

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)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического
оборудования
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Технология восстановления изношенных деталей сварочной оснастки

Студент

Д.А. Гаврилов
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ состояния вопроса	6
1.1 Анализ технологии контактной точечной сварки кузовных деталей автомобилей.....	6
1.2 Назначение и состав сборочных приспособлений.....	11
1.3 Задачи работы.....	20
2 Анализ возможных вариантов восстановления изношенных слоев на сварочной оснастке	22
3 Методика исследований	41
3.1 Подготовка машины трения.....	41
3.2 Напыление покрытий на образцы	45
4 Технологические рекомендации по ремонту изношенных деталей	52
Заключение	62
Список используемых источников.....	64

Введение

Широкое применение контактной точечной сварки в различных областях промышленности обусловлено высокой степенью ее механизации, роботизации, автоматизации и, как следствие, высокой производительностью.

Одним из главных вопросов технологии контактной сварки остаётся обеспечение стабильности качества в условиях массового производства. Современные достижения в области управления сварочными процессами позволили частично или полностью компенсировать влияние возмущающих факторов, что существенно повысило стабильность качества получаемых сварных соединений [3, 13, 14, 15].

Также важным для производства сварных кузовов является обеспечение стабильности геометрии кузова.

Сваривается кузов из штампованных панелей, преимущественно технологией контактной точечной сварки. И от точности сварки элементов кузова зависит, насколько удачно будет собран автомобиль на конвейере. Одним из главных вопросов технологии контактной сварки остаётся обеспечение стабильности качества в условиях массового производства. Современные достижения в области управления сварочными процессами позволили частично или полностью компенсировать влияние возмущающих факторов, что существенно повысило стабильность качества получаемых сварных соединений [3, 13, 14, 15]. Принятые параметры режима контактной сварки обеспечивают получение гарантированного объёма расплавления при формировании ядра сварной точки без возможностей современной аппаратуры управления.

Однако при массовом производстве применяемые для фиксации компонентов кузова приспособления находятся, практически непрерывно в работе, что ведет к нарушению собираемости элементов кузова из-за износа элементов сборочных приспособлений. Нарушение взаимного положения кузовных панелей ведет к ухудшению собираемости автомобиля в целом,

нарушению эстетичного вида кузова автомобиля. Отсюда сформулируем цель магистерской диссертации - повышение собираемости кузова легкового автомобиля за счет восстановления исходных геометрических параметров базирующих элементов сборочной оснастки.

Для достижения сформулированной цели, в работе были поставлены следующие основные задачи:

- выбрать способ восстановления;
- определить необходимые исследования выбранного способа для повышения его эффективности;
- разработать методику выполнения экспериментальных исследований;
- выполнить эксперименты согласно разработанной методике;
- определить необходимые исследования, требуемые для успешного внедрения выбранного способа в практику;
- разработать методику проведения экспериментальных исследований;
- выполнить эксперименты, обработать их результаты; и оценить их результаты;
- обработать и проанализировать результаты экспериментальных исследований;
- по результатам экспериментальных исследований выдать технологические рекомендации и внедрить их в практику.

Поставленные задачи определили структуру магистерской диссертации, которая состоит из введения, трех глав, заключения.

Предмет и объект исследования определяется тематикой работы, ее целью и задачами.

Предметом исследования являются методы восстановления исходных геометрических и механических характеристик изнашиваемых поверхностей сварочной оснастки.

Объектом исследования выступают оборудование и технология для восстановления изношенных поверхностей.

Теоретической, методологической и информационной базой

исследования послужили:

- ГОСТы, нормативные документы,;
- труды российских и зарубежных специалистов в области сварки и контроля;
- научные статьи в современной периодической печати;
- данные официальных сайтов промышленных учреждений и информационно-аналитических агентств.

В ходе исследования использовались общенаучные и специальные методы познания, а именно системный анализ как методология постановки и подхода к решению проблемы в целом, приемы логического и сравнительного анализа и синтеза, методы сравнений, абстрактно-логических суждений.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что предпринята попытка определения влияния параметров газотермического напыления покрытий на их эксплуатационные характеристики.

Практическая значимость исследования заключается в том, что сделанные по их результатам выводы и рекомендации ориентированы на конкретное внедрение в практику ПАО «АвтоВАЗ».

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Анализ технологии контактной точечной сварки кузовных деталей автомобилей

Контактная точная сварка получила широкое распространение в автомобилестроении.

Вообще, способы контактной сварки можно классифицировать по нескольким признакам:

1) «по технологическому способу получения соединений — точечная, рельефная, шовная, стыковая;» [1].

2) «по конструкции соединения (нахлесточное или стыковое);» [1].

3) «по способу подвода тока — односторонняя и двусторонняя;» [1].

4) «по роду сварочного тока и форме импульса тока (переменный - промышленной, повышенной и пониженной частоты; постоянный и т.д.)» [1].

Большинство сварных соединений кузова автомобиля получают технологией контактной точечной сварки. Этому способствуют следующие преимущества контактной точечной сварки:

- «высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02... 1,0 с);» [2].

- «малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха);» [2].

- «высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика;» [2].

- «экологически чистый процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации» [2].

При этом способе детали собирают внахлест, сжимают с определенным усилием медными электродами ($F_{св}$). К электродам, в свою очередь, подключен источник питания (например, сварочный трансформатор, выпрямитель, инвертор и т.д.). «Из-за кратковременного прохождения сварочного тока ($I_{св}$) через участок электрод—электрод детали нагреваются вплоть до образования

зоны совместного взаимного расплавления деталей, называемой ядром. Благодаря необходимому усилию прижатия в точке сварки - нагрев зоны сварки сопровождается пластической деформацией металла, необходимой для лучшего перемешивания расплавленного металла в сварной точке. После прекращения подачи питания расплавленный металл ядра быстро кристаллизуется, в результате чего образуются металлические связи между соединяемыми деталями» [1-6].

Машины для контактной сварки бывают стационарными, передвижными и подвесными (сварочные клещи). По роду тока в сварочном контуре могут быть машины переменного или постоянного тока от импульса тока, выпрямленного в первичной цепи сварочного трансформатора или от разряда конденсатора. По способу сварки различают машины для точечной, рельефной, шовной и стыковой сварки.

«Любая машина для контактной сварки состоит из электрической и механической частей, пневмо- или гидросистемы и системы водяного охлаждения» [2].

«Электрическая часть включает в себя силовой сварочный трансформатор (1) с переключателем ступеней (2) его первичной обмотки, с помощью которого регулируют вторичное напряжение, вторичный сварочный контур (3) для подвода сварочного тока к деталям, прерыватель (4) первичной цепи сварочного трансформатора (1) и регулятор (5) цикла сварки, обеспечивающий заданную последовательность операций цикла и регулировку параметров режима сварки» [2].

«Механическая часть состоит из привода сжатия (6) точечных и шовных машин, привода (7) зажатия деталей и привода (8) осадки деталей стыковых машин. Шовные машины снабжены приводом (9) вращения роликов.» [2].

«Пневмогидравлическая система состоит из аппаратуры (10) подготовки (фильтры, лубрикаторы, которые смазывают движущиеся части), регулирования (редукторы, манометры, дросселирующие клапаны) и подвода

воздуха к приводу (6) (электропневматические клапаны, запорные вентили, краны, штуцера)» [2].

«Система водяного охлаждения включает в себя штуцера разводящей и приемной гребенок, охлаждаемые водой полости в трансформаторе (1) и вторичном контуре (3), разводящие шланги, запорные вентили и гидравлические реле, отключающие машину, если вода отсутствует или ее мало» [2].

«Все машины снабжены органом включения (11). У точечных и шовных машин это ножная педаль с контактами, у стыковых - это комплект кнопок. С органов управления поступают команды на сжатие "С" электродов или зажатие "З" деталей, на включение "Т" и отключение "О" сварочного тока, на вращение "В" роликов, на включение "а" регулятора цикла сварки. Эти команды отрабатываются соответствующими блоками машины, обеспечивая выполнение операций цикла сварки» [2].

Кроме универсальных применяются специальные машины, приспособленные для сварки конкретных конструкций и типов размеров изделий. Примером могут служить машины для контактной точечной сварки кузовов автомобилей, встроенные в автоматические линии, машины для стыковой сварки оплавлением продольных швов труб в прокатном производстве.

«Электроды в контактной сварке служат для замыкания вторичного контура через свариваемые детали. Кроме этого, при шовной сварке электроды-ролики перемещают свариваемые детали и удерживают их в процессе нагрева и осадки» [2].

«Важнейшая характеристика электродов - стойкость, способность сохранять исходную форму, размеры и свойства при нагреве рабочей поверхности до температуры 600°С и ударных усилиях сжатия до 5 кг/мм². Электроды для точечной сварки — это быстроизнашивающийся сменный инструмент сварочной машины» [2].

«Электрод должен иметь минимальную массу, удобно и надежно устанавливаться на сварочной машине. Диаметр D должен обеспечивать устойчивость электрода против изгиба при сжатии его усилием сварки, а также возможность захвата инструментом для снятия. Внутренний диаметр должен обеспечивать ввод трубки с охлаждающей водой и выход воды, обычно $d_0 = 8$ мм. Длина конусной части для крепления электрода в свече машины $l_1 \leq 1,2 D$. Угол конусности 1:10 при $D < 25$ мм и 1 : 5 при $D > 32$ мм. Диаметр рабочей части электрода выбирают в зависимости от толщины кромок свариваемых деталей $d_э = 3S$ » [1].

«При подготовке поверхностей к контактной сварке должны выполняться три основных требования: в контактах электрод-деталь должно быть обеспечено как можно меньшее электрическое сопротивление $K_э-д \rightarrow \min$), в контакте деталь-деталь сопротивление должно быть одинаковым по всей площади контакта. Сопрягаемые поверхности деталей должны быть ровными, плоскости их стыка при сварке должны совпадать» [2].

Основные параметры режима всех способов контактной сварки - это сила сварочного тока, длительность импульса протекания сварочного тока через свариваемые детали и усилие сжатия деталей. Теплота в свариваемом металле выделяется при прохождении через него импульса тока $I_{св}$ длительностью t в соответствии с законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I_{св}^2 R_{т} t, \quad (1)$$

где за $R_{св}$ принимают сопротивление столбика металла между электродами. «При расчете сварочного тока, времени импульса, сварочного трансформатора $R_{св}$ - исходный параметр, так как его легко рассчитать, зная материал детали, ее толщину и требуемую температуру сварки. При этом сопротивлениями в контактах между деталями и между электродами и деталями пренебрегают» [1].

Согласно закону Джоуля-Ленца, увеличение $R_{св}$ должно увеличивать количество выделяющейся теплоты. Но по закону Ома

$$I_{св} = U_2 / Z, \quad (2)$$

где U_2 - напряжение на вторичном контуре сварочной машины,

Z - полное сопротивление вторичного контура, в которое входит $R_{св}$. «Поэтому при увеличении $R_{св}$ уменьшится $I_{св}$, а он входит в закон Джоуля-Ленца в квадрате. Следовательно, увеличение $R_{св}$ не всегда увеличивает количество выделяющейся при сварке теплоты, многое зависит от соотношения $R_{св}$ и полного сопротивления вторичного контура сварочной машины» [2], [4]. Отсюда следуют несколько практических выводов. С ростом общего сопротивления вторичного контура от 50 до 500 мкОм тепловыделение в зоне сварки уменьшается по мере падения $R_{св}$ примерно в 10 раз. Недостаток тепла компенсируется увеличением мощности (U_2) или времени сварки. «Сварка на контактных машинах с малым сопротивлением вторичного контура (~ 50 мкОм) сопровождается интенсивным ростом нагрева по мере падения $R_{св}$ в процессе увеличения сварного ядра. При достижении равенства $R_{св} = Z$ нагрев достигает максимума, а затем, по мере еще большего снижения $R_{св}$ (по достижении требуемого размера ядра), уменьшается» [2], [5]. «Таким образом, сварка на контактных машинах с малым сопротивлением вторичного контура сопровождается нестационарным нагревом и нестабильным качеством соединений. Уменьшить этот недостаток можно надежным сжатием зачищенных деталей, обеспечивающим поддержание $R_{св}$ на минимальном уровне, либо поддерживая высокий уровень $R_{св}$ за счет слабого сжатия деталей и деления импульса сварочного тока на несколько коротких импульсов» [2]. Последнее еще и экономит энергию и обеспечивает прецизионное соединение с остаточной деформацией 2...5 %.

«При сварке на машинах с большим сопротивлением вторичного контура (> 500 мкОм) снижение $R_{св}$ в процессе сварки практически не влияет на

выделение теплоты, нагрев остается стационарным, что характерно для сварки на подвесных машинах с длинным кабелем во вторичном контуре. Сваренные на них соединения обладают более стабильным качеством» [2].

«Качество сварных соединений, выполненных контактной сваркой, определяется подготовкой поверхностей к сварке, а также правильным выбором параметров режима и их стабильностью. Основным показателем качества точечной и шовной сварки - это размеры ядра сварной точки. Для всех материалов диаметр ядра должен быть равен трем толщинам S более тонкого свариваемого листа. Допускается разброс значений глубины проплавления в пределах 20...80 % S . За меньшим из этих пределов следует непровар, за большим - выплеск. Глубина вмятины от электрода не должна превышать 0,2 S . Размер нахлестки в точечных и шовных соединениях должен выбираться в пределах 2,5...5,0 диаметров ядра» [2].

В настоящее время автомобилестроение относится к массовому или крупносерийному производству. Для указанных видов производства является характерным устранение ручного труда оператора машины контактной сварки, его автоматизация и механизация. Поэтому машины контактной сварки работают в комплексе с приспособлениями для сборки деталей кузова автомобиля под сварку.

1.2 Назначение и состав сборочных приспособлений

Собираемость деталей кузова легкового автомобиля обеспечивается за счет контроля на стендах штампованных тонколистовых деталей и сварных узлов, рисунок 1.1. Следует помнить, что величина деформации стальных листов в штампах не стабильна. На величину деформации оказывает влияние свойства данной партии металла, степень износа штампа, прочие факторы. Поэтому контроль на стендах следует выполнять периодически.

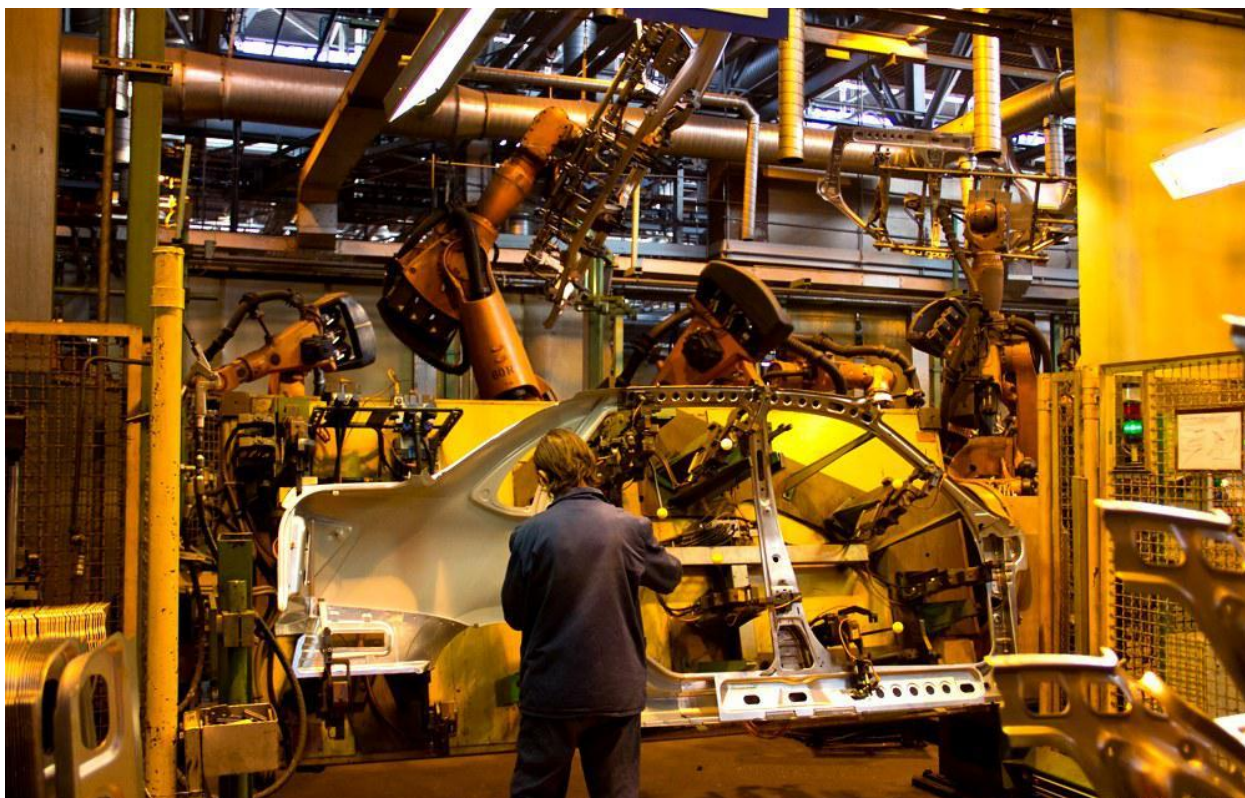


Рисунок 1.1 – Контроль геометрии

Последующая сборка под сварку как штампованных тонколистовых деталей, так и сварных узлов реализуется в приспособлениях, предназначенных для фиксации узлов и деталей и обеспечения заданных размеров.

