

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль  
«Надежность и долговечность газонефтепроводов и хранилищ»  
Кафедра транспорта и хранения нефти и газа

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>«Анализ способов наплавки для восстановления изношенных поверхностей валов центробежных насосов»</b>

УДК 622.692.4.05-044.952:621.791,92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Лосев В.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Веровкин А.В.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Шарф И.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Крепша Н.В.	к.г.-э.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Айкина Т.Ю.	к.ф.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки (специальность) 131000 «Нефтегазовое дело» профиль  
«Сооружение и ремонт объектов систем трубопроводного транспорта»  
Кафедра транспорта и хранения нефти и газа

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Рудаченко А. В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ4А	Лосеву Всеволоду Алексеевичу

Тема работы:

<b>«Анализ способов наплавки для восстановления изношенных поверхностей валов центробежных насосов»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.04.2016 г, № 2401/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования: валы магистральных центробежных насосов, подвергшиеся износу во время их эксплуатации.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области;</li><li>2. Постановка задачи для исследования Содержание процедуры исследования и проектирования, обсуждение результатов выполненной работы.</li><li>3. Заключение по работе.</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b>	Схема ЦНСн 38-220
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения</b>	<b>Шарф И.В.</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Крепша Н. В.</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2014
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
преподаватель	Веровкин А.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ4А	Лосев Всеволод Алексеевич		

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

Институт	Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность)	Нефтегазовое дело
Уровень образования	Магистратура
Кафедра	ТХНГ
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.16
--	---------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.05.16	<i>Описание теоретической части проекта</i>	50
8.05.16	<i>Выполнение расчетной части проекта</i>	40
19.05.16	<i>Устранение недостатков проекта</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
преподаватель	Веревкин В. А.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТХНГ	Рудаченко А. В.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа Лосева Всеволода Алексеевича на тему «Анализ способов наплавки для восстановления изношенных поверхностей валов центробежных насосов с помощью наплавки».

Место дипломирования НИ ТПУ, ИПР, специальность 21.04.01 «Нефтегазовое дело», руководитель Веревкин А.В.

2016 год, 8 разделов, 111 страниц, 13 рисунков, 26 таблиц, 20 источников, 2 приложения.

*Автоматическая наплавка в среде защитных газов, плавящиеся электроды, вал, токарно-винторезный станок, балансировка, режим наплавки.*

Цель работы – разработка ресурсоэффективного метода восстановления изношенной поверхности валов центробежных насосов.

В процессе работы был разработан метод наплавки, максимально автоматизирующий процесс восстановления поврежденного вала центробежного насоса.

Магистерская работа выполнена с учетом требований современных нормативно-правовых документов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word, графический материал выполнен в программе Компас–3D V14, таблицы и диаграммы составлены программе Microsoft Office Excel.

## Определения

**реновация:** процесс улучшения структуры детали.

**токарно-винторезный станок:** станок для обработки резанием заготовок из металлов, а также для нарезания метрической, дюймовой и питчевых резьб.

**квалитет:** совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

**допуск:** разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями размеров деталей.

**электрическая дуга:** физическое явление, одно из видов электрического разряда в газе, концентрированный источник теплоты с очень высокой температурой.

**дисбаланс:** векторная величина, характеризующая неуравновешенность вращающихся частей машин (роторов, коленчатых валов, шкивов и т.п.).

**короткое замыкание:** электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными значениями потенциала, не предусмотренное конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу.

# Содержание

Содержание	6
Введение	8
Аналитический обзор литературы	9
Раздел 1. Общие сведения ЦНСН 38-220	10
1.1 Назначение и характеристика	10
1.2 Конструкция насоса секционного горизонтального ЦНСН 38-220	10
1.3 Принцип работы насоса секционного горизонтального ЦНСН 38-220	11
1.4 Обслуживание и ремонт насосов	13
Раздел 2. Выбор способа наплавки	15
2.1 Наплавка под слоем флюса	16
2.2 Плазменная наплавка	18
2.3 Вибродуговая наплавка	22
2.4 Плазменное напыление	23
2.5 Автоматическая дуговая наплавка в среде защитных газов	26
2.6 Наплавочные материалы	33
Раздел 3. Расчет параметров восстановления вала	37
3.1 Расчет толщины наносимого покрытия	37
3.2 Автоматическая дуговая наплавка в среде защитных газов	38
3.3 Автоматическая наплавка под слоем флюса	45
3.4 Вибродуговая наплавка	47
3.5 Плазменная наплавка	49
3.6 Расчет технико-экономических показателей	50
Раздел 4. Оборудование для наплавки	53
Раздел 5. Технические требования, предъявляемые к валам	62
5.1 Технические требования	62
5.2 Методы обеспечения технических требований	62
5.3 Отделочная обработка валов	64
Раздел 6. Балансировка валов	67
6.1 Выбор балансировочного станка	68
6.1.1 Дорезонансные балансировочные станки	68
6.1.2 Зарезонансные балансировочные станки	69
6.2. Конструкция балансировочных станков серии ВМ	71
6.2.1 Опоры балансировочного станка серии ВМ	71
6.2.2 Роликовый блок	71
6.2.3 Специальные укладчики	72
6.2.4 Привод	72

6.2.5 Специальная оснастка	72
6.2.6 Отсутствие необходимости в специальном фундаменте и виброизоляции	73
Заключение	108
Список публикаций	109
Список используемой литературы	111
Приложение А	
Приложение Б	

## Введение

В настоящее время одной из главных задач современной науки является решение проблемы долговечности и износостойкости деталей машин, в связи с возрастанием требований к технике, работающей в условиях низких и высоких удельных давлений. Если учесть, что в машинах и механизмах до 80 % аварий и отказов связано с износом, то актуальность применения технологий, обеспечивающих эффективное восстановление изношенных поверхностей деталей, не вызывает сомнений. В сфере транспорта нефти проблема износа рабочих органов центробежных насосов вызывает потребность в развитии технологий, позволяющих не только восстанавливать изношенные поверхности деталей, но и улучшать их механические характеристики. Наиболее остро эта проблема касается износа валов центробежных насосов, т.к. стоимость изготовления нового вала во много раз превосходит стоимости его ремонта. Для восстановления работоспособности изношенной поверхности вала требуется в 5–8 раз [1] меньше технологических операций по сравнению с его изготовлением. Кроме того, создание в процессе восстановления покрытия вала с повышенной износостойкостью, позволяет продлить его срок службы, увеличить межремонтный период, улучшить эксплуатационные параметры узла. Вал насоса вращается в двух шарикоподшипниковых опорах, установленных в подшипниковом кронштейне. Поэтому износу вал центробежного насоса подвергается в местах контакта вала с подшипниками, а также в местах уплотнений. Для восстановления изношенной поверхности предлагается применение наплавки.

## **Раздел 1 Общие сведения ЦНСН 38-220**

### **1.1. Назначение и характеристика**

Насосы ЦНСН предназначены для перекачивания обводненной газонасыщенной и товарной нефти с температурой от 273 К ( 0° С) до 318 К (45° С) в системах внутрипромыслового сбора, подготовки и транспорта нефти.

Насосы с сальниковым уплотнением могут применяться для перекачивания воды с разрежением в полости всасывания.

Агрегаты предоставляются с электродвигателями взрывозащищенного исполнения и применяются во взрывопожароопасных помещениях класса В-1а по ПУЭ.

Давление на входе в насосы ЦНСН должно быть в пределах 0,05-0,6 МПа (0,5-6 кгс/см<sup>2</sup>).

Норма расхода смазочных материалов на одну подшипниковую камеру составляет 125-150 г.

### **1.2. Конструкция насоса секционного горизонтального ЦНСН 38-220**

Ротор и корпус являются основными частями насосного блока.

Крышки линий всасывания и нагнетания, направляющие аппараты, передний и задний кронштейны относятся к корпусу. Крышки всасывания и нагнетания, корпуса направляющих аппаратов стягиваются стяжными болтами.

Секция насоса образуется из направляющего колеса, кольца и рабочего колеса. Уплотнение стыков корпусов направляющих аппаратов производят с помощью резиновых колец, выполненных из маслобензостойкой резины.

