 58 с..

9. Справочник конструктора и технолога / сост. В. М. Михин, Б. Е. Кобызов, В. В. Михайленко. - Королев : ЦНИИМАШ, 2000. - 582 с.
10. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
11. Цепенев Р. А. Автоматическое управление процессом сварки : учеб. пособие / Р. А. Цепенев ; ТолПИ ; Каф. "Оборуд. и технология сварочного пр-ва". - Тольятти : ТолПИ, 2001. - 76 с.
12. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений трубопроводов и аппаратов, работающих под давлением / П. М. Корольков. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 1987. - 233 с.
13. Прыкин Б. В. Технология металлов и сварки : учеб. для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций" / Б. В. Прыкин. - Киев : Вища шк., 1978. - 240 с.
14. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник / Р.А. Фахрутдинов. – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
15. Акшенцева А. П. Структура и свойства никельмолибденовых коррозионностойких сплавов : (с атласом микроструктур) : справочник / А. П. Акшенцева. - Москва : СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 204 с.
16. Изучение сварочного трансформатора : метод. указания к лаб. работе №4 по дисциплине "Электротехнологические установки" / сост. М. А. Бондаренко [и др.] ; науч. ред. В. М. Салтыков ; ТГУ ; Каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Тольятти : ТГУ, 2003. - 13 с.
17. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
18. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.

19. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
20. Бабынец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабынец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
21. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
22. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика / С.В. Жариков // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.
23. Гофман, Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий // Автоматическая сварка. – 2001. – № 12. – С. 37–38.