Классификация приспособлений может быть следующей, рисунок 1.2.

По назначению приспособления подразделяются на сборочные, фиксирующие и сборочно-фиксирующие.



6

Рисунок 1.2 – Классификация приспособлений по типу

В сборочных приспособлениях обеспечивается фиксация каждой детали, которая входит в узел. Деталь базируется относительно сборочно-сварочного приспособления или базовой детали. Затем контактной сваркой (как правило) выполняется прихватка и собранный узел вынимается. В фиксирующих приспособлениях осуществляется базирование всего узла целиком. В сборочно-фиксирующих выполняется как сборка так и сварка узла.

По исполнению приспособления классифицируются на специальные, переналаживаемые и универсальные. Область применения специальных приспособлений – массовое производство. Предназначены они для одной какой то детали, переналадке на другую не поддаются, но возможна регулировка. На переналаживаемых приспособлениях могут собираться однотипные детали. Область применения универсальных приспособлений – единичное производство. На них можно собирать самую обширную, после соответствующих изменений, номенклатуру деталей. Единичное производство в автомобилестроении большая редкость.

В состав сборочно-сварочного приспособления могут входить следующие элементы, рисунок 1.3.

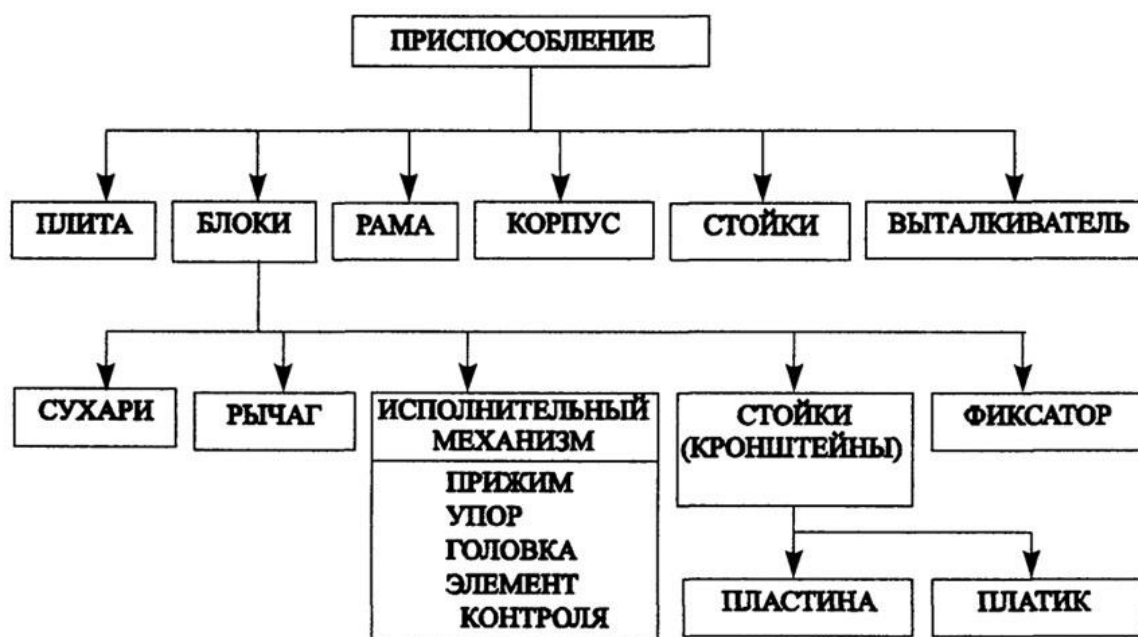


Рисунок 1.3 – Состав элементов сборочно-сварочного приспособления.

Приспособление может в своем составе содержать множество перечисленных элементов, рисунок 1.4.

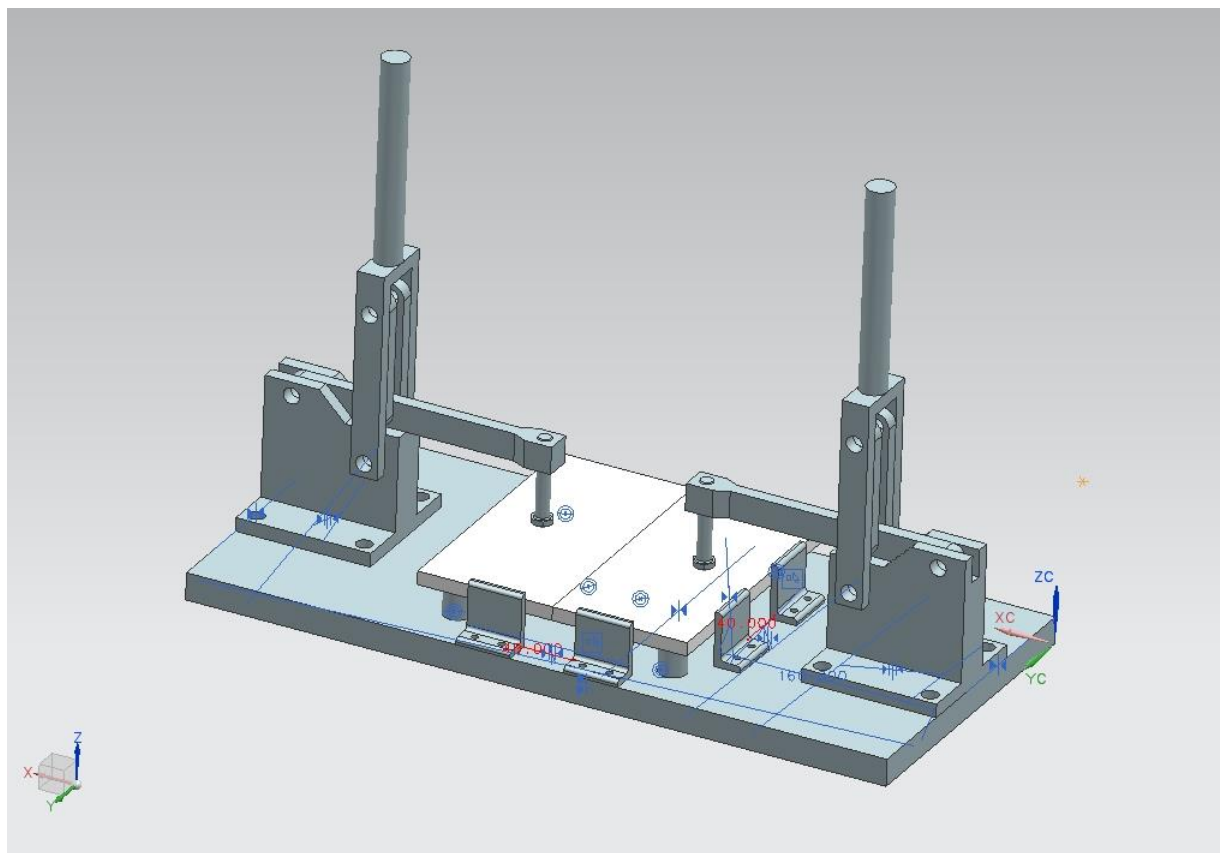


Рисунок 1.4 – Приспособление для сборки под сварку пластин.

Так показанное приспособление содержит основание, штыри фиксирующие, упоры, прижимы.

В процессе разработки компоновки приспособления, а также выбирая составляющие его компоненты следует принимать во внимание следующие правила:

- 1) приспособление должно обеспечить заданную точность конечного изделия;
- 2) приспособление должно обеспечить заданную производительность;
- 3) ремонт приспособления не должен вызывать особых проблем;
- 4) приспособление должно обеспечить хорошие условия труда рабочих;
- 5) приспособление должно обеспечить безопасность работы.

Выполнение требований первого пункта обеспечивают установочные элементы, например штырь, рисунок 1.5.

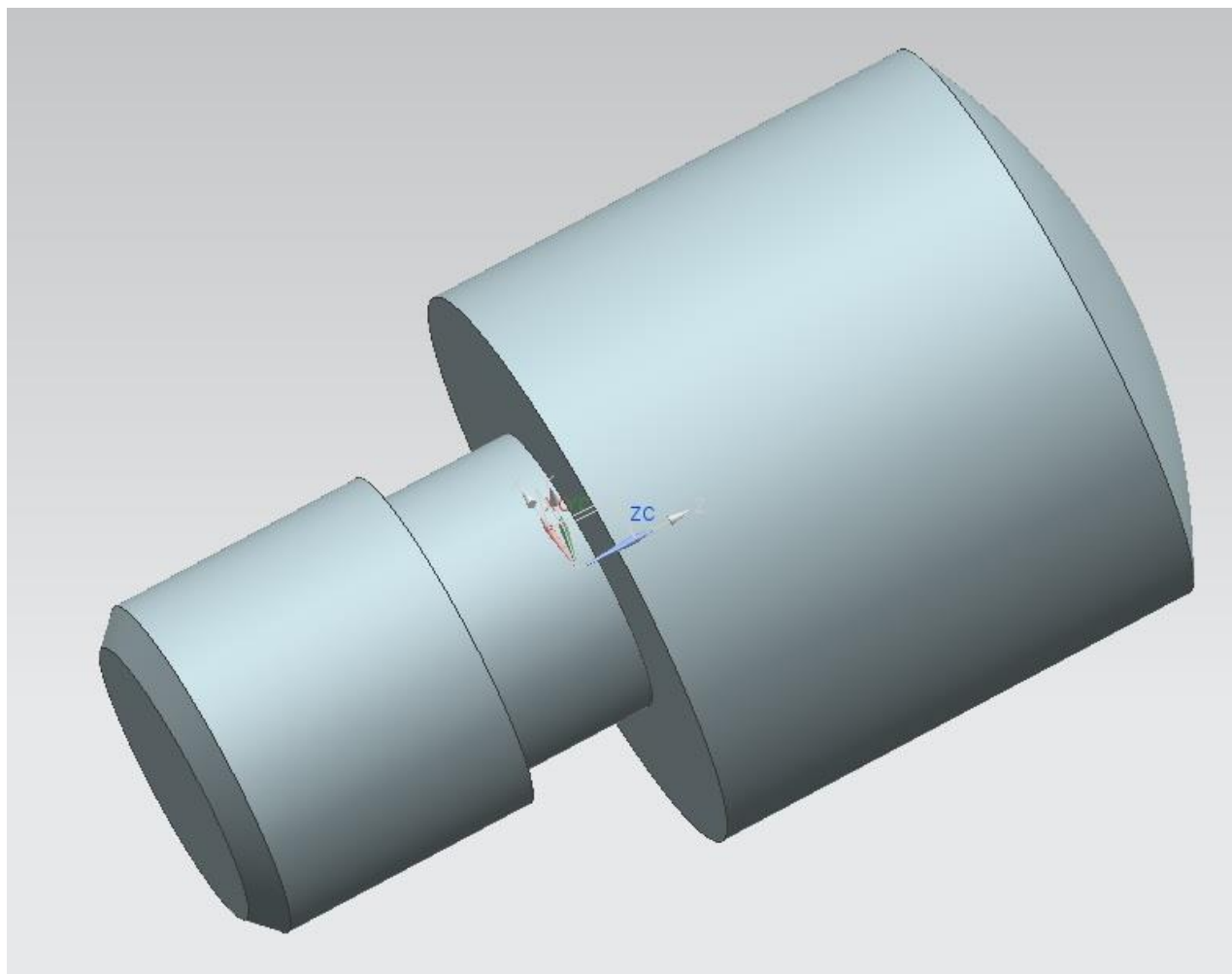


Рисунок 1.5 – Штырь фиксирующий, согласно ГОСТ 13441-68

Однако в процессе эксплуатации приспособления, особенно в условиях массового производства, происходит износ установочных элементов (поверхностей), что приводит к несоблюдению требований первого пункта.

Рассмотрим, с какими материалами находятся в контакте установочные элементы приспособления.

Легковой автомобиля должен быть прочным, легким и экономичным. В автомобильной промышленности факторы развития определяются потребителями и возможностями производства. Эти три требования часто противоречат друг другу при разработке новых конструкций автомобилей

(рисунок 1.6). Толчком к развитию и улучшению конструкции автомобиля чаще всего являются возникающие проблемы и противоречия.



Рисунок 1.6 – Блок-схема возникающих проблем при разработке концепции автомобиля

Точный прогноз и контроль пружинения позволят конструкторам оснастки численно оценить возможность получения заданной формы изделия и выполнить необходимые модификации только на основе этой информации. Надежная численная процедура может исключить потребность в экспериментальных пробах, и, следовательно, радикально уменьшает время выполнения и производственные расходы.

Основными тенденциями развития автомобиля является дизайн, технологичность, безопасность пассажиров, показатели прочности, вес и экономический фактор. Иногда факторы меняются местами.

Удовлетворение этим требованиям во многом зависит от выбора материалов деталей автомобиля. В современном автомобилестроении используются различные материалы: металлы, пластики, композиты, стекло и др. Однако автомобили для массового пользователя изготавливают и

собирают в основном из металлических деталей, выполненных из различных сталей.

Стали которые применяют в автомобилестроении принято группировать по двум показателям-пределу прочности (σ_B) и предельной величине деформации растяжения до разрушения (ϵ_p) (рисунок 1.7).

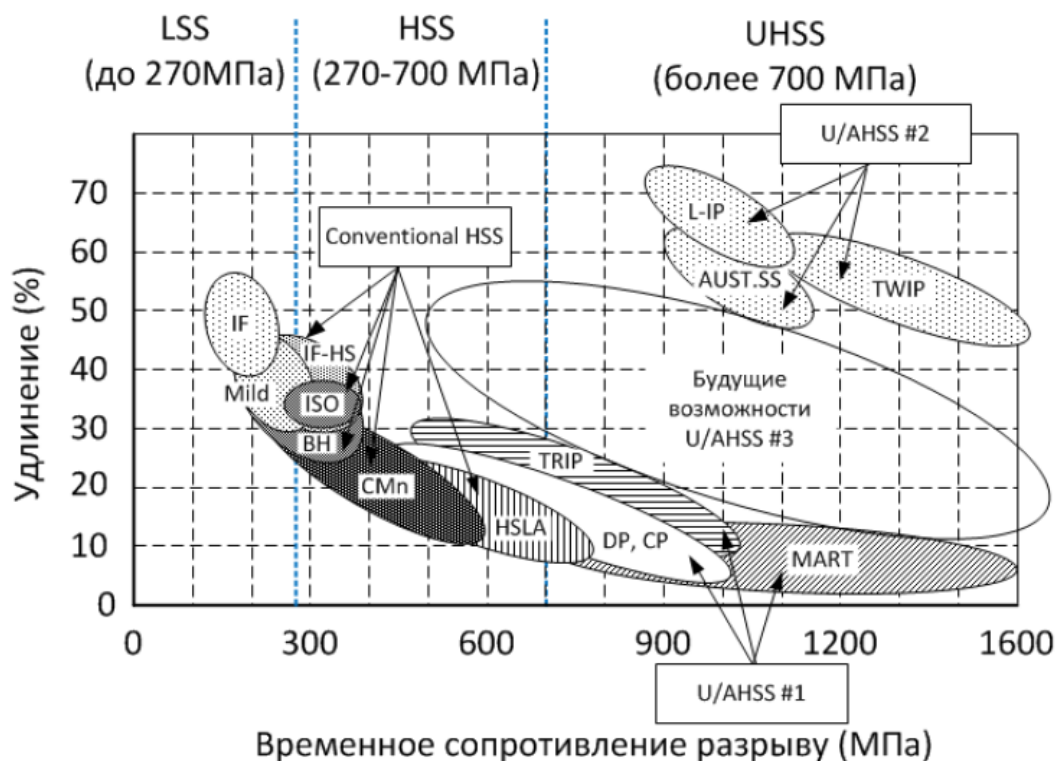


Рисунок 1.7 - Диаграмма, иллюстрирующая диапазон свойств для современных стальных материалов в автомобилестроении

Они обычно подразделяются на три группы:

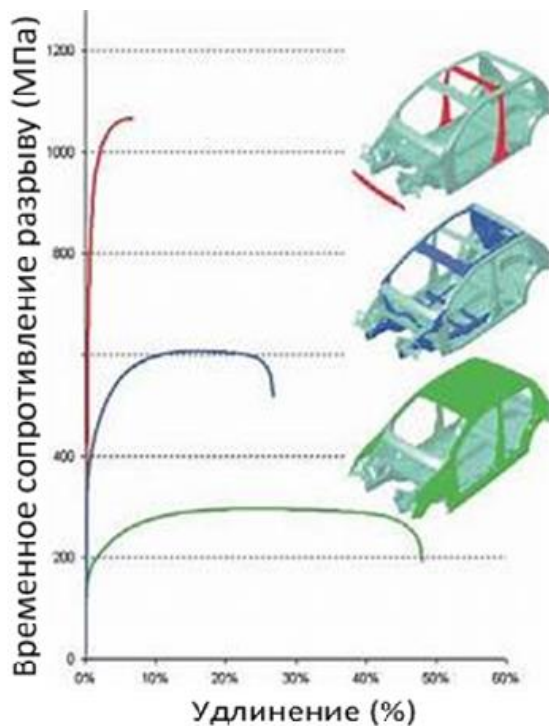
- стали с пониженной прочностью (LSS-Low Strength Steels). К ним относятся высокопластичные IF (Interstitial Free), низкоуглеродистые стали марок 01,08, мягкие Mild стали;
- стали высокой прочности (HSS-High Strength Steel), такие стали с как сталь с термическим упрочнением при сушке (BH –стали),

низколегированные стали (HSLA- High Strength Low Alloy), стали (C-Mn), двухфазные стали (DP);

- стали ультравысокой прочности AHSS (Advanced high strength steels) или усовершенствованные высокопрочные стали. К таким сталям относят: DP стали, TRIP (Transformation Induced Plasticity) стали, CP (Complex Phase) стали, мартенситные (MS) и феррито-бейнитные (FB) стали, TWIP (Twinning-Induced Plasticity) стали у которых пластическая деформация также происходит за счет механизма двойникования.