Корпус насоса составляют несколько отдельных секций поэтому, есть возможность, не изменяя подачи, поменять напор через установку необходимого числа рабочих колес и направляющих аппаратов с корпусами. При данной операции изменяется только длина вала и длина стяжных шпилек.

Ротор насоса состоит из вала. На нем зафиксированы рабочие рубашка вала, кольцо, дистанционная втулка, диск разгрузки, регулировочные кольца и колеса. Все детали затягиваются гайкой ротора.

Два радиальных сферических подшипника являются опорой для ротора. Они установлены в заднем и переднем кронштейнах по скользящей посадке, которая позволяет ротору перемещаться в осевом направлении на величину "разбега" ротора.

В крышках подшипников устанавливаются подшипниковые камеры, которые уплотняются манжетами.

С наружной стороны кронштейн закрывается крышкой, где смонтировано устройство контроля смещения ротора.

Сальником уплотняются места выхода вала из корпуса подшипников и вала.

Корпуса подшипников этой модификации имеют камеры охлаждения.

### **1.3. Принцип работы насоса секционного горизонтального ЦНСН 38-220**

Работа насоса состоит из взаимодействия лопаток вращающегося рабочего колеса и перекачиваемой жидкости.

Вследствие вращения рабочего колеса сообщается круговое движение жидкости, которая находится между лопатками. Из-за возникающей центробежной силы жидкость от центра колеса перемещается к внешнему выходу. Пространство, которое освободилось, вновь заполняется жидкостью.

Жидкость выходит из первой секции рабочего колеса, поступает в каналы направляющего аппарата, а затем во второе рабочее колесо с давлением, которое создается в первой секции, откуда – в третье рабочее колесо с повышенным давлением, образованным во второй секции и т.д.

Жидкость выходит из последнего рабочего колеса, проходя через направляющий аппарат, поступает в крышку нагнетания, а затем в нагнетательным трубопровод.

В ходе работы насоса, из-за давления воды на неравные по площади боковые поверхности рабочих колес, появляется осевое усилие, стремящиеся сместить ротор насоса туда, где происходят всасывания.

Чтобы уравновесить осевое усилие в насосе применяется разгрузочное устройство, которое состоит из диска разгрузки, кольца и втулки разгрузки и дистанционной втулки.

Жидкость из последней ступени проходит через кольцевой зазор между втулкой разгрузки и дистанционной втулкой и давит на диск разгрузки с усилием, равным сумме усилий, действующих на рабочие колеса, но

направленным в сторону нагнетания. Ротор насоса оказывается уравновешенным, равенство усилий устанавливается автоматически.

Жидкость, которая выходит из разгрузочной камеры, охлаждает сальник со стороны нагнетания.

Жидкость, которая поступает под давлением из всасывающего трубопровода, омывает сальник. Основная масса жидкости протекает через зазор между рубашкой вала и втулкой гидрозатвора в полость всасывания. Другая масса протекает со стороны всасывания между рубашкой вала и сальником, охлаждая его, оставшаяся масса выходит наружу через штуцер.

Затяжка сальника обеспечивает возможность просачивания перекачиваемой жидкости между валом и сальниковой набивкой наружу в количестве 5-15 л/ч. Если слишком сильно затянуть сальник, то образуется меньшее количество жидкости и увеличиваются потери на трение. А так же ускоряется износ рубашки вала и гайки ротора.

Электродвигатель приводит ротор насоса во вращение. Он присоединен к насосу с помощью упругой втулочно-пальцевой муфты, которая состоит из двух полумуфт (насоса и электродвигателя) и пальцев с резиновыми втулками.

Вращение ротора протекает по часовой стрелки, если наблюдать со стороны электродвигателя.

На общей фундаментальной плите крепятся насос и электродвигатель так, чтобы между полумуфтами оставался зазор 10 мм при роторе насоса, сдвинутом до отказа в сторону всасывания..

Агрегаты ЦНСАН поставляются с электродвигателями взрывозащищенного исполнения и могут применяться во взрывопожароопасных помещениях класса В-1а по ПУЭ.

Опорные кронштейны насоса выполнены из чугуна, материал проточной части насосов ЦНСН СЧ-20, Сталь 35Л, вал сталь 40х, направляющий аппарат, кольцо и корпус направляющего аппарата, втулка сальника - из прессматериала АГ-4В.

Категорически запрещается эксплуатация насоса без перекачиваемой жидкости, т. к. это может привести к выходу из строя резиновых уплотнений и возникновению течи.

Условные обозначения насоса секционного горизонтального ЦНСАНт 38-220 УХЛ 4 ТУ 3631-003-00217389-96 где,

ЦНС - центробежный насос секционный;

А – агрегат насос с электродвигателем;

Н – нефтяной;

Т – уплотнение торцовое (без обозначения уплотнение сальниковое);

38 - подача (м<sup>3</sup>/час);

220 - напор (м);

УХЛ 4 – климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69;

ТУ 3631-003-00217389-96 – технические условия исполнения

#### 1.4. Обслуживание и ремонт насосов

Безотказная работа **насосов ЦНСН** в значительной степени зависит от своевременного и качественного технического обслуживания.

Работы по техническому обслуживанию являются профилактическими, поэтому их выполнение обязательно в установленные сроки. Учет работ проводить согласно РД 08.00-60.30.00-КТН-016-1-05.

Порядок и виды технического обслуживания

Техническое обслуживание и ремонт насосов по периодичности, выполняемым операциям и трудоемкости, подразделяются на следующие виды:

- техническое обслуживание (ТО);
- текущий ремонт (ТР);
- капитальный ремонт (КР).

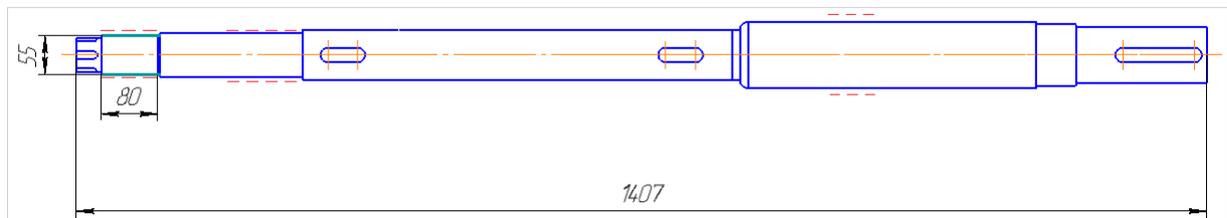


Рисунок 1 – Вал ЦНСН 38-220

Для изношенной поверхности вала ЦНСН 38-220 подберем способ наплавки.

## **Раздел 2 Выбор способа наплавки**

Наплавкой металла называют процесс, во время выполнения которого на поверхность заготовки при помощи сварочного оборудования наносится слой металла с последующей его кристаллизацией с заданными свойствами и геометрическими параметрами.

Существует несколько видов наплавки металла, различаемых по своим техническим характеристикам:

- по степени механизации процесса наплавка может быть ручной, механизированной и автоматической;
- по тому способу, которым металл в процессе наплавки защищается, выделяется наплавка под слоем флюса, наплавка под предварительно расплавленным покрытием электрода, которая, в свою очередь, может производиться в вакууме или в среде защитного газа.
- по самому характеру процесса наплавка может быть непрерывной или прерывистой.

В основном для наплавки используют сварку плавлением, которая удовлетворяла бы следующим требованиям: образование ровного и с хорошим внешним видом валика; равномерного и неглубокого проплавления основного металла; отсутствие склонности к возникновению дефектов, таких как: застревание шлака в наплавленном металле; несплавление в местах перекрытия соседних валиков, пор, трещин и подрезов; высокая скорость процесса; достаточно высокая степень технологичности процесса, а так же достаточно малая степень чувствительности к форме наплавляемой поверхности детали и состоянию поверхности.

### **2.1. Наплавка под слоем флюса**

Наплавка под слоем флюса – процесс, в ходе которого сварочная дуга, горящая между деталью металла и электродом, защищается от внешних

воздействий с помощью заранее расплавленного слоя флюса. Ширина слоя при этом изменяется в диапазоне от 20 до 40 миллиметров.