В силу большого разнообразия требований, которым должны удовлетворять конструкции узлов и деталей автомобиля материалы, в которых они используются разделены также и на функциональные группы (рисунок 1.8):

1. Стали группы AHSS имеют достаточно высокий предел прочности, но малую предельную пластическую деформацию. Такие стали применяются для штамповки средних стоек, поперечины крыши, а также усилителя бампера.
2. Стали группы HSS имеют достаточный предел прочности при хороших показателях пластичности (штампруемости). Такие стали применяются для штамповки передних стоек, лонжеронов, брызговика среднего пола и панели багажника
3. Стали группы LSS, применяются для штамповки лицевых деталей автомобиля, а также некоторым деталям несущего кузова автомобиля, имеющих сложную геометрическую форму: крылья, капот, двери и т.д.
- 4.



- Стали для ответственных деталей, обеспечивающих безопасность пассажира в случае аварии
- Высокопрочные стали с хорошим балансом прочности, формовости, поглощения энергии и долговечности
- Стали с отличной формовостью (например, для глубокой вытяжки)

Рисунок 1.8 Напряжение (в МПа) в зависимости от удлинения (в процентах) для различных типов стали и их применения в конструкции кузова

В контакте с приспособлениями находится, в основном, сравнительно мягкий материал, сталь 08Ю. Это сталь конструкционная углеродистая качественная. Сталь 08Ю хорошо сваривается и обладает достаточной штампуемостью.

Таблица 1.1 – Химический состав в % материала 08Ю

Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Сера	Фосфр	Хром	Аллюм.	Медь
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Al	Cu
менее 0,07	менее 0,01	предел 0,2... 0,35	менее 0,06	менее 0,025	менее 0,02	менее 0,03	предел 0,02... 0,07	менее 0,06

Таблица 1.2 – Механические свойства при T=20°C стали 08Ю

σ_B	σ_T	σ_5	$\sigma_{0.2}$	КСУ
МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
255-350	205	34	-	-

Поставка рулонного проката возможна как катанной, так и с обрезной

кромкой. При этом на кромке проката по результатам осмотра невооружённым глазом должны отсутствовать расслоения и торцевые трещины. Кромки у проката не должны быть загнуты на величину более 90, также прокат не должен иметь скрученных и смятых концов. Металл листов для проката поставляется в дрессированном состоянии.

Увеличение содержания алюминия в стали 08Ю от 0,017 до 0,093% приводит к повышению прочностных свойств и измельчению зерна феррита.

При содержании в стали 0,07...0,09 % углерода и 0,005...0,008 % никеля оптимальное сочетание структуры, физических и механических свойств, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 9045-80 для высших категорий вытяжки, достигается при содержании алюминия 0,02...0,05 % и отжиге с двухступенчатым импульсным режимом нагрева.

В процессе отжига реализуются различные механизмы рекристаллизации: при низком содержании алюминия в стали (0,02...0,05%) - нитридный с торможением, при высоком (0,073...0,093%) - обычный по типу кипящей стали.

Прочностные свойства и размер зерна зависят от режима отжига во всем диапазоне изменения концентрации алюминия, пластические свойства и кристаллографическая текстура - только при низких содержаниях алюминия в стали.

Несмотря на то, что базирующие поверхности приспособлений работают в условиях трения о сравнительно мягкий материал, в условиях массового производства, да еще при работе в 2 смены происходит износ поверхностей приспособлений.

Таким образом, на поверхности установочных элементов требуется нанесение дополнительного слоя, компенсирующего износ.

1.3 Задачи работы

Исходя из изложенного и сформулированной цели, в работе поставлены

следующие основные задачи, последовательное выполнение которых позволит достичь сформулированной во Введении цели:

выбрать способ восстановления;

подобрать для проведения экспериментов наносимые материалы;

разработать методику выполнения экспериментальных исследований;

выполнить эксперименты согласно разработанной методике;

обработать и проанализировать результаты экспериментальных исследований;

по результатам экспериментальных исследований выдать технологические рекомендации и внедрить их в практику.

.

.

2 Анализ возможных вариантов восстановления изношенных слоев на сварочной оснастке

Практика ремонта и восстановления знает множество технологических вариантов, обеспечивающих восстановление всех геометрических размеров детали, формы и расположения поверхностей.

Возможны варианты пластического деформирования деталей, слесарно-механической обработки. Для восстановления деталей сварочной оснастки перечисленные варианты не подходят.

Восстанавливать изношенные поверхности деталей сварочной оснастки можно с помощью наплавки.

Наплавка – нанесение металла на поверхность изделия с помощью сварки плавлением. Производится, как и при изготовлении задвижки, когда основной металл не обладает коррозионной стойкостью, так и при ремонтных восстановительных работах [1].

Электродуговые способы сварки используются чаще других для нанесения металла на изделие. Позволяют при использовании качественных материалов повысить стойкость к коррозии, эрозии и другого эксплуатационного износа [10].

Чаще всего из всех электродуговых способов наплавки для восстановления задвижек применяется наплавка штучными электродами, рисунок 2.1.

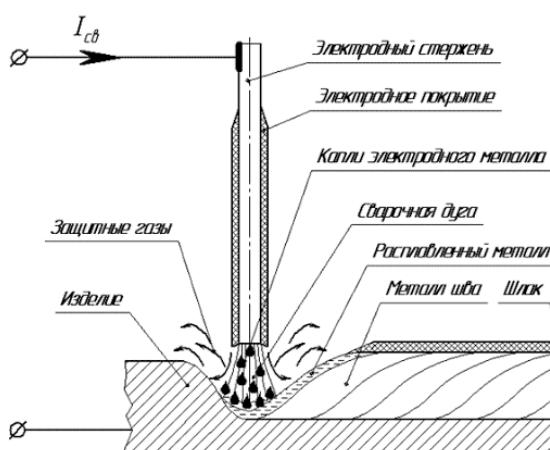


Рисунок 2.1 – Схема наплавки покрытыми электродами

Преимущества наплавки штучными электродами: является простота процесса, несложность оборудования, повышенная мобильность при проведении ремонтных работ (работать можно автономно) сварка во всех положениях, возможность наплавки различных материалов [1].

Недостатки способа: отсутствует частичная или полная механизация процесса, малая производительность процесса наплавки и сварки. Качество сварного шва, наплавленного валика зависит напрямую от уровня подготовки сварщика. Большое число проходов при выполнении наплавки, каждый наплавленный валик требуется зачищать от шлака, доля неметаллических включений может остаться в шве при плохой зачистке. Большое проплавление металла и как следствие неоднородность по составу электродного металла и доли основного металла [18].

Несмотря на все это данный способ остается самым простым и распространенным способом восстановления в промышленности.

Механизированную наплавку производят на постоянном токе, полярность обратная, рисунок 2.2 (рис.25). Электродную проволоку выбирают исходя из условий работы детали. Если требуются высокие показатели коррозионной стойкости то применяют коррозионностойкие хромоникелевые проволоки типа Св-12Х18Н10Т [16].

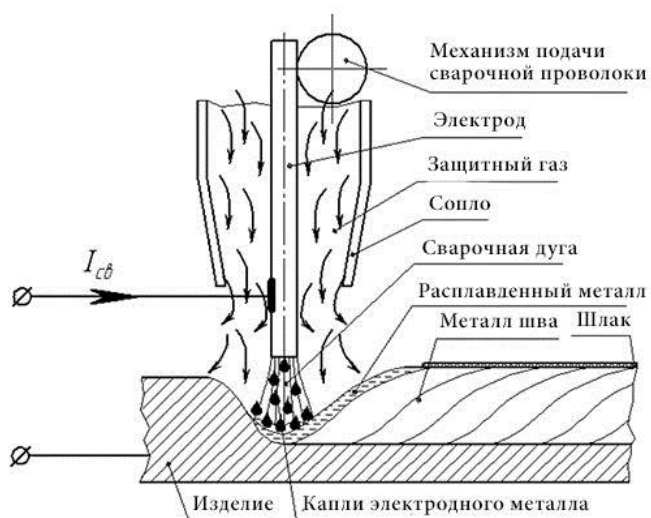


Рисунок 2.2 – Механизированная наплавка в среде защитного газа

Это нужно для обеспечения коррозионной стойкости детали. Получается износостойкая наплавка, которая продлевает срок службы восстановленного изделия. Скорость наплавки выбирается исходя из геометрических параметров детали (толщины изделия). Если нет проблем с агрессивной средой можно использовать проволоку с высоким, до 1% содержанием углерода.

Наплавляют не менее 2ух слоев металла. При этом валики могут перекрывать друг друга на половину или на 1/3 ширины предыдущего [1] [13].

Достоинства наплавки в защитном газе: меньшее проплавление основного металла и как следствие более однородная структура металла шва, эксплуатационные характеристики металла на порядок выше чем при наплавке с помощью покрытых электродов, возможность проводить процесс наплавки в различных пространственных положениях, высокая степень производительности и механизации [14].

К недостаткам можно отнести сильное разбрызгивание металла на повышенных токах. Затруднения процесса сварки при работе на открытых участках из-за сдувания дуги и загрязнения сопла горелки. Для работы на высоких параметрах режима сварки потребуются горелки с водяным охлаждением.

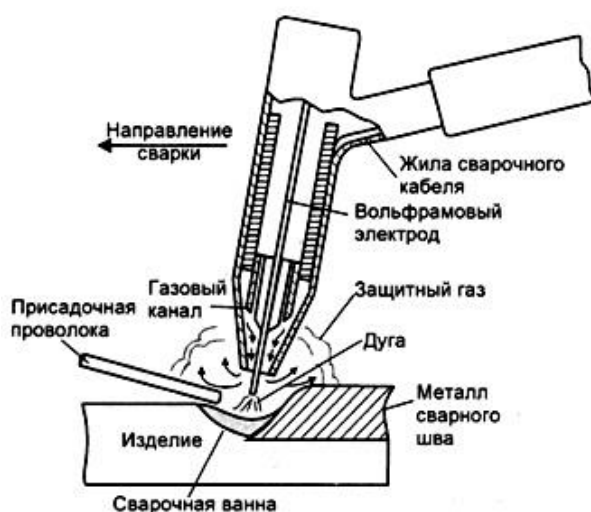


Рисунок 2.3 – Схема аргондуговой наплавки

Большое применение нашла наплавка неплавящимся электродом в среде защитного газа, рисунок 2.4. Формирование валика осуществляется за счет тепла дуги от неплавящегося электрода и присадки.

В качестве присадки, для проведения наплавочных работ по восстановлению или упрочнению изношенных деталей используют прутки на основе кобальта и хрома с добавками вольфрама или молибдена. Такие прутки как стеллит ВЗК или Пр-ВЗК [20] [26].

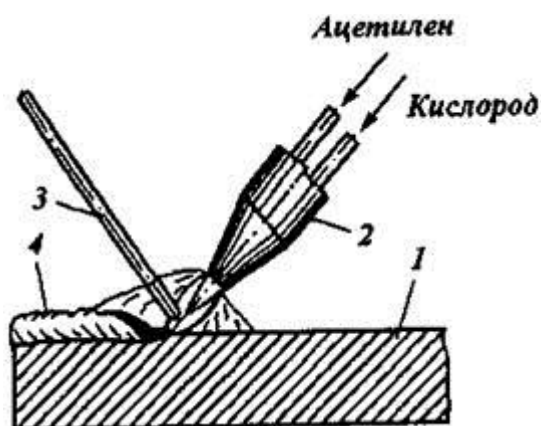
Такие присадки используют для деталей, работающих в агрессивных средах, с различными нагрузками и при больших температурах. Наплавка такими материалами дает повышенный ресурс деталей.

Достоинствами данного способа можно отметить: отсутствие брызг металла во время проведения наплавочных работ, минимальное количество дефектов по сравнению с другими способами сварки, уменьшенные деформации из-за малой зоны нагрева изделия, повышенное качество сварного шва из-за применения защитного газа, аргон не взаимодействует с металлом [20].

Недостатками данного способа можно выделить: способ наплавки не отличается высокой производительностью, защита сварного шва может быть нарушена из-за работы на улице, при больших силах тока требуется использовать горелки с водяным охлаждением, для выполнения работ требуется сварщик высокой квалификации, сложное оборудование и долгая настройка параметров режима наплавки.

Газовая наплавка применяется в промышленности для ремонта деталей машин, ремонта дефектов отливок. Процесс обработки поверхностей металлов при помощи высокотемпературного ацетилено-кислородного пламени.

Довольно распространенный способ в прошлом веке. С помощью него можно соединять практически все металлы [1].



1 – деталь, 2 – сопло горелки, 3 – присадочный пруток, 4 – наплавленный валик.

Рисунок 2.4 – Схема газовой наплавки

Наплавку можно производить при помощи присадочных прутков (с флюсом или без) и порошков. В качестве прутков используют стеллиты ВЗК или Пр-ВЗК или сормаиты и смесь флюса, основа которого составляет бура. [26] [27].

В качестве порошков для наплавки используют порошки на основе никеля, кобальта и железной основе. Процесс ведут при помощи восстановительного пламени, формируя валика добавляя присадку или оплавляя пламенем порошок [26].

Достоинства способа: простота оборудования, не требующего питания от электричества, сварка почти любых металлов, уменьшение возникновения трещин из-за предварительного нагрева газовой горелкой и последующего медленного охлаждения

Недостатки способа: требуется строго соблюдать соотношение газов, низкая производительность, медленный нагрев может привести к короблению деталей, высокой температурой пламени можно пережечь металл, взрывоопасность процесса из-за применения горючих газов.

Автоматическая наплавка – высокопроизводительный способ нанесения металла на изношенные детали, рисунок 2.5. При таком способе изношенные детали сборочной оснастки могут быть наплавлены на специальных стендах проволокой сплошного сечения под защитным флюсом или газом. Установка включает в себя источник питания, пульт управления и вращающееся устройство [24] [25].

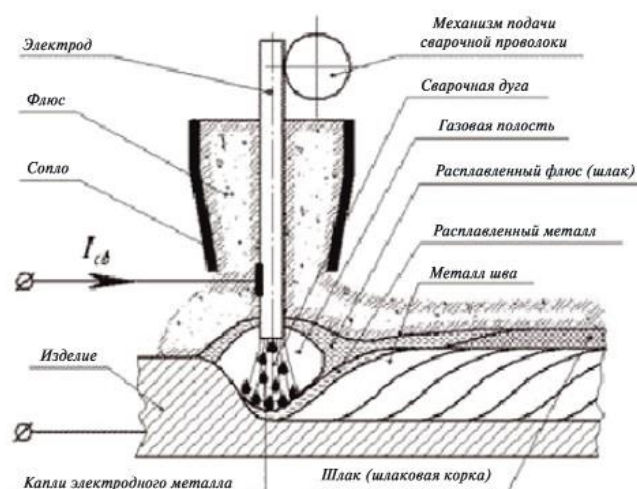


Рисунок 2.5 – Схема автоматической наплавки

Такая установка заменяет собой целый комплекс дополнительного оборудования. Флюс защищает сварочную ванну, обеспечивает высокое качество шва. Защитный слой порошка дает медленное охлаждение валиков, что положительно сказывается на слоях наплавленного металла, снижая пористость.

Достоинства способа: плотный, качественный наплавленный металл, высокая производительность процесса, потери на разбрызгивание минимальные или почти отсутствуют, возможность придания наплавленному металлу улучшенных характеристик (физических и эксплуатационных свойств) через процесс легирования при помощи флюса, благоприятные условия работы для сварщика-оператора [30].

Недостатки: Применение в массовом производстве, значительные тепловложения в металл, применение на деталях малых габаритов – невозможно, сложное оборудование, наплавка только в нижнем положении.

Плазменная наплавка металлов современный способ восстановления изношенных деталей сварочного оборудования, рисунок 2.6. Заключается в нанесении порошкообразной смеси на изношенные детали при помощи плазменной струи газа. Так же можно наносить металл, используя присадочные прутки и ленты.

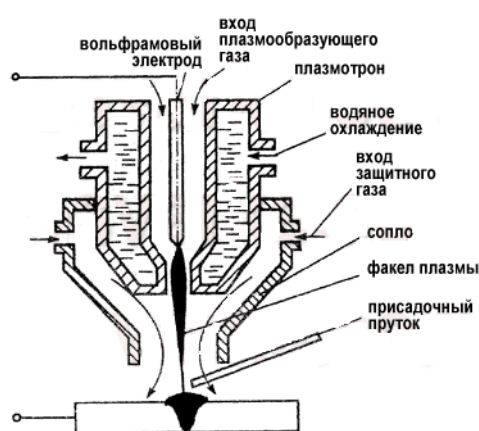


Рисунок 2.6 – Схема плазменной наплавки

Различают способы восстановления деталей плазменной струей такие как: дугой прямого действия (дуга горит между электродом из вольфрама и изделием, на присадочную проволоку питание не осуществляется), независимой дугой (дуга горит между электродом плазмотрона и присадочной проволокой, металл изделия нейтрален) комбинированного действия с использованием двух дуг (одна дуга горит между неплавящимся электродом и затвором арматуры, вторая дуга горит между присадочной проволокой и вольфрамовым электродом) [25]. При использовании дуги прямого действия обеспечить малое проплавление возможно лишь при малых токах, производительность будет не выше, чем при использовании менее производительных способов наплавки [26].

Использование повышенных токов не допустимо – возможно значительное проплавление металла восстанавливаемой детали.

При процессе наплавки независимой дугой проплавление детали меньше, из-за того, что все тепло направлено на расплавление присадки. Основной металл при таком способе нагревается от тепла, расплавленного металла присадочной проволоки.

При таком способе металл изношенной детали покрывается каплями расплавленного металла. В таком случае необходимо обеспечить надежное сцепление двух металлов. Сделать это можно нагрев наплавляемую деталь до температуры плавления присадки.

Для деталей малой толщины и размеров достаточно тепла от расплавленной присадочной проволоки, для деталей больших размеров тепла расплавленной присадки недостаточно – требуется использование комбинированного способа наплавки плазменной струей [13].

Достоинства способов плазменной наплавки: возможность нанесения разнородных покрытий, можно создать биметаллическое соединение с заданными свойствами, высокая концентрация теплоты плазменной струи и минимальная зона влияния на основной металл, возможность нанесения особо тонких слоев от 0,1 мм и выше [13].

Недостатки данного способа: сложность оборудования, повышенное участие металла детали в формировании валика, невозможность наплавки металлов алюминиевых сплавов, геометрические параметры наплавленных валиков далеки от идеала, требуется повышенный припуск на механическую обработку.

Лазерная наплавка выполняется при помощи луча лазера и порошкового материала или проволоки, рисунок 2.7. Один из перспективных способов изготовления и восстановления деталей. Высокий уровень автоматизации процесса, дает возможность регулирование геометрических размеров наплавленных валиков.



Рисунок 2.7 – Лазерная наплавка

Достоинства способа: возможность получения качественных наплавленных слоев с хорошими физико-химическими свойствами, высококонцентрированный луч дает возможность минимально и точно воздействовать на изделие, возможно наплавка деталей малых толщин, позволяет сократить припуск на дальнейшую механическую обработку резанием, высокая адгезия процесса [9].

Недостатки данного способа: дорогостоящее оборудование, возможность появления трещин из-за высокой температуры луча и деформаций металла, высокая квалификация персонала, высокое требование к качеству подготовки металла, низкая производительность, возможность наплавлять на детали несложной конфигурации [10].

Вариант дуговой наплавки нас не устраивает так как требуется обеспечить высокую точность при сравнительно малых размерах фиксирующих элементов оснастки.

Поэтому рассмотрим способы газотермического напыления покрытий.

В работе [1] рассмотрен вариант газопламенного напыления на посадочные места вторичного вала коробки передач автомобиля КамАЗ. В отличие от известных вариантов газопламенного напыления предложен вариант кислородно-водородного пламени.

Главным при выполнении данной работы было произвести теплотехническую оценку водорода, как горючего газа. Для теоретической оценки использовали главные положения термодинамики, касающиеся тепловых эффектов химических реакций.

Для проведения экспериментов применяли современные методики. Так обработку экспериментальных данных и их статистический и регрессионный анализ проводили на вычислительной технике.

Напыление покрытий выполняли на сталь 15ХГН2ТА согласно технических условий КамАЗа. Для напыления покрытий использовали порошок ПР-НХ17С3Р4 производства НПО «Тулачермет». Основу порошка составляет никель-хромовый сплав с добавками кремния и бора. После напыления покрытие оплавливали по технологии, обеспечивающей твердость близкую к твердости исходной поверхности детали. Перед напылением на поверхности цилиндрического образца нарезали «рваную» резьбу на токарном станке.

В качестве инструмента для напыления покрытия применяли горелку фирмы «ТЕРМИКА» «Искра-1». В горелке сжигали в кислороде ацетилен или водородо-кислородную смесь с добавкой пропан-бутана менее 5%. Водородно-кислородную смесь для горелки получали в аппарате «Москва-20». Наносимые на поверхность образцов покрытия оплавливали горелкой «Искра-2». В данном случае в горелке сжигали в кислороде пропан-бутановую смесь.

Выполняли исследования микроструктуры и трибологических свойств нанесенных покрытий. Величину износа определяли при помощи весового метода.

Исследования показали, что теплоскорость пламени горелки значительно возрастает при использовании водородо-кислородной смеси. Однако в данном случае высока вероятность обратного удара. Поэтому понадобились эксперименты, в ходе которых было определено соотношение размеров порошкового канала и выходных отверстий мундштука соплового наконечника, при которых обратный удар исключается.

Обобщая по работе [1] можно сказать, что применение водородокислородного пламени является перспективным вариантом газопламенного метода напыления.

В работе [2] применена комбинированная методика нанесения покрытий. Вначале наносится слой путем технологии микродугового оксидирования, затем на сформированной покрытии наносится медный слой. Такая комбинация двух методов снижает пористость нанесенного микродуговым оксидированием слоя.

Для получения слоя микродуговым оксидированием применяли электролит растворяя в дистиллированной воде нужного количества гидроксида калия (KOH) и натриевого жидкого стекла (Na_2SiO_3).

Режимы обработки применяли следующие: плотность тока - 5 30 А/дм², продолжительность оксидирования - 0,5...2,5 часа, температура электролита – 15...20°C.

Для того чтобы выполнить оценку толщины наносимого покрытия использовали вихретоковый толщиномер ВТ-201 по ГОСТ 9 302.

Для того чтобы оценить микротвердость наносимого покрытия применяли прибор ПМТ-3. Нагрузка на индентор составляла 1,96 Н.

Для того чтобы исследовать состав и структуру наносимого покрытия применяли дифрактомер ДРОН-3,ОМ

Величину внутренних напряжений в наносимых покрытиях определяли на портативном рентгеновском дифрактометре ДРП-3.

Коррозию покрытий исследовали с помощью лабораторного автоклава А-10 MINI и для оценки коррозионной стойкости образцов применяли микроскоп МИМ-6.

Для оценки величины износостойкости нанесенных покрытий использовали машину трения МТУ-01 (ТУ 4271-001-290346000). Схему испытаний принимали - контакт торцов трех вращающихся штифтов (контробразцы) и неподвижного диска (образца). Испытания проводили в индустриальном масле.

Для того, чтобы определить величины износа, выполняли взвешивание на аналитических весах ВЛА-200.

Сущность комбинированных технологий заключалась в восстановлении геометрии поверхности и ее упрочнении микродуговой обработкой, и последующей финишной обработке нанесенных покрытий, для увеличения долговечности пар трения.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработана технологическая схема и режимы фрикционно-механического нанесения медного слоя на поверхность нанесенного технологией микродугового оксидирования покрытия.

Подобного рода покрытия могут наноситься как на черные, так и на сплавы цветных металлов.

Методы электроискрового легирования также обеспечивают получение покрытий малых толщин и минимальные остаточные деформации деталей, на которые наносятся покрытия. В работе [3] установлена взаимосвязь "условия эксплуатации – состав – структура – технология – свойства" для метода электроискрового легирования.

Наносят покрытия на детали из сталей и сплавов титана на установках Разряд-3М, Элитрон-22А, Элитрон-16, ИМ-01, ИМ-03, ИМ-05, ИМ-101.

Для исследования микротвердости применяли прибор ПМТ-3, для металлографических исследований применяли микроскоп МИМ-10. Для исследований износостойкости использовали машину трения МТ-22П.

Установленные закономерности "условия эксплуатации – состав – структура – технология – свойства" и учет их при нанесении покрытий позволили увеличить жаростойкость покрытий до 3 раз; увеличить износостойкость без смазки – до 2,6 раза и со смазкой – до 2,0 раз.

Работа [4] посвящена обеспечению качества покрытия из плазмы вакуумно-дугового разряда, определяющего точность размера детали, точность формы, взаимного расположения поверхностей, шероховатость и микротвёрдость поверхностного слоя.

В процессе выполнения экспериментов по исследованию толщины покрытия применяли плоские образцы. для исследования влияния области расположения на толщину покрытия, точность размеров и качество поверхности. В процессе выполнения экспериментов по исследованию точности формы деталей использовались модельные образцы цилиндрической формы. Материал деталей и образцов – титановые сплавы ВТ6 и ВТ8.

Толщину покрытия измеряли прибором CALOTEST. Прибор CALOTEST позволяет измерять толщину покрытия от 0,1 до 50 мкм. Шероховатость поверхности измеряли профилографом-профилометром Абрис ПМ7. Степень точности прибора: 1 по ГОСТ 19300-86.

В работе [5] выполнены экспериментальные исследования для разработки технологии получения объемно-пористого покрытия с использованием метода микроплазменного напыления. Данное покрытие предлагается использовать в качестве носителя для катализаторов паровой конверсии углеводородов в водородосодержащее топливо.

В качестве материала для напыления объемно-пористых покрытий на основе интерметаллических соединений системы Ni-Al использовался порошок никель-алюминиевого сплава марки НАТ-10-5 состава (масс.%): Al – основа, Ni – 40-45 %, Ti – 2 - 5%, Cr – 1-5%, Ce – 1- 5%.

В качестве подложки при получении покрытий с интерметаллидной структурой на основе системы «никель-алюминий» для катодов ХИТ использовалась лента медная марки М1 толщиной 0,15 мм, имеющая высокую электропроводность.

Нанесение равномерных по толщине покрытий проводилось с использованием роботизированного комплекса на базе установки микроплазменного напыления, рисунок 2.8, в состав которого входит следующее оборудование:

- установка микроплазменного напыления УГНП 2/2250 с микроплазмотроном ПП-01;
- робот-манипулятор Kawasaki FS003;

- специально разработанное устройство вращения деталей.

Использование робота-манипулятора и цилиндрического барабана позволяет проводить напыление покрытия на большие поверхности и без перегрева подложки свыше 200°C.



Рисунок 2.8 – Комплекс для нанесения покрытий.

Результатом проведенных исследований стало разработка технологий нанесения покрытий с разными размерами пор, обеспечивающими возможность применения в качестве носителя катализаторов паровой конверсии углеводородов в водородсодержащее топливо.

Работа [6] посвящена восстановлению коленвалов ДВС плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой.

Разработки разных технологических вариантов восстановления изношенных коленвалов ведутся давно, но до сих пор приемлемых вариантов по производительности и качеству покрытий не создано. В частности, применяемые на практике варианты характеризуются или низкой адгезией наносимого слоя, или высокими остаточными напряжениями и деформациями валов.

За счет объединения операций плазменного напыления и электромеханической обработки повышаются адгезионные характеристики покрытия и производительность. Устройство одновременно напыляющее покрытие и обеспечивающее его обработку может устанавливаться на обычные токарно-винторезные станки.

Разработана, апробирована и внедрена конструкция универсального устройства для восстановления шеек коленчатых валов автомобильных двигателей, устанавливаемого на серийные токарно-винторезные станки.

В работе [7] рассмотрена обработка износостойких покрытий алмазно-абразивными методами.

Теоретические исследования сочетались с экспериментальными. Для верификации результатов теоретических исследований – моделирование обработки – напыляли оксид алюминия Al_2O_3 плазменным методом.

Разработана модель формирования микрорельефа покрытий при алмазно-абразивной обработке.

Показано, что формирование микрорельефа происходит в покрытие между линией профиля зерен инструмента и ее эквидистантой.

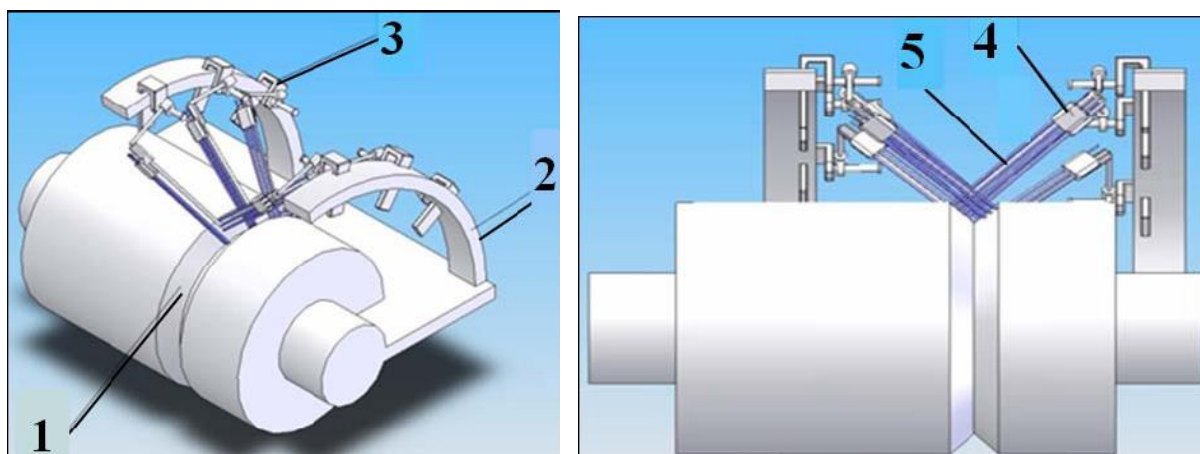
Целью работы [8] является разработка технологии электроискрового упрочнения поверхности валков горячей прокатки, изготовленных из белого чугуна, с использованием СВС-электродных материалов на основе карбида и диборида титана.

Работа выполнена с применением современных методик и методов исследований: гравиметрического; металлографического микрорентгеноспектрального, волнового WDS-LEXS; рентгеноспектрального; послойного элементного анализа; трибологического исследования. Измерение магнитных характеристик поверхности проводили с применением измерителя концентрации напряжений магнитометрического ИНК-1М-4 (Россия).