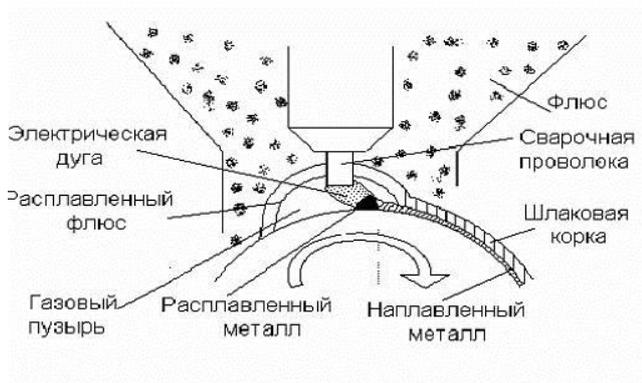


Рисунок 2 – Схема наплавки металла на поверхность детали под слоем флюса

Такая защита нужна для того, чтобы защитить металл от воздействия окружающего воздуха, таким образом, защищая, возникновение окисления металла кислородом. Помимо этого слой флюса выполняет еще одну немало важную задачу – он сохраняет тепло расплавленному металлу и не дает ему разбрызгиваться. Благодаря слою флюса повышается производительность труда и экономия металла.

Как правило, при проведении наплавки под слоем флюса, в качестве электрода выступает сварочная проволока, которая не имеет покрытия. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от задач, которые поставлены перед сварщиком. Диаметр варьируется в диапазоне от 1 до 6 миллиметров.

Вид тока, который применяется при наплавке под слоем флюса, чаще всего это ток с обратной полярностью – минус от источника электрического тока подается на наплавляемую поверхность изделия, а плюс – на сварочную проволоку.

Для того увеличить производительность данного метода, используют подачу сразу двух проволок в зону наплавки с помощью двух полуавтоматических приспособлений или ленточные электроды.

## **Преимущества наплавки под слоем флюса**

Дуговая наплавка под флюсом занимает одну из лидирующих позиций среди всех способов наплавки. Основные преимущества наплавки под слоем флюса:

- высокую производительность;
- простота процесса. Для производства наплавки под слоем флюса не требуется искать специалиста, который обладает большим опытом в данном спектре сварочных работ;
- высокое качество работы;
  - высокую безопасность работы сварщика. Из-за того что сварочная дуга находится под слоем флюса, разбрызгивание металла исключается. Поэтому повышается безопасность сварщика, так как исключается шанс получение ожогов.
  - высокое сцепление с основным металлом.

## **Недостатки наплавки под слоем флюса**

- высокая стоимость оборудования.
- большая зона нагрева, вследствие этого данный способ наплавки не применяется в том случае, когда необходима наплавка металла на мелкие изделия;
- снижение усталостной прочности металлической детали.

Наплавка под слоем флюса является одним из самых распространенных способов, так как позволяет значительно сэкономить ресурсы. Помимо самого металла, экономятся энергетические ресурсы предприятия. Это приводит к понижению стоимости получаемых в результате применения этого способа наплавки изделий.

## 2.2. Плазменная наплавка

Плазменная наплавка – современный способ восстановления изношенных деталей машин и нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность при изготовлении. Плазма это высокотемпературный сильно ионизированный газ, который состоит из световых квантов, молекул, ионов, атомов, электронов и др. При дуговой ионизации газ пропускают через канал и создают дуговой разряд, тепловое влияние которого ионизирует газ, а электрическое поле создает направленную плазменную струю. Также под действием электрического поля высокой частоты газ может ионизироваться. Газ подается при давлении в 2...3 атмосферы, возбуждается электрическая дуга силой 400...500 А и напряжением 120...160 В. Ионизированный газ достигает температуры 10...18 тыс. С, а скорость потока – до 15000 м/сек. В специальных горелках – плазмотронах, образуется плазменная струя. Катодом является неплавящийся вольфрамовый электрод. При наплавке поверхность детали необходимо готовить более тщательно, чем при обычной газовой или электродуговой сварке, так как посторонние включения уменьшают прочность наплавленного слоя. Для этого производится механическая обработка поверхности (проточка, шлифование, пескоструйная обработка), иногда обезжиривание. Мощность электрической дуги подбирают такой, чтобы сильно не нагревалась деталь, и чтобы основной металл был на грани расплавления. Плазменная наплавка широко применяется для защиты от высокотемпературного износа формокомплектов стекольной промышленности, для защиты от коррозии и износа деталей запорной, запорнорегулирующей арматуры, для упрочнения поверхности деталей, работающих при высоких нагрузках.

Наплавка металла плазмой выполняется по двум технологиям:

- в струю вводят прутки, проволоку либо ленту (они выполняют функцию присадочного материала);
- в струю подают порошковую смесь, которая захватывается и переносится на поверхность наплаваемого изделия газом.

Струя плазмы может иметь разную компоновку. По этому показателю ее разделяют на три вида:

- **Закрытая струя.** С ее помощью чаще всего выполняют напыление, металлизацию и закалку металла. Дуга в данном случае характеризуется сравнительно небольшой интенсивностью пламенного потока, что обуславливается высоким уровнем отдачи тепла в атмосферу. Анодом при описанной компоновке выступает либо канал горелки, либо ее сопло.

- **Открытая струя.** При этой компоновке деталь нагревается намного больше, анодом является пруток или непосредственно обрабатываемое изделие. Открытая струя рекомендована для нанесения защитных слоев либо для резки материала.

- **Комбинированный вариант.** Компоновка, созданная специально для выполнения плазменно-порошковой наплавки. При таком варианте одновременно зажигают две дуги, а анод подключают к соплу горелки и к наплавляемому изделию.

Плазменно-порошковая наплавка на большинстве современных предприятий осуществляется именно в комбинированных агрегатах. В них металлический присадочный порошок расплавляется между соплом горелки и электродом из вольфрама. А в то время, когда дуга горит между деталью и электродом, начинается нагрев поверхности наплавляемого изделия. За счет этого происходит качественное и быстрое сплавление основного и присадочного металла.

Комбинированный плазмотрон обеспечивает малое содержание в составе наплавленного основного материала, а также наименьшую глубину его проплавления.



Рисунок 3 – Комбинированный плазматрон для наплавки

От вредного влияния окружающего воздуха наплавляемая поверхность предохраняется инертным газом. Он поступает в сопло (наружное) установки и надежно защищает дугу, окружая ее. Транспортирующим газом с инертными характеристиками осуществляется и подача порошковой смеси для присадки. Она поступает из специального питателя.

В целом стандартный плазматрон комбинированного типа действия, в котором производится напыление и наплавка металла, состоит из следующих частей:

- два источника питания (один питает "косвенную" дугу, другой – "прямую");
- питатель для смеси;
- сопротивления (балластные);
- отверстие, куда подается газ;
- сопло;
- осциллятор;
- корпус горелки;
- труба для подачи несущего порошковую композицию газа.

### **Преимущества метода плазменной наплавки:**

- плазменный поток позволяет наносить разные по своим параметрам материалы, причем в несколько слоев (за счет этого металл можно обрабатывать разными покрытиями, каждый из которых имеет собственные защитные особенности);
- энергетические свойства плазменной дуги допускается регулировать в широких границах, так как она считается самым гибким источником тепла;
- поток плазмы характеризуется очень высокой температурой, благодаря чему он без труда расплавляет даже те материалы, которые описываются повышенной тугоплавкостью;
- геометрические параметры и форма детали для наплавки не ограничивают технические возможности плазменного способа и не снижают его результативность.

### **Недостатки метода плазменной наплавки:**

- относительно невысокая производительность
- необходимость в сложном оборудовании

### **2.3. Вибродуговая наплавка**

Суть данного способа состоит в следующем. Между вибрирующей электродной проволокой, подаваемой к месту наплавки, и наплавляемой деталию периодически возбуждается дуга. За счет дуги происходит оплавление конца электрода и поверхности детали, на которой образуется ванночка расплавленного металла. Охлаждающая жидкость непрерывно подается к месту наплавки, таким образом наплавленный металл охлаждается с более высокой скоростью. При соответствующей частоте вращения детали на ее поверхности образуется наплавленный валик, ширина которого в два раза больше диаметра электрода. Если валики расположены рядом и сплавлены между собой, то они образуют сплошной слой. За счет резкого охлаждения при наплавке высокоуглеродистыми проволоками обеспечивается высокая твердость и износостойкость наплавленного слоя.