Показано, что оптимальными режимами ЭИЛ обработки белых чугунов электродами марки СТИМ являются - энергия единичного импульса 0,4-0,8 Дж

при частоте следования импульсов 300-400 Гц. Увеличение энергии приводит к росту шероховатости поверхности выше $Ra = 7$ мкм.

Чтобы ускорить нанесение покрытий разработана оригинальная многоэлектродная оснастка модульного типа. За счет использования нескольких одновременно работающих электродов, рисунок 2.9, производительность процесса нанесения возрастает в разы.



1 – ручей вала; 2 – суппорт оснастки; 3 – направляющая радиальная; 4 – многоэлектродная кассета; 5 – электрод.

Рисунок 2.9 - Схема механической многоэлектродной оснастки.

Выполненные испытания упрочненных изделий в производственных условиях показали, что покрытие, нанесенной электроискровым методом электродами СТИМ-40НА увеличивает срок службы поверхности калибра валков горячей прокатки стали 55С2А более 4 раз.

Совместная работа плазмы и лазерного излучения рассмотрена в работе [9]. Целью работы является улучшение трибологических характеристик пар трения за счет увеличения адгезионной прочности керамических покрытий, полученных лазерно-плазменным напылением.

Применяли методы математического моделирования, применяемыми в газодинамике, лазерной физике, и описания процессов низкотемпературного плазменного воздействия.

По результатам комплекса исследований разработана технология напыления керамических покрытий лазерно-плазменным способом и плазматрон для реализации данного техпроцесса.

Разработана математическая модель, описывающая процесс лазерно-плазменного напыления покрытий Al_2O_3 .

Определены условия ввода лазерного излучения в поток плазмы, при которых поглощается до 95% энергии лазерного излучения.

С помощью численного эксперимента определена относительная прочность сцепления формируемого керамического покрытия Al_2O_3 со стальной подложкой 12X18Н9Т при лазерно-плазменном напылении, которая увеличивается до 3-4 раз и достигает максимального значения при использовании импульсов ЛИ с энергией 0,3-035 Дж.

Разработана методики, позволяющая определить параметры лазерного излучения с учетом температуры потока плазмы, при которых, с одной стороны, достигается максимальная адгезионная прочность керамических покрытий, с другой стороны потери энергии лазерного излучения минимальны.

Предложены научно-обоснованные рациональные режимы лазерно-плазменного напыления, обеспечивающие повышение относительной прочности сцепления покрытия Al_2O_3 с подложкой.

Если результатом анализа станет выбор технологии газотермического напыления, то полезными могут стать результаты работы [10]. Целью работы является совершенствование технологии процесса ультразвуковой обработки поверхностей стальных деталей перед нанесением газотермических покрытий.

В процессе выполняемых экспериментальных исследований изучали воздействие режима ультразвуковой обработки на свойства конструкционных сталей, стали 20 и стали 40Х, и параметры микрорельефа поверхности. Затем, на подготовленную поверхность напыляли газотермическим методом исследуемый материал и анализировали, в сравнении с другими способами обработки, взаимодействие наносимого слоя и подложки.

Установлено что максимальное увеличение микротвердости (2,2 раза) достигается при шероховатости $Rz=15\text{мкм}$ для стали 20 и $Rz=10\text{ мкм}$ для стали 40Х.

Например, публикация, касающаяся технологии ионной имплантации [12]. По ходу выполнения ионной имплантации происходит легирование поверхностных слоев твердого тела, находящегося в вакууме. При этом в специальном источнике создается плазма, из которой ионы вытягиваются и происходит их разгон до высоких скоростей.

Оборудование для ионной имплантации помимо вакуумной камеры и источника питания включает в себя источник ионов, трубку для ускорения ионов, систему для управления пучком ионов.

Главное преимущество заключается в возможности имплантации практически любых элементов и управление физико-химическими характеристиками поверхностного слоя.

Однако изменение поверхностного слоя в плане увеличения толщины незначительно. Кроме того, само оборудование является дорогостоящим и требует высокой культуры производства и квалификации обслуживающего персонала.

Также была выявлена публикация, касающаяся электроискрового легирования [21]. При данном методе обработки на поверхность действует поток энергии высокой концентрации. Благодаря этому на поверхности формируется слой, эксплуатационные характеристики которого зависят, в первую очередь, от таких параметров режима обработки как ток и напряжение. Для управления указанными параметрами режима обработки следует исследовать распределение энергии в импульсах. В данной публикации исследовано управление режимами для единичного импульса, и для серии импульсов.

Цикл одного импульса состоит из следующих этапов:

- контакт электрода и нагрев локального объема металла;
- появление столба плазмы;

– взрыв, массоперенос
- процессы остывания расплавленного металла и формирование поверхностной структуры.

Важным при единичном импульсе является совпадение во времени момента контакта и импульса тока. Поэтому различают следующие виды единичных импульсов:

рабочий, при котором происходит взрыв плазменного столба и перенос вещества;

нерабочий, без взрыва.

3 Методика исследований

3.1 Подготовка машины трения

Машины трения предназначены для выполнения исследований износа трущихся поверхностей, свойств применяемых для смазки трущихся поверхностей материалов, свойств в условиях трения фрикционных материалов. Перечисленные варианты исследований могут реализовываться в широком диапазоне температур. Износ характеризует потерю материала при работе трущихся деталей и определяет долговечность узла трения. Потеря материала может измеряться в единицах длины, линейный износ, единицах объема (объемный износ) и единицах массы.

Поскольку трущиеся поверхности взаимодействуют при самых различных условиях, и параметры характеризующие трение и износ разнообразны, разработаны и используются на практике различные схемы исследования процессов трения, некоторые представлены на рис. 3.1.

Поэтому универсальные машины трения имеют возможность проведения испытаний по нескольким схемам.

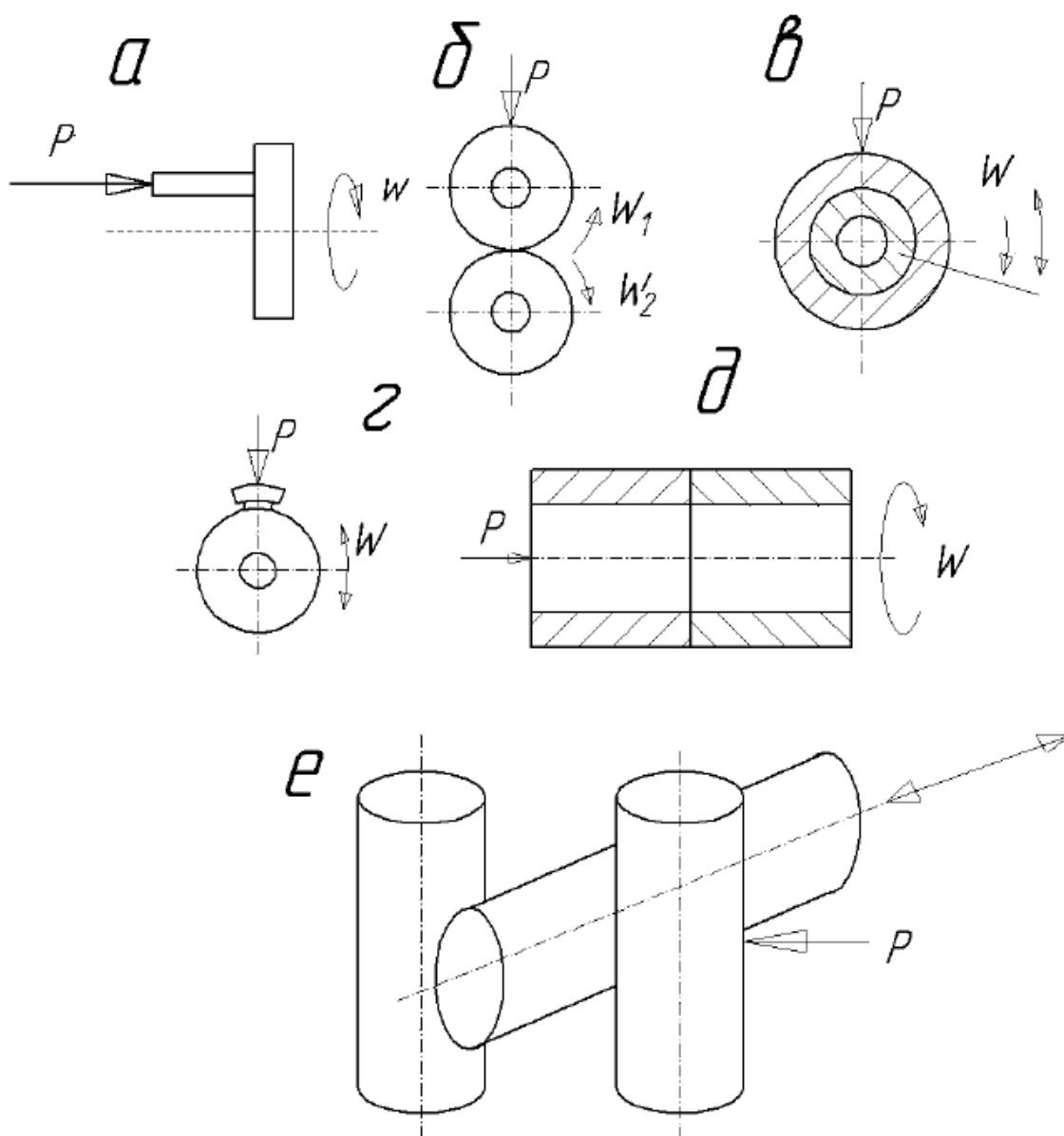
Основными показателями, по которым характеризуют машины трения, являются:

величина силы, создаваемой машиной в паре трущихся поверхностей;

величина момента силы трения;

величина частоты вращения приводного вала.

Кроме того, важным показателем является коэффициент взаимного перекрытия. От величины данного коэффициента зависят протекающие во взаимодействующих образцах тепловые процессы.



а - «диск-палец», б - «диск-диск», в - «кольцо-кольцо»,
 г - «диск-колодка», д - «торец - торец», е - «цилиндр-цилиндр»
 Рисунок 3.1 – Схемы измерения трения

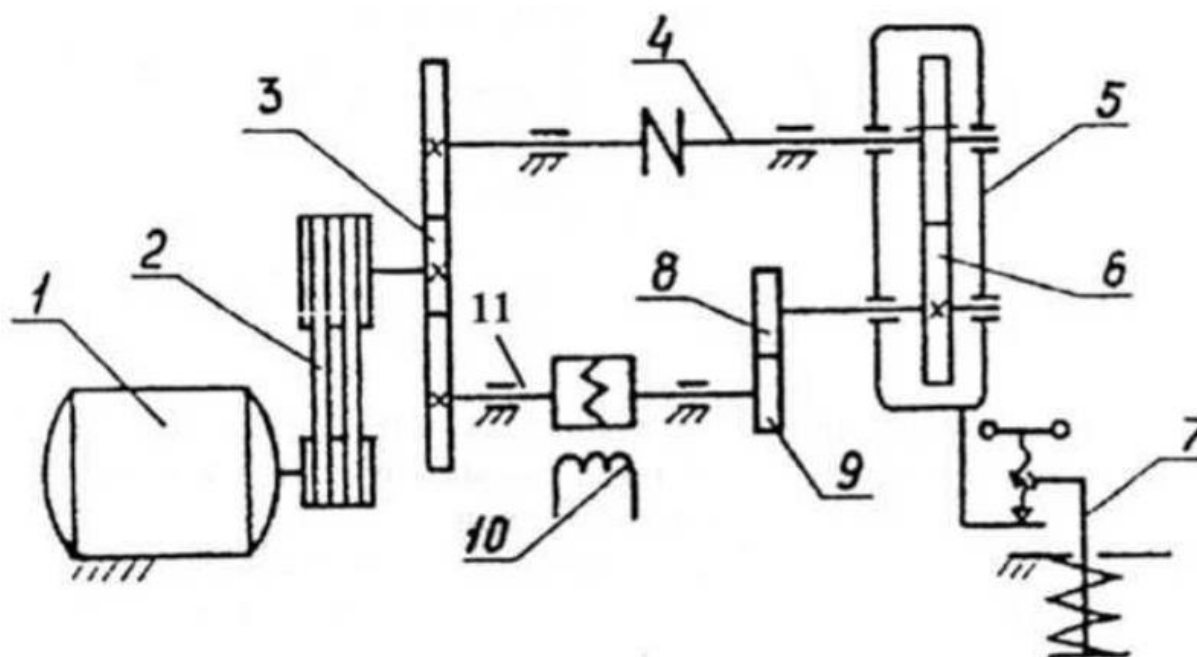
Универсальная машина трения СМЦ-2 обеспечивает проведение испытаний по схемам, рисунок 3.1, б - «диск-диск», в - «кольцо-кольцо», г - «диск-колодка».

Исследования контактной выносливости (усталость) металла можно проводить по схеме (б) «ролик по ролику». Трение в данном случае – трение качения или качения с проскальзыванием. Изнашивание при исследованиях по указанной схеме происходит по механизму усталостного выкрашивания (питтинг).

Исследования по механизму трения скольжения можно реализовывать по схеме (г) «диск-колодка». Исследования могут проходить при сухом и граничном трении, а так же, при испытаниях на абразивное (гидроабразивное) изнашивание. При исследованиях абразивного и гидроабразивного трения обеспечивается подача смеси абразива с водой или маслом.

Исследования по механизму жидкостного трения можно проводить по схеме (в) «вал-втулка». Для выполнения таких исследований имеется закрытая камера смазки, куда подается масло под давлением.

Кинематическая схема машины СМЦ-2 показана на рисунке 3.2.



- 1 - электродвигатель, 2 - клиноременная передача со сменными шкивами,
- 3 - шестерни привода образца и контртела, 4 - промежуточный вал,
- 5 - каретка, 6 - сменные шестерни привода образца,
- 7 - нагружающее устройство, 8 - образец, 9 - контртело,
- 10 - индукционный датчик момента трения, 11- торсион

Рисунок 3.2 – Кинематическая схема машины трения

Момент трения при проведении исследований измеряется бесконтактным индуктивным датчиком 10 по скручиванию торсионного вала 11, на котором закреплено контртело 9. Регистрацию момента трения производят самопишущим потенциометром типа КСП.

При проведении исследований трения приняты следующие количественные характеристики процесса изнашивания: износ (линейный, объемный, массовый), скорость изнашивания, интенсивность изнашивания, износостойкость.

Износ - экспериментально определяемая величина. Скорость и интенсивность изнашивания являются величинами, определяемыми путем расчетов.

При проведении исследований будем строить кривые «износ-время». В общем случае кривая "износ-время" имеет три участка (рис. 3.3 а).

I – на начальном этапе детали сопрягаются по выступам неровностей. Площадь контакта у деталей при этом мала, т.е. при нагружении пары трения действуют большие давления. В результате этого в начале работы имеет место повышенный износ трибосопряжения.

II – произошла деформация микронеровностей на контактирующих поверхностях. Интенсивность изнашивания снизилась, так как увеличилась несущая поверхность.

III - увеличение интенсивности изнашивания и выход из строя контактирующих деталей.

Схема на рис. 3.3, б имеет место при неправильной конструкции трибосопряжения.

Схема на рис. 3.3, в характерна для износа под действием абразивов.

Схема на рис. 3.3, г характерна для подшипников качения. Нет стадий приработки и стадии установившегося износа.

При проведении испытаний будем назначать режимы трения таким образом, чтобы удельное давление и скорость скольжения в контакте трущихся образцов совпадали с реальными в применяемых на производстве приспособлениях для сборки под сварку.

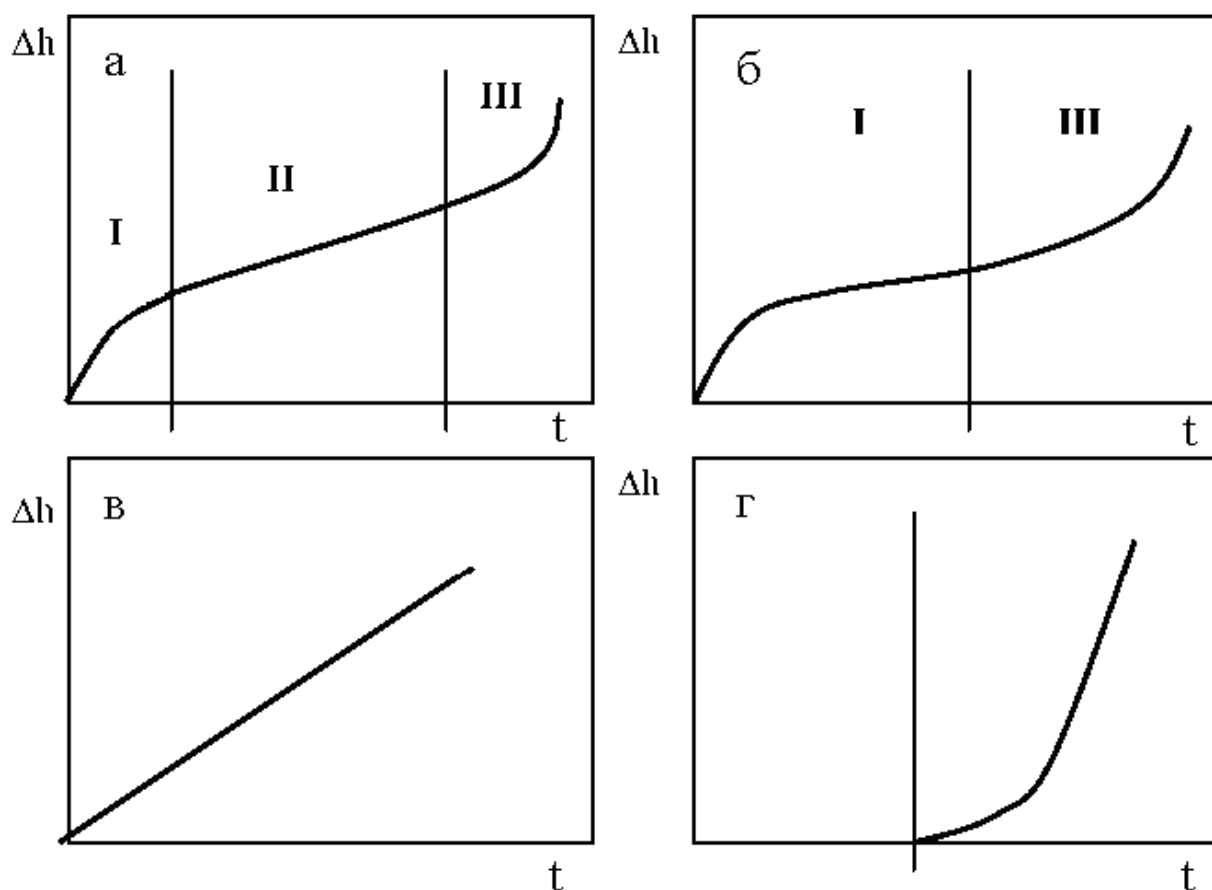


Рисунок 3.3 – Кривые кинетики износа

3.2 Напыление покрытий на образцы

Согласно выбранной схеме проведения исследований – вращающийся ролик трется о поверхность исследуемого образца, рисунок 3.1 образец для напыления покрытий имеет форму трапецидальной призмы, рисунок 3.4.

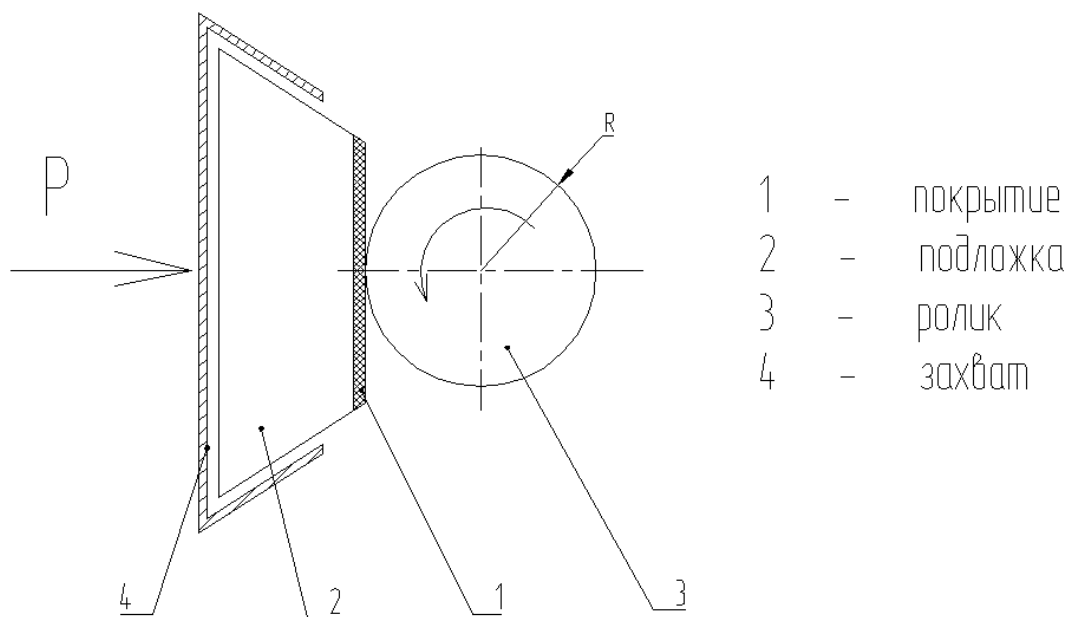


Рисунок 3.4 – Схема проведения исследований свойств покрытий.

Форма рабочей части образца определяется захватами машины трения СМЦ-2.

Для изготовления ролика, рисунок 3.5, использовали пруток из стали 40 диаметром 52 мм.

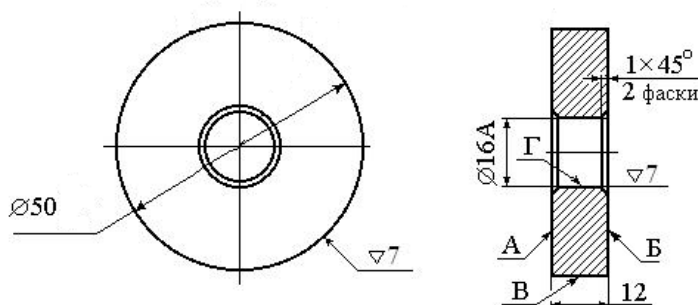


Рисунок 3.5 – Ролик

Обработку прутка выполняли на токарном станке.

Для изготовления образцов использовали пруток из стали 40 размерами 15x15 мм. На фрезерном станке фрезерный станок СФ676, рисунок 3.5, от закрепленного прутка под углом 57 градусов отрезали заготовки трапецеидальной формы. Станок отличается сравнительно небольшими габаритами, 1200x1240x1780 мм. Вес станка 1050 кг. При этом станок обеспечивает возможность обработки деталей при помощи горизонтального

шпинделя и поворотного вертикального шпинделя. Для получения образцов применяли горизонтальный шпиндель и фрезу дисковую отрезную, рисунок 3.6.



. Рисунок 3.5 – станок фрезерный для получения образцов



Рисунок 3.6 – Фреза дисковая отрезная.

Сушку образцов для напыления покрытий после операции промывки и обезжиривания выполняли в сушильном шкафу ШС-10 при температуре 80-150°C, рисунок 3.7.

Поскольку следы масла и иных загрязнений резко снижают прочность сцепления напыленного покрытия и подложки, исключали возможность загрязнения подготовленных образцов. Образцы хранили на закрывающихся стеллажах и последующие работы с ними выполняли в сухих чистых хлопчатобумажных перчатках.

Сушку порошка перед нанесением покрытия выполняли проводили в сушильном шкафу ШС-10, рисунок при температуре $t=120...150$ 0 С в течение 1...1,5 часа. После сушки выполняли просев порошка на вибросите СВ-0,4.



Рисунок 3.7 – Шкаф сушильный.

Сушку порошка перед нанесением покрытия выполняли проводили в сушильном шкафу ШС-10 при температуре $t=120...150\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1...1,5 часа. После сушки выполняли просев порошка на вибросите СВ-0,4.

В качестве материала, напыляемого на поверхность образцов применяли выбранные ранее порошкообразные материалы для нанесения покрытий напылением, RotoTec19310, RotoTecCoroResist 19300, RotoTecHardTec 19400, RotoTec29431 с фракцией 40 - 60 мкм. Порошок – производитель фирма Кастолин. Состав порошка RotoTec19310 – железо, 15% хрома и 3% никеля.

Состав порошка RotoTecCoroResist 19300 - железо, 17% хрома, 14% никеля и 2% молибдена. Состав порошка RotoTecHardTec 19400 – железо, 16% хрома и 2% никеля. Состав порошка RotoTec29431 – железо, 16% хрома, 2% никеля и 1% марганца.

Кроме того, из отечественных порошков рассмотрен порошок для напыления ПАО «Тулачермет» также на основе железа ПР-Х17Г8М5. Состав порошка ПР-Х17Г8М5 – железо, 17% хрома, 8% марганца, 5% молибдена.

Таким образом, рассматривали только порошки на основе железа. Экстремальных условий эксплуатации поверхности элементов сварочной оснастки не наблюдается. Там нет высоких температур, коррозионных сред, поэтому широко распространенные наплавочные порошки на основе никеля были исключены.

Сушку порошка перед нанесением покрытия выполняли в сушильном шкафу ШС-10 при температуре $t=120...150^{\circ}\text{C}$ в течение 1...1,5 часа. После сушки выполняли просев порошка на вибросите СВ-0,4.

Для напыления порошка использовали горелку фирмы Кастолин CastoDyn DS 8000, рисунок 3.8. Для напыления порошков семейства RotoTec на сопло горелки надевали распыляющий модуль (мундштук) SSM 10. Также данный мундштук применяли при напылении ПР-Х17Г8М5.



Рисунок 3.8 – Горелка фирмы Кастолин.

Напыление порошка на образцы для исследования выполняли по режимам давление кислорода 0,4...0,45 МПа, ацетилена 0,07...0,1 МПа. Расстояние от сопла горелки до напыляемого образца устанавливали 200 мм, угол наклона составлял 90°. Напыление производили до получения слоя толщиной 1 мм.

Для каждого состава (наплавочного порошка) напыляли 5 образцов.

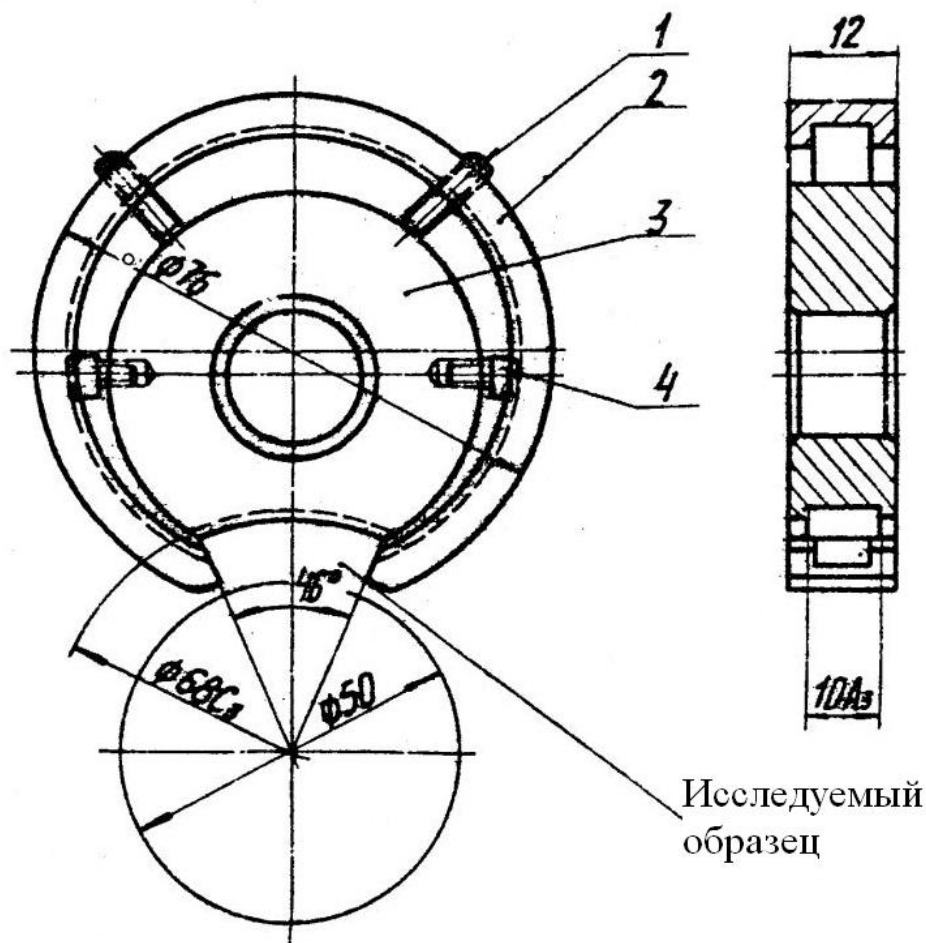
4 Технологические рекомендации по ремонту изношенных деталей

После пуска машину трения СМЦ-2 прогревали в течении 5...10 мин. Далее нагружали образцы, медленно и плавно вращая винт нагружения и наблюдая за положением индекса на шкале потенциометра, показывающего величину момента трения.

После достижения заданной величины момента трения наблюдали за числом оборотов ролика. Через 5000 оборотов останавливали машину и выполняли замер величины пятна износа, затем снова включали машину и каждые 5000 оборотов останавливали и определяли величину пятна износа. Для определения величины пятна износа применяли штангенциркуль ШЦ-1. При достижении двукратного увеличения пятна износа исследуемая образца заканчивали и фиксировали число оборотов. Кроме того, в процессе испытания измеряли величину коэффициента трения.

По окончании работы выключали машину нажатием кнопки «Стоп», на панели управления машины и отключали машину от электросети поворотом рукоятки выключателя.

Обработку результатов исследований выполняли по стандартным методикам.



1 – винты; 2 – хомут; 3 – корпус; 4 – направляющие пальцы.

Рисунок 4.1 – Схема закрепления исследуемых образцов в держателе

Результаты исследований позволили установить примерно следующую стойкость покрытий, рисунок 2.2.

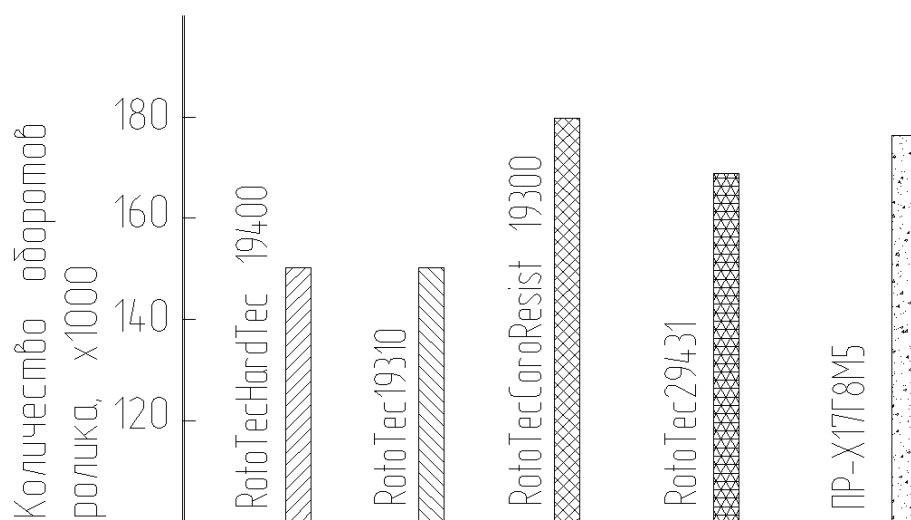


Рисунок 2.2 – Стойкость покрытий

Наилучшие результаты показал состав железо, 17% хрома, 14% никеля и 2% молибдена. Отечественный порошок ПР-Х17Г8М5 состава железо, 17% хрома, 8% марганца, 5% молибдена показал аналогичные результаты.

На основании результатов исследований можно сделать вывод. Режимы напыления - давление кислорода 0,4...0,45 МПа, ацетилен 0,07...0,1 МПа. Расстояние от сопла горелки до напыляемого образца 200 мм, угол наклона 90°. Размер частиц порошка 40-60 мкм.

По результатам проведенных исследований можно рекомендовать порошок ПР-Х17Г8М5 или Кастолин RotoTecCoroResist 19300.

Натурные исследования восстановленных деталей сварочной оснастки выполняли на робототехническом комплексе. Данный робототехнический комплекс предназначен для сварки брызговика с лонжероном. Сборочная оснастка комплекса включает в себя 3 поста.