С помощью механического или электромагнитного вибратора осуществляется вибрация электродной проволокой с частотой 50-100 Гц. Данные растворы применяются в качестве охлаждающей жидкости: 1) 6% кальцинированной соды; 2) 20-30% глицерина; 3) 4-5% глицерина и 3-4% кальцинированной соды; 4) 0,5% глицерина, 5% кальцинированной соды и 1% хозяйственного мыла. Быстрому формированию наплавляемого валика способствует жидкая среда.

Вибродуговая наплавка обеспечивает получение наплавленных слоев толщиной 0,1-3,0 мм. При данном способе наплавке деталь прогревается на глубину, равную примерно толщине наплавляемого слоя, поэтому практически не наблюдается коробления деталей и значительного нарушения свойств термообработанного слоя

#### **Преимущества вибродуговой наплавки:**

- высокая производительность и экономичность;
- незначительные деформации деталей благодаря вибрации электрода;
- возможность наплавлять детали малых диаметров;
- достижение высокой твердости наплавки без последующей термической обработки.

#### **Недостатки вибродуговой наплавки:**

- снижение сопротивления усталости;
- вследствие большой газонасыщенности наплавленного металла исключена возможность повторной наплавки другими способами без предварительного полного удаления покрытия.

## 2.4. Плазменное напыление

Плазменное напыление — процесс нанесения покрытия на поверхность изделия с помощью плазменной струи.

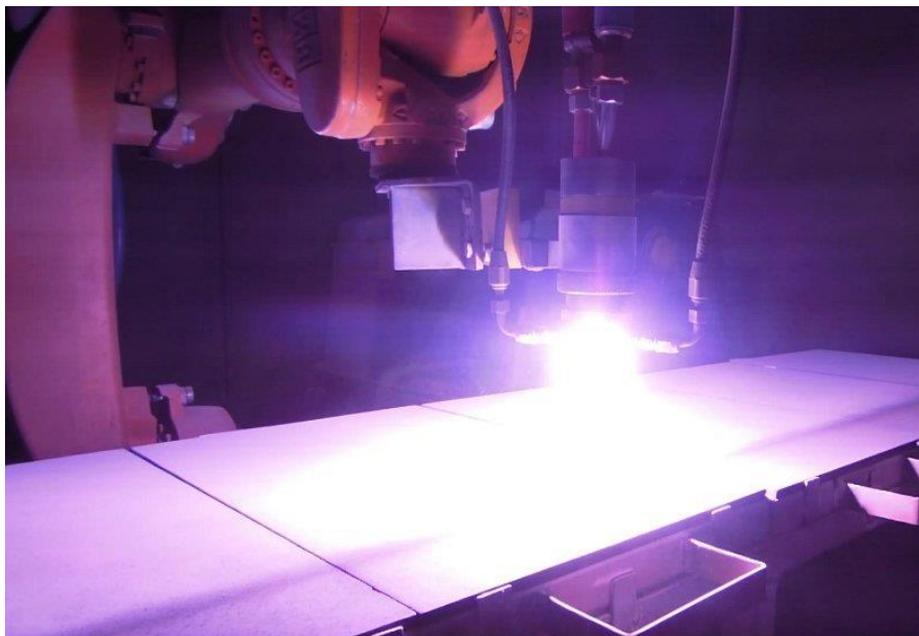


Рисунок 4 – Плазменное напыление оксида алюминия

Суть данного способа заключается в том, что в высокотемпературную плазменную струю подаётся распыляемый материал, который нагревается, плавится и в виде двухфазного потока направляется на подложку. При деформации и ударе происходит взаимодействие частиц с поверхностью напыляемым материалом или основы и формирование покрытия.

Плазменный процесс состоит из трех основных стадий:

1. взаимодействие плазменной струи и расплавленных частиц с основанием.
2. генерация плазменной струи;
3. ввод распыляемого материала в плазменную струю, его нагрев и ускорение;

### **Возможности плазменного напыления**

Плазменным напылением наносятся антифрикционные, износостойкие, коррозионностойкие, жаростойкие, и другие покрытия.

Напыление с помощью низкотемпературной плазмы позволяет:

- наносить покрытия на листовые материалы, на конструкции больших размеров, изделий сложной формы;
- покрывать изделия из самых разнообразных материалов, включая материалы, не терпящие термообработки в печи (стекло, фарфор, дерево, ткань);
- использовать различные материалы: металлы, сплавы, окислы, карбиды, нитриды, бориды, пластмассы и их различные комбинации; наносить их в несколько слоев, получая покрытия со специальными характеристиками;
- обеспечить равномерное покрытие, как на большой площади, так и на ограниченных участках больших изделий;
- практически избежать деформации основы, на которую производится напыление;
- легко механизировать и автоматизировать процесс напыления;
- улучшить качество покрытий. Таким образом, они получаются более стабильными, высокой плотности, равномерными и с хорошим сцеплением с поверхностью детали.
- обеспечить высокую производительность нанесения покрытия при относительно небольшой трудоёмкости;

#### **Преимущества метода плазменного напыления:**

- получение высококачественного покрытия, особенно в условиях общей защиты;
- высокая производительность процесса;
- большое количество технологических факторов, изменение которых обеспечивает регулирование процесса напыления;
- достаточно высокий коэффициент использования порошкового материала;

- широкая доступность метода, как в основном, так и ремонтном производстве;
- экономичность;
- невысокая стоимость простейшего оборудования;
- возможность комплексной механизации и автоматизации процесса;
- продление ресурса дорогостоящих деталей (коленчатых валов, подшипников скольжения, поршневых колея и др.);
- уникальная возможность получения рабочих поверхностей деталей с заданными эксплуатационными свойствами;
- универсальность применения порошковых материалов, в том числе с высокой температурой плавления.

#### **Недостатки метода плазменного напыления:**

- достаточно низкий коэффициент использования электроэнергии, по порошкам 0,001—0,020;
- наличие несплошности (пористости) покрытия (2—15 %), в ряде случаев пористость способствует удержанию смазочного материала в покрытии, что эффективно сказывается на работе деталей в условиях сопряженного трения;
- невысокую прочность сцепления покрытия с основой и в самом покрытии — 80—100 МПа;
- высокий уровень шума — 60—120 дБ;
- необходимость использования средств индивидуальной защиты от вредных и опасных воздействий в процессе напыления.

### **2.5. Автоматическая дуговая наплавка в защитных газах**

Дуговая наплавка в среде защитных газов (газоэлектрическая наплавка) является одним из самых распространенных механизированных способов наплавки. Схема процесса показана на рис. 5.

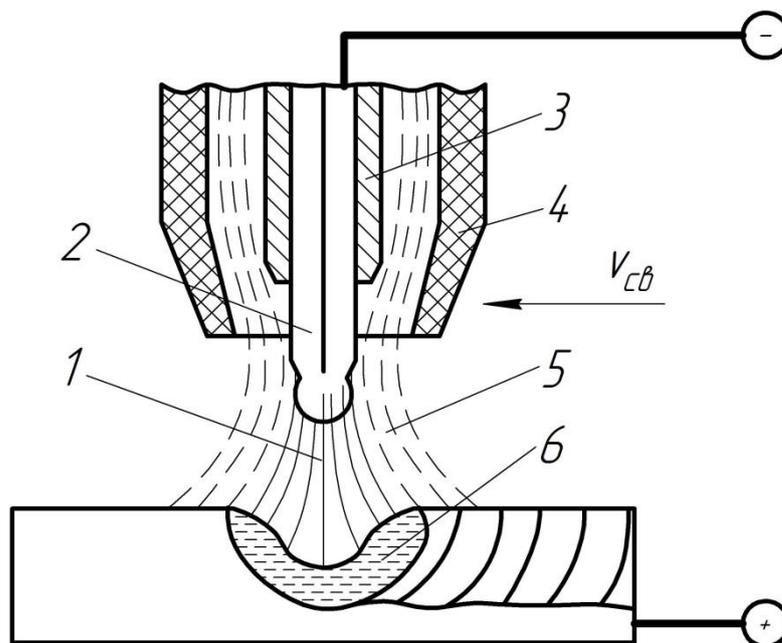


Рисунок 5 – Схема наплавки в защитных газах:

1 – электрическая дуга; 2 – электрод; 3 – токопровод; 4 – сопло для подачи защитного газа; 5 – защитный газ; 6 – ванна жидкого металла

Согласно представленной схеме электрическая дуга 1 горит между токоведущим электродом 2 и ванной жидкого металла 6. Зона наплавки защищена от контакта с атмосферой потоком защитного газа 5, который подается через специальное сопло 4, выполненное из жаростойкой керамики или меди. Охлаждение медного сопла производится с помощью внутренних каналов, по которым циркулирует вода. Сопло изолировано от токопровода 3 и других частей горелки.