На участке сварки заготовки изымаются из оборотной тары и укладываются в специальную тару, расставленную у первого поста робототехнического комплекса (РТК). В начале лонжерон передний укладывается в ложементы оснастки сборочного поста РТК, находящегося в положении 1. После чего на ложементы оснастки укладывается панель брызговика, и сварщик производит проверку геометрии собранного узла. Перекосы не допускаются. По окончании проверки сварщик нажимает кнопку «Пуск» двурукого включения. Двуручное включение предусмотрено для того, чтобы обезопасить сварщика от движущихся частей оснастки. Включается подача воздуха в пневмоцилиндры привода зажимов, детали фиксируются, затем производится поворот и пост перемещается в положение 2. Производится фиксация карусели и начинает работу робот №1. Производится автоматическая сварка 8-ми точек. Сила тока при сварке принимается 12500 ампер, время импульса прохождения сварочного тока 0,1 секунды, давление сжатия 0,5 МПа, напряжение на вторичной обмотке трансформатора 5 вольт. По окончании сварки робот перемещается в исходное положение и сваренный узел перемещается в положение поста №3. Там, после фиксации карусели

производится автоматическая сварка роботами №2 и №3 14-ти точек. 7 точек сваривает робот №2, и 7 точек сваривает робот №3. Сила тока при сварке принимается 12500 ампер, время импульса прохождения сварочного тока 0,1 секунды, давление сжатия 0,5 МПа, напряжение на вторичной обмотке трансформатора 5 вольт. По окончании сварки роботы перемещаются в исходное положение и сваренный узел перемещается в положение поста №1. Происходит автоматическая расфиксация прижимов, и рабочий снимает сваренное изделие с ложементов. При этом он 100% изделий визуально контролирует. Обращает внимание на провар точек. Непровары, прожоги, недопустимы. Готовый узел после контроля помещается в оборотную тару, которую по мере наполнения изымают с участка и перевозят на участок сборки-сварки кузова.

Одно изделий из ста контролирует работник бюро технического контроля цеха. Контролируемое изделие проверяется в специальном кондукторе на соответствие геометрии, после чего, производится контроль на разрушение сварных точек. Контроль производится с помощью молотка и специального зубила. Зубило устанавливают сбоку от ядра точки и наносят по нему удары молотком. Если разрушается непосредственно точка, то имеет место непровар. Если разрушение происходит по основному металлу, то все в порядке.

Выдержавшее контроль изделие, после соответствующей рихтовки отправляется на операции сварки передка автомобиля. Если узел не прошел контроль, все узлы сваренные на после предыдущего контроля проходят контроль работниками бюро технического контроля, и в случае несоответствия требованиям узлы забраковываются, брак изолируется.

Для реализации данных технологических решений потребуется выбрать робот – манипулятор. При выборе робота – манипулятора следует учесть вес сварочной оснастки, требуемую точность позиционирования, требования к системе управления. Одно из главных преимуществ промышленных роботов – возможность быстрой переналадки для выполнения задач, различающихся последовательностью и характером манипуляционных действий. Таким

образом, максимальную эффективность от использования промышленных роботов можно получить при широкой номенклатуре обрабатываемых изделий.

Классификация роботов по различным признакам, существенным для выбора типа существует: по характеру выполняемых операций; степени специализации; области применения по виду производства; системы основных координатных перемещений; числу степеней подвижности; грузоподъемности; мобильности; конструктивному исполнению; типу силового привода; характеру отработки программы; характеру программирования скоростей и дискретности перемещений.

По типу представления задающей информации системы управления можно разделить на цикловые, аналоговые, числовые и аналого-числовые (гибридные). Цикловые являются простейшими. В них информация о последовательности перемещений задается настройкой упоров, воздействующих на конечные выключатели.

Учитывая массу клещей сварочных, достигающую 40-50 кг, точность позиционирования, ± 1 мм, а также геометрические параметры изделия определяем что нам нужен робот средней грузоподъемности, с несколькими степенями подвижности, с полярной системой основных координатных перемещений. Робот может быть и специальным и многоцелевым. Операции робот выполняет основные технологические. Робот должен быть гибкопрограммируемым. Соответствует данным требованиям робот R-2000iA [10] производства концерна FANUC Robotics, компоновочная схема которого включает в себя, рисунок 2.1: базисное основание 1, карусель 2, коромысло 3, основание руки 4, руку 5, кисть 6,

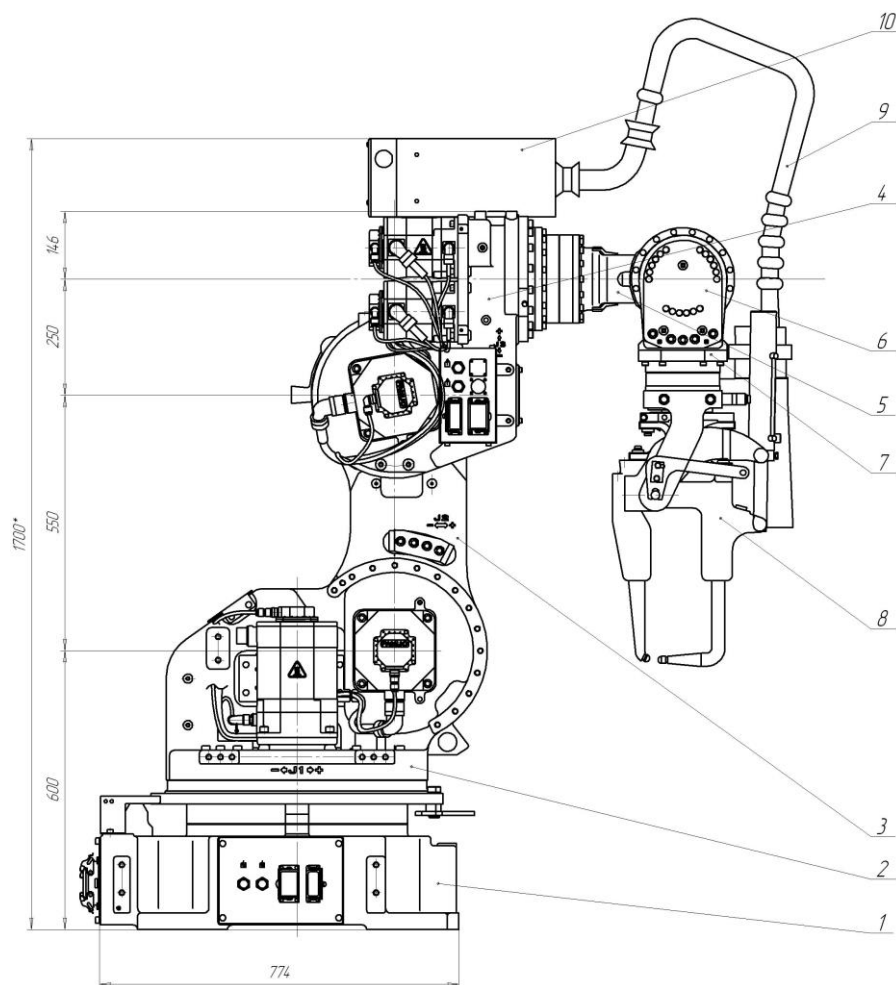


Рисунок 4.1 – Робот R-2000iA в сборе

фланец для крепления инструмента 7, клещи в сборе 8, спаренный гибкий токоподвод 9, трансформатор 10.

Общий вид компоновки РТК приведен на рисунке 4.2. Габаритные размеры РТК, с учетом вспомогательного оборудования 7650x7000 мм. На участке установлены сварочные роботы, (2). На участке установлено ограждение (5) с целью обеспечения безопасности персонала. Сборочная оснастка (условно не показана) установлена на поворотной карусели, (3).

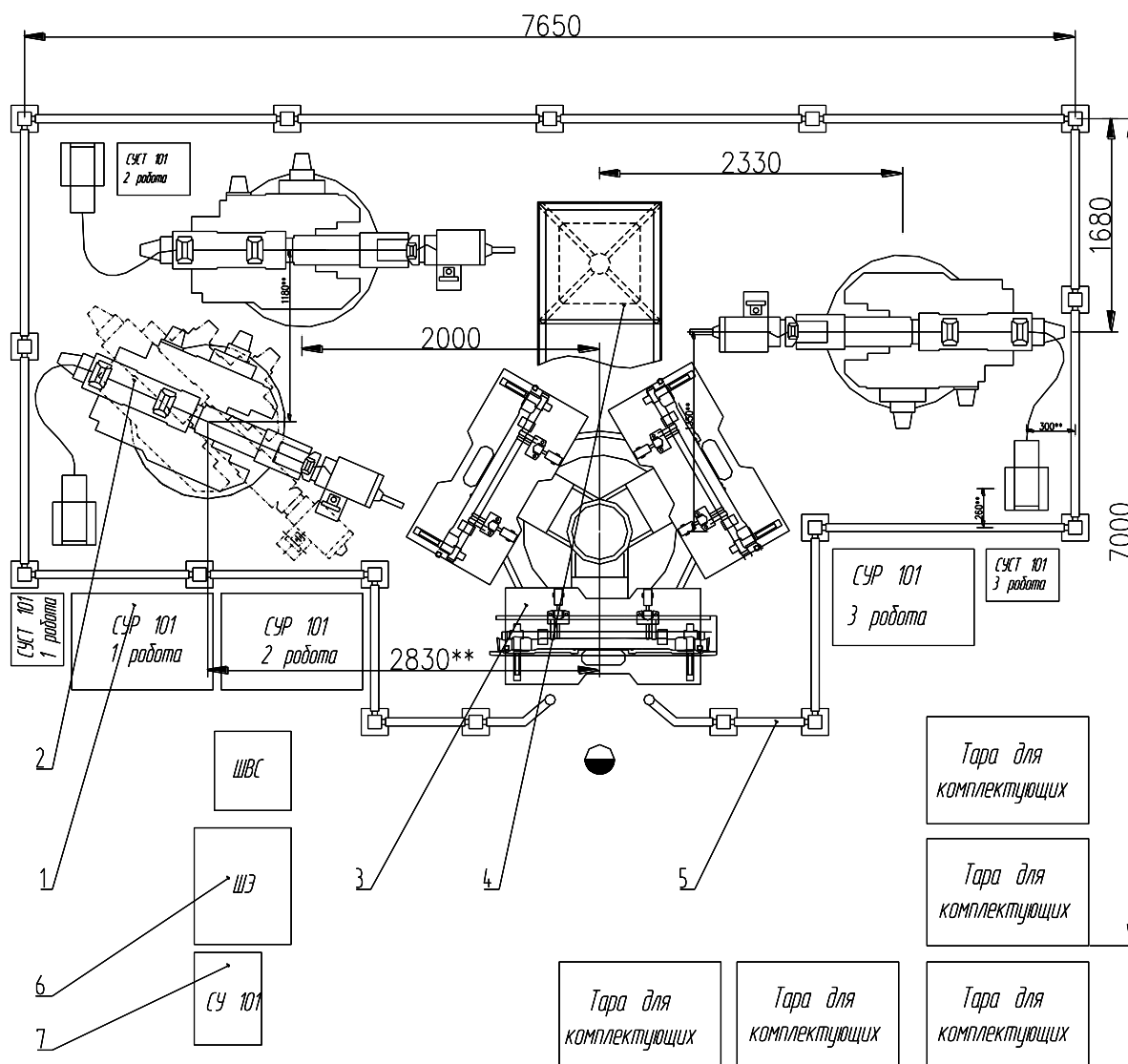


Рисунок 4.2 - Общий вид компоновки РТК

Обращает на себя внимание сварочная оснастка установленная на карусели. Это позволило исследовать вариант новых элементов сварочной оснастки, вариант восстановленных элементов сварочной оснастки напылением покрытия с использованием отечественного порошка ПР-Х17Г8М5 и вариант восстановленных элементов сварочной оснастки напылением покрытия с использованием импортного порошка Кастолин RotoTecCoroResist 19300.

Сварка брызговика с лонжероном выполнялась в течение полугода, при этом все три сварочных поста испытывали, примерно, одинаковые нагрузки. По истечение полугода эксплуатации элементы сварочной оснастки снимались и исследовалась величина износа. Величину износа фиксировали микрометром,

показано, что износ покрытия с использованием отечественного порошка ПР-Х17Г8М5 и покрытия с использованием импортного порошка Кастолин RotoTecCoroResist 19300 примерно одинаковый, и он меньше, чем износ запасных частей со склада без напыления.

Предложено не приобретать отдельный манипулятор для вращения напыляемых элементов сварочной оснастки, а использовать для вращения в процессе нанесения покрытия газотермическим напылением токарный станок А364. Для закрепления в суппорте станка пистолета кастолин разработана оснастка, рисунок 4.3.. Оснастка закрепляется в суппорте токарного станка, к стойке 1, закреплена муфта 4 с ходовым винтом. К муфте крепится планка 3 к которой двумя винтами крепится пистолет кастолин.

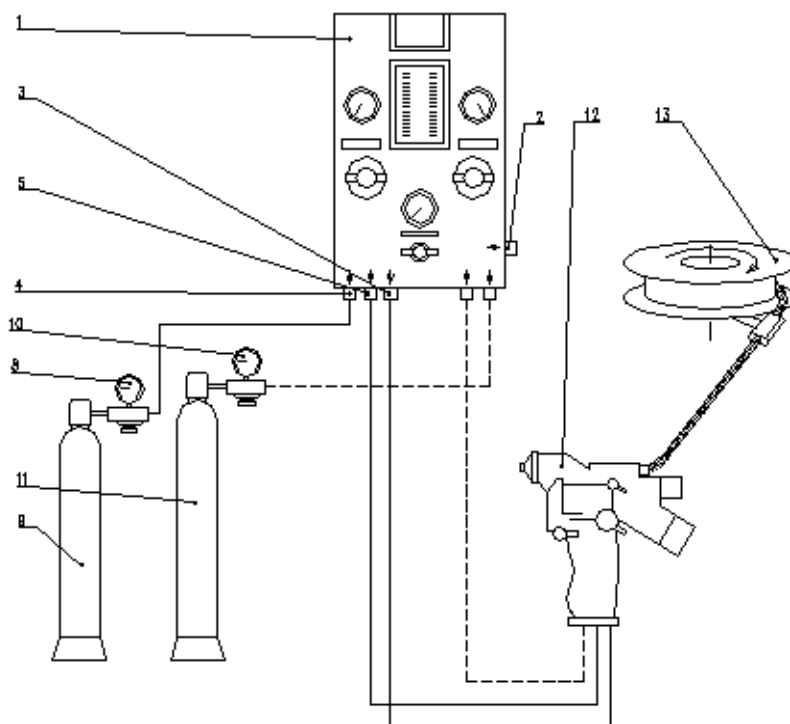
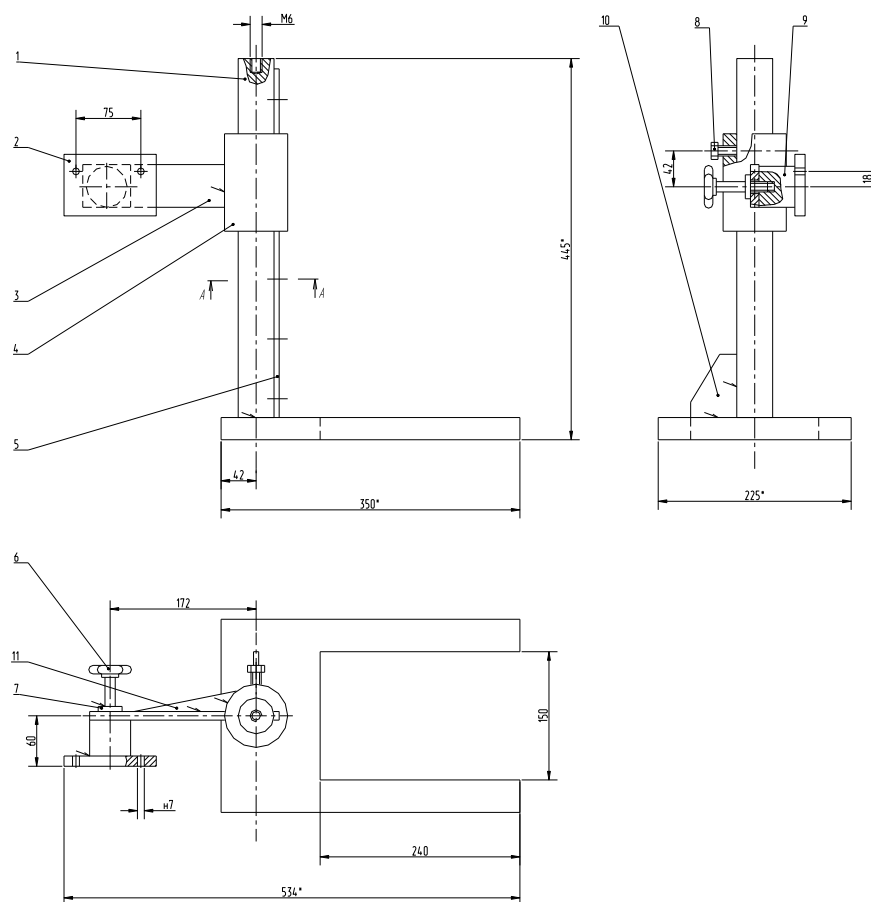