Дуговая наплавка в защитных газах обеспечивает минимальную длину вылета электрода от места крепления токопровода до зоны горения дуги (вылет электрода около 50 мм), что снижает разогрев электрода проходящим по нему током. Это расширяет диапазон применяемых токов до 2000 А. Применение повышенных токов позволяет увеличить скорость процесса наплавки до 100 м/ч.

Защитные газы, как правило, обладают хорошей ионизирующей способностью и обеспечивают стабильное горение дуги. В сочетании с использованием проволок малого диаметра или неплавящихся электродов это

позволяет вести наплавку на сверхмалых токах от 10 А, что позволяет формировать слои малой толщины от 0,5 мм.

Технологии электродуговой наплавки в защитных газах подразделяются по нескольким признакам:

- 1) по виду электрода: наплавка плавящимся и неплавящимся электродом;
- 2) по химическому составу газовой смеси: в среде инертных газов (Ar, He) и сварку в среде активных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ );
- 3) по степени автоматизации: на ручную, механизированную и автоматическую.

На рис. 6 представлены технологические схемы выполнения различных видов дуговой наплавки в среде защитных газов.

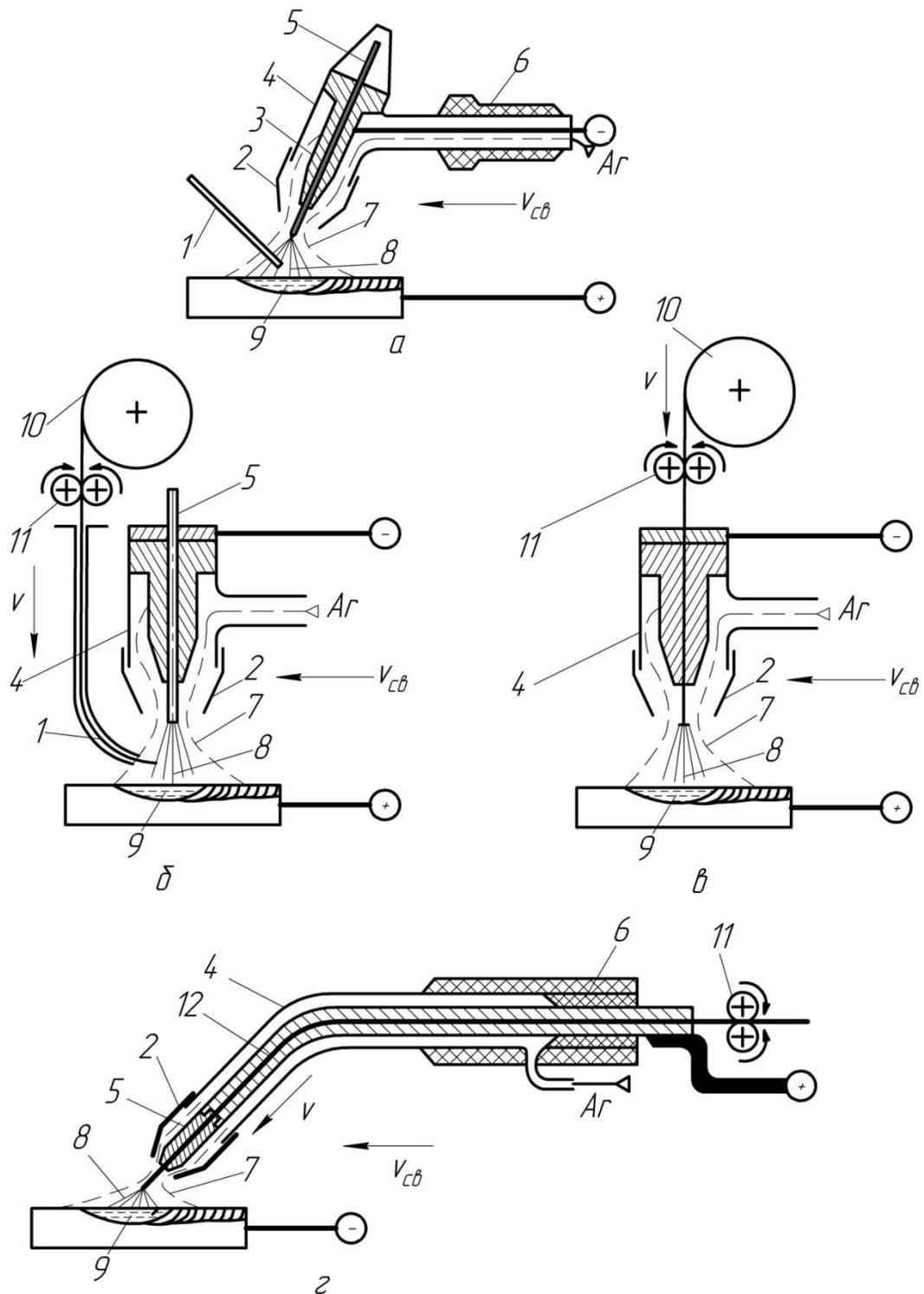


Рисунок 6 – Разновидности наплавки в защитных газах:

*a* – ручная неплавящимся электродом с присадкой в инертных газах; *б* – механизированная или автоматизированная неплавящимся электродом с присадкой в инертных газах; *в* – механизированная или автоматизированная плавящимся электродом; *г* – ручная плавящимся электродом  
 (1 – присадочный пруток или направляющийся вольфрамовый электрод;

2 – сопло; 3 – токопроводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – направляющийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоять горелки; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм подачи; 12 – плавящийся металлический электрод (проволока))

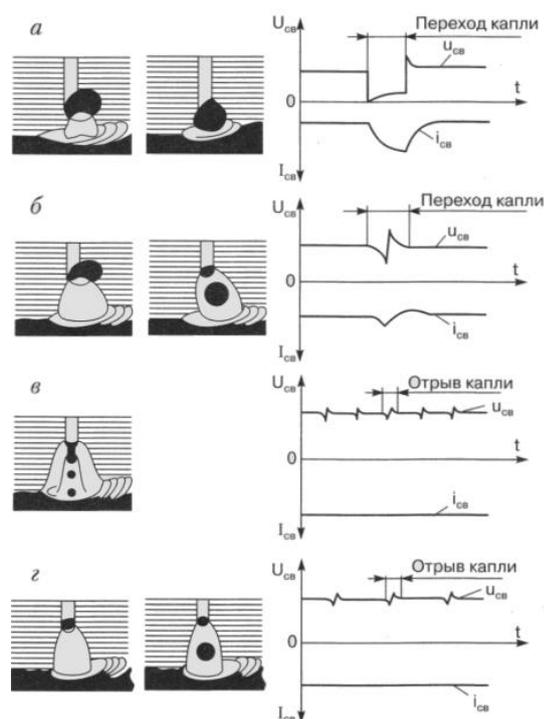
Схемы процесса на рис. 6, *а* и *б* относятся к видам электродуговой наплавки неплавящимся электродом. В этих случаях дуга прямого действия 8 горит между неплавящимся электродом 5, закрепленном в токоподводящем мундштуке 3, и наплавляемой деталью. Ванна жидкого металла 9 формируется за счет расплавления металла детали и нетоковедущей присадки 1, в качестве которой используется пруток или проволока. Пруток подается в столб электрической дуги вручную (рис. 6, *а*), а проволока - с помощью механизма подачи 11 из бункера 10 (рис. 6, *б*). Вся зона наплавки находится в атмосфере защитного газа 7, который подается из специального сопла 2, расположенного в нижней части сварочной головки 4.

Электродуговая наплавка в среде защитных газов, выполняемая плавящимся электродом, представлена на рис. 6 *в* и *г*. Аналогично предыдущим схемам, в качестве источника теплоты используется дуга прямого действия 8, горящая между плавящимся электродом 12 и ванной жидкого металла 9. В качестве непрерывного электрода используется проволока, подаваемая роликами 11 из бункера 10. Токоподвод к проволоке осуществляется с помощью мундштука 3, встроенного в корпус сварочной головки. В зону наплавки из сопла 2 подается защитный газ 7.

Выбор рода и полярности постоянного тока для наплавки в защитных газах в значительной степени зависит от вида используемого электрода. Так как в анодной области электрической дуги имеет место чисто электронный ток, то за счет дополнительной бомбардировки электронами на аноде теплоты выделяется больше, чем на катоде. Поэтому сварка неплавящимся вольфрамовым электродом проводится на прямой полярности, а сварка плавящимся электродом, как правило, – на обратной.

При наплавке плавящимся электродом дуга горит между изделием и концом непрерывно подающейся и расплавляемой электродной проволоки. Особое значение для этого вида наплавки в защитных газах имеют условия переноса расплавленного присадочного металла в наплавочную ванну. Перенос металла может происходить в виде жидких капель различных размеров. При наплавке в защитных газах капля электродного металла формируется под совместным действием сил, имеющих разную природу, а именно: силы тяжести, силы поверхностного натяжения, электродинамической силы, реакционного давления испаряющегося с поверхности капли металла газа, силы давления потоков плазмы и бомбардировки заряженными частицами. Помимо перечисленных сил в ряде случаев оказывает существенное влияние сила давления струи защитного газа. Под действием всех этих сил возможно формирование нескольких видов переноса электродного металла:

- 1) крупнокапельный с короткими замыканиями разрядного промежутка (рис. 7, а);
- 2) крупнокапельный без коротких замыканий (рис. 7, б);
- 3) перенос каплями среднего размера без коротких замыканий (рис. 7, в);
- 4) струйный перенос (рис. 7, г).



## Рисунок 7 – Параметры режимов наплавки стационарной дугой, горящей в среде в защитных газах при разных видах переноса

Вид переноса значительным образом влияет на параметры режимов наплавки, вызывая появление пиковых значений силы тока и нарушая стабильное горение дуги токов.

При крупнокапельном переносе капля сравнительно большого размера постепенно образуется на электроде и долгое время удерживается на нем. Если капля больше межэлектродного промежутка, то ее переход в ванну сопровождается короткими замыканиями и кратковременным исчезновением дуги. Такой вид переноса расплавленного металла характеризуется большими потерями на разбрызгивание, связанными с перегревом и последующим электрическим взрывом перемычки между электродом и ванной.

Формирование крупнокапельного переноса определяется действием двух сил: силой тяжести и силой поверхностного натяжения. Размер капель при крупнокапельном переносе зависит от рода защитного газа, материала и диаметра электрода, напряжения на дуге, силы тока и полярности. С увеличением силы тока уменьшается влияния силы тяжести в формировании капли и растет сжимающее действие электромагнитных сил, способствующих отделению капли от конца электрода. Благодаря этому по мере увеличения силы тока уменьшается размер капель электродного металла, изменяется характер переноса металла от крупнокапельного к средне- и мелкокапельному, а затем при определенном значении тока, называемом критическим, - к струйному. При струйном переносе жидкий металл на электроде вытянут в виде конуса, с конца которого отрываются мелкие капли. Оплавляющийся конец электрода также имеет конусообразную форму. Струйный перенос отличается высокой стабильностью размеров капель и маленьким разбрызгиванием.

## **Преимущества автоматической дуговой наплавки в среде защитных газов:**

- Основное преимущество наплавки в среде защитных газов состоит в возможности повышения производительности процесса за счет его осуществления в автоматическом и полуавтоматическом режиме;
- Наплавленный металл получается плотным. В нем содержится примерно в 20 раз меньше кислорода и в 3 раза меньше азота, чем при ручной наплавке [1].
- Высокое качество соединения при работе с разными металлами и сплавами вне зависимости от пространственного положения детали;

## **Недостатки автоматической дуговой наплавки в среде защитных газов:**

- Недостаток этого способа, присущий и другим способам с применением защитных газов, связан с невозможностью работы на открытом воздухе из-за влияния ветра на процесс наплавки [2].
- Вследствие высокого нагрева детали появляется зона термического влияния, поэтому снижается сопротивление усталости и ударная вязкость.

Автоматическая дуговая наплавка по сравнению с ручной наплавкой более производительна и обеспечивает лучшее качество наплавленного металла. При ручной наплавке потери электродов на угар, разбрызгивание и огарки достигают 25%, при автоматической наплавке они не превышают 7-8% [3]. Автоматическая дуговая наплавка обеспечивает хорошее сцепление наплавленного слоя с основным металлом, так же как и плазменная наплавка. Но для плазменной наплавки используется дорогостоящее оборудование, что делает автоматическую дуговую наплавку экономически выгодным способом. Техника наплавления в защитных газах во многом сходна с техникой наплавки под флюсом. Отличие заключается лишь в том, что вместо флюсовой защиты применяют газовую. Это позволяет наблюдать за процессом наплавки и освобождает сварщика от необходимости засыпки и

уборки флюса. Исходя из всего этого, для восстановления изношенной поверхности вала ЦНСН 38-220 применяем автоматическую дуговую наплавку в среде защитных газов.

## 2.6. Наплавочные материалы

К материалам, используемым при наплавке в защитных газах, относятся: проволоки сплошного сечения, порошковые проволоки, неплавящиеся электроды и защитные газы.

Валы насосов изготавливаются из низколегированных углеродистых сталей (сталь 40Х), следовательно, в процессе наплавки очень высок риск образования холодных трещин. Самым распространенным методом предотвращения образования трещин при наплавке считается предварительный и сопутствующий подогрев и последующий отпуск. Если подогрев невозможен, для наплавки используют аустенитные электродные материалы.

Отечественными производителями предложен новый принцип легирования материалов ферритного класса для наплавки деталей из высокоуглеродистых сталей без подогрева. Разработана порошковая проволока ферритного класса ПП-Нп-ТЗСГМ, которая обеспечивает отсутствие в наплавленном металле и зоне термического воздействия трещин всех видов, в том числе и отколов, в широком диапазоне режимов наплавки. Еще одним достоинством порошковой проволоки ПП-Нп-ТЗСГМ, является отсутствие дефицитных и дорогостоящих легирующих элементов и цена ее невысока. Механические свойства металла, наплавленного проволокой ПП-Нп-ТЗСГМ, говорят о достаточно высоком их уровне (табл. 1).

Таблица 1 – Механические свойства наплавляемого металла и металла, наплавленного порошковой проволокой ферритного класса ПП-Нп-ТЗСГМ

Марка	Механические свойства наплавленного металла					
	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	НВ	НV

ПП-Нп-ТЗСГМ	393	638	18,5	24,5	–	400
Сталь 40Х	315	590	17	40	174–217	–

Кроме того, для наплавки низколегированных углеродистых сталей широко применяются наплавочные проволоки фирмы ОК Autrod, которые содержат в себе легирующие элементы. Это значит, что наплавленный участок будет обладать более высокими механическими характеристиками, тем самым восстановление изношенной поверхности приобретает уже характер реновации – процесса улучшения структуры металла изделия. Кроме того, использование легирующих элементов при наплавке снижает риск образования различных дефектов, возникающих в процессе сварки (холодные трещины).

Высоколегированная сварочная проволока двойного назначения ОК Autrod 312 (табл. 2), обеспечивающая в наплавленном слое высоколегированную аустенитно-ферритную сталь. Первое – сварка марганцовистых аустенитных сталей, сталей с ограниченной свариваемостью, таких как закаливающиеся, броневые, пружинные, инструментальные и другие стали с высоким углерод-эквивалентом, а также сталей с неизвестным химическим составом и их сварки с аустенитными сталями, особенно если последние имеют полностью аустенитную структуру. Второе – восстановительная наплавка тел зубьев шестерен и зубчатых реек, наплавка рельсов и катков для металлургического производства, инструмента для захвата нагретых заготовок, вырубных пунсонов и матриц для тонкого алюминия и пластика. Также может применяться для наплавки переходных слоев при выполнении упрочняющей наплавки на тяжело свариваемые стали. Механическая обрабатываемость наплавленного металла очень хорошая, коррозионная стойкость очень хорошая, окалиностойкость отличная, высокая стойкость к трению металла о металл.