Рисунок 4.3 - Схема установки для напыления

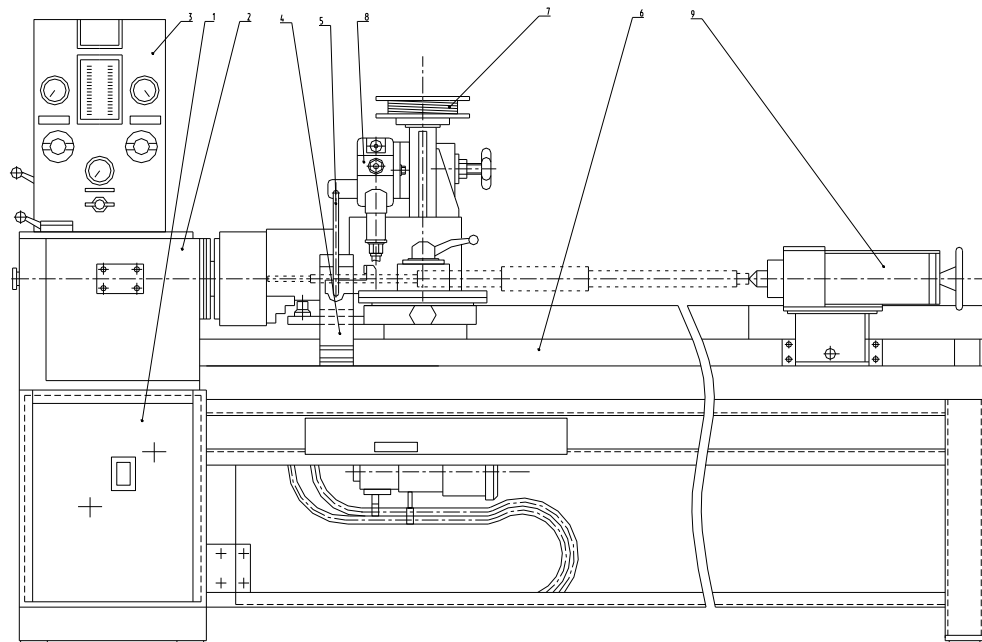
На верхней части стойки установлен шток для крепления емкости с напыляемым порошком. Общий вид установки, в которой скомпонованы токарный станок, установка для напыления, устройство для закрепления

пистолета и катушки с напыляемым материалом представлен на Рис. 3.5.



1 – Стойка; 4 – Муфта; 2 – Фланец; 5 – Направляющая;
3 – Планка; 6 – Винт регулировочный

Рисунок 4.4. Устройство для закрепления пистолета



1. станина; 7. механизм подачи;
 3. вращатель; 8. привод; 9 пульт управления; 10. задняя бабка; 11
 суппорт; 12 пиноль, 13 пистолет для напыления кастолин

Рисунок 4.5 - Общий вид оборудования

Заключение

Цель магистерской диссертации - повышение собираемости кузова легкового автомобиля за счет восстановления исходных геометрических параметров базирующих элементов сборочной оснастки. В процессе выполнения работы была изучена литература касающаяся восстановления изношенных деталей сварочной оснастки и способов увеличения срока службы элементов сварочной оснастки. Изучены научные статьи отечественных и зарубежных авторов, касающиеся способов получения покрытий. Также произведен поиск патентов в России и за рубежом по теме нанесения покрытий.

По результатам анализа литературных и патентных источников выявлены варианты в плане технико-экономических показателей значительно более эффективные, чем способы дуговой наплавки изношенного слоя.

В результате выполненных исследований были получены данные, что отечественный порошок ПР-Х17Г8М5 и импортный порошок Кастолин RotoTecCoroResist 19300 обеспечивают нанесение покрытия примерно одинаково изнашивающееся в процессе эксплуатации.

Таким образом, результаты данной магистерской диссертации могут использоваться на сварочных производствах для повышения точности оснастки для изготовления сварных узлов кузова легкового автомобиля. Это безусловно окажет положительный экономический эффект, что немаловажно в нынешней непростой экономической ситуации. Также данное исследование позволит в некоторых случаях сократить количество сварных точек на изделие без потери итоговой прочности, что ускорит производительность труда, увеличит объем выпускаемой продукции, а также снизит энергозатраты. Для автомобильной промышленности это имеет особое значение, так как при сварке кузова производится несколько тысяч сварных точек.

Задачи, поставленные в начале обучения по программе магистратуры при планировании магистерской диссертации выполнены. Литература (книги, учебники, научные статьи, патенты) по нанесению покрытий изучены,

спланирован и впоследствии проведен эксперимент, данные, полученные в ходе эксперимента систематизированы и проанализированы. Выводы представлены в магистерской диссертации. Цель достигнута.

Список используемых источников

1. Барабаш В.В. Разработка технологии восстановления валов газопламенным напылением с использованием водородно-кислородного пламени [Текст]. Автореферат дис. кандидата техн. Наук. Орел. 2008 г.
2. Коломейченко А.В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением комбинированным методом [Текст]. Автореферат дис. кандидата техн. наук. Орел. 2011 г.
3. Мулин Ю.И. Технологические и методологические основы формирования функциональных покрытий методом электроискрового легирования с применением электродных материалов из минеральных концентратов Дальнего Востока [Текст]. Автореферат диссертации доктора технических наук. Комсомольск-на-Амуре. 2007 г.
4. Ягафаров И. И. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя и точности прецизионных деталей машин при осаждении покрытия из плазмы вакуумно-дугового разряда [Текст]. Автореферат дис. кандидата техн. наук. Рыбинск. 2014 г.
5. Юрков М.А. Микроплазменное напыление объемно-пористых покрытий для катализаторов паровой конверсии углеводородного сырья в водородосодержащее топливо и водоактивируемых химических источников тока [Текст]. Автореферат дис. кандидата техн. Наук. Москва. 1994 г.
6. Никонов В.О. Совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов автомобильных двигателей плазменным напылением с одновременной электрохимической обработкой [Текст]. Автореферат диссертации кандидата техн. наук. Владимир. 2013.
7. Мостовая Я.Г. Обеспечение качества алмазно-абразивной обработки деталей с газотермическими покрытиями путем выбора рациональных технологических параметров на основе имитационного моделирования.

8. Доронин О.Н. Разработка электроискровой технологии упорчнения прокатных валков из белого чугуна [Текст]. Автореферат диссертации кандидата технических наук. Москва. 2013.
9. Балашова С.А. Математическое моделирование взаимодействия лазерного излучения с плазменным потоком для повышения прочности покрытий [Текст]. Автореферат диссертации кандидата технических наук. Иваново. 2009 г.
10. Зайцев К.В. Совершенствование технологии процесса ультразвуковой обработки поверхностей стальных деталей перед нанесением газотермических покрытий [Текст]. Автореферат диссертации кандидата технических наук. Тюмень. 2011 г.
11. Тавтилов И. Ш. Практикум по основам теории трения, изнашивания и триботехническим испытаниям [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. Ш. Тавтилов, В. И. Юршев ; Оренбург. гос. ун-т. - Оренбург : ОГУ, 2017. - 231 с.
12. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. - [Киев] : Техніка, [1970]. - 395 с.
13. Беленький Д. М. Теория надежности машин и металлоконструкций : [учеб. пособие] / Д. М. Беленький, М. Г. Ханукаев. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. - 607 с.
14. Комбалов В. С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов : справочник / В. С. Комбалов ; под ред. К. В. Фролова, Е. А. Марченко. - Москва : Машиностроение, 2008. - 383 с.
15. Боуден Ф. П. Трения и смазка твердых тел / Ф. П. Боуден, Д. Тейбор ; пер. с англ. Н. М. Михина, А. А. Силина ; под ред. И. В. Крагельского. - Москва : Машиностроение, 1968. - 543 с.
16. Крагельский И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. - Москва : Машиностроение, 1977. - 526 с.

17. Александров, А.Г. Влияние феррита на коррозионную стойкость аустенитно-ферритного наплавленного металла / А.Г. Александров, П.П. Лазебнов // Автоматическая сварка. – 1983. – № 10. – С. 70–71.
18. Александров, А.Г. Влияние иттрия на коррозионную стойкость сварных соединений стали 12X18H10T / А.Г. Александров, П.П. Лазебнов, Ю.Н. Савонов и др. // Сварочное производство. – 1982. – № 2. – С. 12–14
- 19.
20. Ибатуллин И. Д. Новые методы и приборы для экспрессной оценки энергетических параметров усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев : дис. ... д-ра физ.-мат. наук : специальность 01.04.01 / И. Д. Ибатуллин ; [науч. консультант Д. Г. Громаковский]. - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2010. - 452 с.
21. Алексеев Н. М. Металлические покрытия опор скольжения / Н. М. Алексеев. - Москва : Наука, 1973. - 75 с.
22. Балакин В. А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения / В. А. Балакин. - Москва : Машиностроение, 1980. - 135 с.
23. Польцер Г. Основы трения и изнашивания / Г. Польцер, Ф. Майсснер ; пер. с нем. О. Н. Озерского [и др.] ; под ред. М. Н. Добычина. - Москва : Машиностроение, 1984. - 263 с.
24. Марукович Е. И. Износостойкие сплавы / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко. - Москва : Машиностроение, 2005. - 428 с.
25. Браун Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. - Москва : Машиностроение, 1982. - 191 с.
26. Буше Н. А. Совместимость трущихся поверхностей / Н. А. Буше, В. В. Копытько. - Москва : Наука, 1981. - 127 с.
27. Liu, W., Ma, J., Atabaki, M.M. et al. Hybrid Laser-arc Welding of 17-4 PH Martensitic Stainless Steel. Lasers Manuf. Mater. Process. 2, 74–90 (2015).

28. Dudek, A., Wronska, A. & Adamczyk, L. Surface remelting of 316 L + 434 L sintered steel: microstructure and corrosion resistance. *J Solid State Electrochem* 18, 2973–2981 (2014).
29. Sadeghi, E., Markocsan, N. & Joshi, S. Advances in Corrosion-Resistant Thermal Spray Coatings for Renewable Energy Power Plants. Part I: Effect of Composition and Microstructure. *J Therm Spray Tech* 28, 1749–1788 (2019).
30. Westin, E.M., Schnitzer, R., Ciccomascolo, F. et al. Austenitic stainless steel bismuth-free flux-cored wires for high-temperature applications. *Weld World* 60, 1147–1158 (2016).
31. Виноградов Ю. М. Трение и износ модифицированных металлов / Ю. М. Виноградов. - Москва : Наука, 1972. - 151 с.
32. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В. М. Власов. - Москва : Машиностроение, 1987.
33. Гаркунов Д. Н. Триботехника : [учеб. для вузов] / Д. Н. Гаркунов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1989. - 327 с.
34. Демкин Н. Б. Физические основы трения и износа машин : учеб. пособие / Н. Б. Демкин. - Калинин : Калинин. гос. ун-т, 1981. - 115 с.
35. Радин Ю. А. Безызносность деталей машин при трении / Ю. А. Радин. - Ленинград : Машиностроение, 1989. - 229 с.
36. Силин А. А. Трение и его роль в развитии техники / А. А. Силин. - Москва : Наука, 1976. - 175 с.
37. Ясь Д. С. Испытания на трение и износ : методы и оборудование / Д. С. Ясь, В. Б. Подмоков, Н. С. Дяденко. - Киев : Техніка, 1971. - 140 с.
38. Силин А. А. Трение и мы / А. А. Силин. - Москва : Наука, 1987. - 191 с.
39. Ковтунов А.И., Плахотный Д.И., Стародубцев А.Д. Структура и свойства наплавленных сплавов системы никель-алюминий // Сварочное производство. 2015. №8. С. 35-37
40. Ковтунов А.И., Семистенова Т.В., Острячко А.М. Жаростойкие покрытия на основе сплавов системы Cr-Al // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. №3. С. 135-138.

41. Федоров А.Л., Ельцов В.В. Восстановление деталей машин нанесением пайкой антифрикционных покрытий // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Композиционные строительные материалы. Теория и практика. : сборник статей XIII Международной научно-технической конференции, Пенза, 27-28 июня 2018 г. [под ред. Е. А. Чуфистова]. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2018. С. 83-87.
42. Пенкин Н. С. Основы трибологии и триботехники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. - Изд. 2-е, стер. - Москва : Машиностроение, 2012. - 208 с.
43. Шаповалов В. В. Триботехника : учеб. для студентов вузов, обуч. по направлению подготовки "Прикладная механика" / В. В. Шаповалов, В. А. Кохановский, А. Ч. Эркенов ; под ред. В. В. Шаповалова. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2017. – 348 с.
44. Гаврилов, Д.А. Выбор варианта технологии восстановления компонентов сборочно-сварочных приспособлений / Д.А. Гаврилов, А.С. Климов. Техника и технология современных производств. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 83-87.
45. Опыт применения технологии лазерной наплавки для реновации уплотнительных поверхностей запорной арматуры / Балдаев Л. Х., Степин В. С., Грачев О. Е., Киселев М. А. // Трубопроводная арматура и оборудование. – 2014. – № 2 (71). – С. 96–98.
46. Крампит, А.Г. Методика определения геометрических размеров и площади сварного шва / А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит // Сварочное производство. – 2012. – № 10 – С. 40–42.
47. Лившиц, Л. С. Металловедение для сварщиков: сварка сталей / Л. С. Лившиц. — М.: Машиностроение, 1979. –253 с.
48. Алексеенко М.Ф. Структура и свойства теплостойких конструкционных и нержавеющей сталей. – М.: Оборонгиз, 1962. – 215 с.

49. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
50. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп и испр. / А.С. Зубченко, М.М.Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.: илл.
51. Wang, L., Wei, Z., Yao, S. et al. Sealing Performance and Optimization of a Subsea Pipeline Mechanical Connector. *Chin. J. Mech. Eng.* 31, 18 (2018).
52. Stützer, J., Zinke, M. & Jüttner, S. Erratum to: Studies on the pore formation in super duplex stainless steel welds. *Weld World* 61, 635 (2017).
53. A Hosseini, V., Hurtig, K., Eyzop, D. et al. Ferrite content measurement in super duplex stainless steel welds. *Weld World* 63, 551–563 (2019)
54. Kadoi, K., Fujinaga, A., Yamamoto, M. et al. The effect of welding conditions on solidification cracking susceptibility of type 310S stainless steel during laser welding using an in-situ observation technique. *Weld World* 57, 383–390 (2013).
55. J. Cao, Y. Gong, K. Zhu, Z.G. Yang, X.M. Luo, F.M. Gu, Microstructure and mechanical properties of dissimilar materials joints between T92 martensitic and S304H austenitic steels, *Mater. Des.* 32 (5) (2011) 2763–2770.
56. Westin, E.M., Schnitzer, R., Ciccomascolo, F. et al. Austenitic stainless steel bismuth-free flux-cored wires for high-temperature applications. *Weld World* 60, 1147–1158 (2016).
57. Dömstedt, P., Lundberg, M. & Szakalos, P. Corrosion Studies of Low-Alloyed FeCrAl Steels in Liquid Lead at 750 °C. *Oxid Met* 91, 511–524 (2019).
58. Ishigami, A., Roy, M.J., Walsh, J.N. et al. The effect of the weld fusion zone shape on residual stress in submerged arc welding. *Int J Adv Manuf Technol* 90, 3451–3464 (2017).
59. Putz, A., Althuber, M., Zelić, A. et al. Methods for the measurement of ferrite content in multipass duplex stainless steel welds. *Weld World* 63, 1075–1086 (2019).

60. Sorour, A.A., Chromik, R.R. & Brochu, M. Tribology of a Fe–Cr–B-Based Alloy Coating Fabricated by a Controlled Short-Circuit MIG Welding Process. *Metallogr. Microstruct. Anal.* 2, 223–233 (2013).
61. Панов А. А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др. ; Под общ. Ред. А. А. Панова. – Москва: Машиностроение, 1988 – 736с. ISBN 5-217-00032-5
62. Малов А. Н. Общетехнический справочник / А. Н. Малов – Москва, Машиностроение, 1971 - 464с.
63. Барташев Л. В. Справочник конструктора и технолога по техникоэкономическим расчетам / Л. В. Барташев – Москва, Машиностроение, 1979-221с.