Таблица 2 – Проволока двойного назначения ОК Autrod 312

Название	Типичный химсостав	Типичные механические свойства	∅	Род и полярность тока
<b>ОК Autrod 312</b> MSG 9-GZ-200- CZ	C 0,15 Si 0,30-0,65 Mn 1,4-2,2 Cr 29,5-31,5 Ni 8,5-10,5 S 0,02 P 0,03	Твердость поверхности после сварки (без предварительного подогрева, межпроходная температура 150 °C) ≈ 200 НВ	0,8 1,0 1,2	Постоянный ток обратной полярности

Омедненная проволока ОК Autrod 13.90 (ОК Autrod М 55 М) (табл. 3), обеспечивающая в наплавленном слое низколегированную мартенситную сталь. Предназначена для наплавки в защитных газах поверхностей, работающих в тяжелых условиях при интенсивном абразивном и ударном износе. Рекомендуется для наплавки подающих шнеков, подающих роликов, кромок режущего инструмента, пуансонов, матриц и других изделий, подверженных интенсивному износу. Наплавленный металл можно упрочнять закалкой: нагрев до 850 °С, охлаждение в масло.

Таблица 3 – Омедненная проволока ОК Autrod 13.90 (ОК Autrod М 55 М)

Название	Типичный химсостав	Типичные механические свойства	∅	Род и полярность тока
ОК Autrod 13.90 MSG 2-GZ-50-G	С 1,0-1,2 Si 0,2-0,6 Mn 1,8-2,2 Cr 1,7-1,9 Ti 0,15-0,30 S 0,025 P 0,025	Твердость поверхности после сварки (без предварительного подогрева, межпроходная температура 250 °С) ≈ 58 HRC	1,0 1,2	Постоянный ток обратной полярности

## Раздел 3 Расчет параметров восстановления вала

### 3.1 Расчет толщины наносимого покрытия

Материал вала выбираем 40фха.

Толщина покрытия, наносимого на наружные цилиндрические поверхности определяется по формуле

$$h = \frac{U}{2} + z_1 + z_2, \quad (1)$$

Где  $h$  – толщина покрытия, мм;

$U$  – износ детали, мм;

$Z_1$  – припуск на обработку перед покрытием, мм (ориентировочно 0,1..0,3 мм на сторону), принимаем  $z_1=0,2$

$Z_2$  – припуск на механическую обработку после нанесения покрытия, мм (на сторону), (табл. 4).

Таблица 4 – Припуск на механическую обработку после нанесения покрытий

Способ получения покрытия	Припуск на сторону, мм
Ручная дуговая наплавка	1,4 – 1,7
Дуговая наплавка под слоем флюса	0,8 – 1,1
Наплавка в среде углекислого газа. Вибродуговая наплавка	0,6 – 0,8
Плазменная наплавка	0,4 – 0,6
Контактная наварка, газотермическое напыление	0,2 – 0,5
Железнение	0,1 – 0,2
Хромирование	0,05 – 0,1

$$h = \frac{U}{2} + z_1 + z_2 = \frac{2}{2} + 0,2 + 0,8 = 2 \text{ (мм)}$$

### 3.2 Автоматическая дуговая наплавка в среде защитных газов

К основным параметрам режима механизированной дуговой наплавки в защитных газах плавящимся электродом, определяемых расчетом, относятся: сварочный ток, напряжение на дуге, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки. Основные параметры: защитная

среда (газовая, шлаковая, газосшлаковая), род тока, полярность устанавливается, исходя из условий сварки конкретного изделия.

Расчет режима наплавки производится всегда для конкретных случаев, когда известен тип соединения, марка стали, защитная среда и другие данные по шву или технологическому процессу. Поэтому до начала расчета, по чертежу и рекомендациям стандартов или технических условий следует установить вид соединения, форму и размеры шва. После этого сварное соединение изображается в натуральную величину или в масштабе с сохранением оптимальных размеров по глубине провара, ширине шва, высоте выпуклости, площади сечения наплавленного металла однопроходного шва или отдельных проходов и общую площадь многопроходного шва. Необходимо учитывать, что при наплавке высоколегированных аустенитных сталей сила сварочного тока выбирается на 10...30% меньше, чем при наплавке низкоуглеродистых низколегированных сталей.

В зависимости от типа соединения последовательность расчета режима наплавки различна.

Последовательность расчета режима наплавки изложена ниже.

1. Устанавливается требуемая глубина провара при сварке с одной стороны, которая назначается исходя из технологической возможности выбранного механизированного способа наплавки (сварки в защитных газах, под слоем флюса и т.д.):  $H = 3$  мм.

2. Выбирается сила сварочного тока, обеспечивающая заданную глубину проплавления свариваемых пластин:

$$I_{св} = 100 * H / k_n, \quad (2)$$

где  $k_n$  – коэффициент пропорциональности, величина которого зависит от условий проведения сварки.

Значения данного коэффициента для средних значений тока приведены в таблице 5. При отсутствии данных в таблице для определения  $k_n$  необходимо взять в расчетном случае близкие условия выполнения сварки.

Таблица 5 – Значения коэффициента  $k_h$  в зависимости от условий проведения сварки

Марка флюса или защитного газа	Диаметр электродной проволоки, мм	$k_h$ , мм/А		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
ОСЦ – 45	2,0	1,30	1,15	1,45
	3,0	1,15	0,95	1,30
	4,0	1,05	0,85	1,15
	5,0	0,95	0,75	1,10
	6,0	0,9	–	–
АН – 348А	2,0	1,25	1,15	1,40
	3,0	1,10	0,95	1,25
	4,0	1,00	0,90	1,10
	5,0	0,95	0,85	1,05
	6,0	0,90	–	–
Углекислый газ	1,2	–	–	2,10
	1,6	–	–	1,75
	2,0	–	–	1,55
	3,0	–	–	1,45
	4,0	–	–	1,35
	5,0	–	–	1,20

$$I_{св} = 100 * \frac{3}{2,1} = 142,86 \text{ А.}$$

3. Выбирается диаметр электродной проволоки. Ориентировочно он может быть определен по формуле (3).

$$d_э = 2 * \sqrt{\frac{I_{св}}{\pi j}}, \quad (3)$$

где  $j$  – допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Допустимая плотность тока при механизированной сварке зависит от диаметра электрода (табл. 6).

Таблица 6 – Зависимость допустимой плотности тока при механизированной сварке от диаметра электрода

$d_э$ , мм	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$j$ , А/мм <sup>2</sup>	90...400	65...200	45...90	35...60	30...50	25...45

Принимаем  $j=150 \text{ А/мм}^2$ , следовательно:

$$d_э = 2 * \sqrt{\frac{142,86}{3,14 * 150}} = 1,10 \text{ мм.}$$

Диаметр электродной проволоки принимается равным  $d_э=1,2 \text{ мм}$ .

4. Для принятого диаметра электрода и силы сварочного тока определяется оптимальное напряжение дуги:

$$U_д = 20 + 50 * \frac{10^{-3}}{\sqrt{d_э}} * I_{св}; \quad (4)$$

$$U_д = 20 + 50 * \frac{10^{-3}}{\sqrt{1,2}} * 142,86 = 26,52 \text{ В.}$$

5. Зная сварочный ток, диаметр электрода и напряжение дуги, определяют коэффициент формы провара:

$$\psi_{пр} = K(19 - 0,01 * I_{св}) * d_э * \frac{U}{I_{св}}, \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент, величина которого зависит от рода тока о полярности.

При  $j \geq 120 \text{ А/мм}^2$  величина коэффициента остается неизменной (для постоянного тока обратной полярности  $K=0,92$ ).

$$\psi_{пр} = 0,92(19 - 0,01 * 142,86) * 1,2 * \frac{26,52}{142,86} = 3,60.$$

Следует учесть, что для механизированной сварки значения  $\psi_{пр}$  должны составлять 0,8...4,0. При малых значениях коэффициента провара обычно формируются швы, склонные к образованию горячих трещин, при больших – слишком широкие швы с малой глубиной провара, что нерационально с точки зрения использования теплоты дуги и приводит к увеличению сварочных деформаций. Поэтому в случае, если найденные значения  $\psi_{пр}$  выходят за рамки указанного диапазона, необходимо произвести корректировку параметров режима сварки и провести расчет заново.

6. Зная глубину провара и коэффициент формы провара, определяют ширину шва:

$$e = \psi_{пр}H; \quad (6)$$

$$e = 3,60 * 3 = 10,8 \text{ мм.}$$

Задавшись оптимальным значением формы выпуклости, т.е. коэффициентом формы усиления  $\psi_{np}$ , находят высоту валика:

$$q = \frac{e}{\psi_B}, \quad (7)$$

При этом значения  $\psi_B$  выбирают в пределах 3...10. Меньшие значения коэффициента формы валика имеют место при узких и высоких швах, которые обладают неудовлетворительной работоспособностью при переменных нагрузках. Большие значения  $\psi_{np}$  соответствуют широким валикам с небольшим усилением. Это нежелательно по тем же причинам, что и швы с чрезмерно большими значениями  $\psi_{np}$ , а так же в связи с возможным уменьшением сечения шва по сравнению с сечением основного металла из-за колебаний уровня жидкости ванны.

$$q = \frac{10,8}{3} = 3,6 \text{ мм}$$

7. Определяется площадь сечения наплавленного металла. Площадь поперечного сечения валика определяется:

$$F_B = eq\mu_B, \quad (8)$$

где  $\mu_B$  – коэффициент полноты валика.

Опытные данные показывают, что в условиях механизированной сварки под флюсом, а также в среде защитных газов, в диапазоне режимов, обеспечивающих удовлетворительное формирование шва, коэффициент полноты валика  $\mu_B$  изменяется в узких пределах и практически имеет устойчивое значение  $\mu_B = 0,73$ .

$$F_B = 10,8 * 3 * 0,73 = 23,66 \text{ мм}^2.$$

8. При приближенном расчете скорости наплавки можно воспользоваться формулой (9). При этом подразумевается постоянное соотношение длины и ширины сварочной ванны и, как следствие, связь скорости сварки и тока через эмпирический коэффициент  $A$ , зависящий от диаметра сварочной проволоки. Значения коэффициента  $A$  представлены в таблице 7.

$$v_n = \frac{A}{I_{св}}; \quad (9)$$

Таблица 7 – Значения коэффициента пропорциональности в зависимости от диаметра электрода

$d_э, \text{ мм}$	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$A \cdot 10^3, \text{ А} \cdot \text{м/ч}$	2...5	5...8	8...12	12...16	16...20	20...25	25...30

$$v_n = \frac{5 * 1000}{142,86} = 31 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$$

В результате расчета получается диапазон, в котором должны находиться значения искомой скорости сварки, для обеспечений требуемой глубины провара.

Для более точного определения скорости перемещения сварочной дуги используется методика расчета по требуемой площади сечения наплавленного металла, формула (10):

$$v_n = \alpha_n I_{св} / \gamma h s, \quad (10)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/А·ч;

$s$  – шаг наплавки, мм/об

$\gamma$  – плотность наплавленного металла,  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

Значение коэффициента наплавки  $\alpha_n$ , при определении скорости перемещения сварочной дуги рассчитывается следующим образом. При сварке в среде защитных газов величина коэффициента наплавки может существенно отличаться от величины коэффициента расплавления проволоки в связи с потерями электродного металла:

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi_n), \quad (11).$$

где  $\psi_n$  – коэффициент потерь, в относительных единицах.

Анализ экспериментальных данных, полученных при сварке в среде защитных газов проволокой Св-08Г2С показал, что величина коэффициента потерь  $\psi_n$  (%) для сварки при оптимальных значениях напряжения дуги зависит от плотности тока в электроде:

$$\psi_n = -4,7 + 17,6 * 10^{-2}j - 4,48 * 10^{-4}j^2; \quad (12)$$

$$\psi_n = -4,7 + 17,6 * 10^{-2} * 150 - 4,48 * 10^{-4} * 150^2 = 11,62 \%. \quad (13)$$

Уравнение (13) позволяет рассчитать ожидаемую величину коэффициента потерь в диапазоне плотностей тока  $j = 60 \dots 320 \text{ А/мм}^2$ . Средняя квадратичная ошибка расчета составляет 2,96 %.

Величину коэффициента расплавления можно рассчитать по формуле:

$$\alpha_p = \alpha_p^\partial + \alpha_p^m, \quad (14)$$

При этом величину вылета электрода  $l$  выбирают в пределах 20...80 мм,  $l = 60 \text{ мм}$ .

$$\alpha_p^m = 3,1 * 10^{-3} \sqrt{142,86} * \frac{60}{1,2^2} = 1,56;$$

$$\alpha_p^\partial = 12 \text{ г/А} \cdot \text{ч} \quad (15)$$

Таким образом, найдя значения  $\alpha_n$  и  $\psi_n$ , по формуле (11) определяется коэффициент наплавки:

$$\alpha_n = 13,56(1 - 0,1162) = 11,98.$$

Шаг наплавки, мм / об

$$S = (2 - 2,5) \cdot d_{np},$$

$$S = (2 - 2,5) \cdot d_{np} = 2,5 \cdot 1,2 = 3(\text{мм/об}).$$

$$v_n = 11,98 * \frac{142,86}{7,8 * 2 * 3} = 33,24 \frac{\text{М}}{\text{ч}}$$

9. Определяют скорость подачи электродной проволоки по формуле:

$$v_{св} = \frac{\alpha_p I_{св}}{\gamma F_{эл}}, \quad (16)$$

где  $F_{\text{эл}}$  – площадь поперечного сечения электрода,  $\text{мм}^2$ ;

$\gamma$  – плотность электродного металла,  $\text{г/мм}^3$ .

$$v_{\text{пэл}} = \frac{11,98 * 142,86}{7,8 * 1,2^2 * 3,14} = 48,5 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$$

### 3.3 Автоматическая наплавка под слоем флюса

Таблица 8 – Зависимость тока при наплавке от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Сила тока , а при диаметре электродной проволоки, мм	
	1,2 - 1,6	2 - 2,5
50-60	120-140	140-160
65-75	150-170	180-220
80-100	180-200	230-280
150-200	230-250	300-350
250-300	270-300	350-380

Принимаем  $I = 130 \text{ A}$ , а  $d_{\text{пр}} = 1,5 \text{ мм}$ .

Основные параметры режимов наплавки определяют по следующим формулам:

Скорость наплавки, м/ч

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot s \cdot \gamma}, \quad (17)$$

Частота вращения детали, об/мин

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \pi \cdot d} \quad (18)$$

Скорость подачи проволоки, м/ч

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \gamma}, \quad (19)$$

$$V_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 130}{3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 7,8} = 112,5 (\text{м/ч}).$$

Шаг наплавки, мм / об

$$S = (2 - 2,5) \cdot d_{np}, \quad (20)$$

Вылет электрода, мм

$$\delta = (10 - 12) \cdot d_{np}, \quad (21)$$

$$\delta = (10 - 12) \cdot d_{np} = 10 \cdot 1,5 = 15(\text{мм}).$$

Смещение электрода, мм

$$l = (0.05 - 0.07) \cdot d, \quad (22)$$

$$l = (0.05 - 0.07) \cdot d = 0,05 \cdot 53 = 2,65(\text{мм}).$$

Где  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки, г/А·ч (при наплавке постоянным током обратной полярности  $\alpha_H = 10...13$ );

$h$  – толщина наплавленного слоя, мм;

$\gamma$  – плотность электродной проволоки, г/см<sup>3</sup> ( $\gamma = 7,8$ );

$d_{np}$  – диаметр электродной проволоки, мм;

$I$  – сила тока, а;

$d$  – диаметр детали, мм.

$$S = (2 - 2,5) \cdot d_{np} = 2 \cdot 1,5 = 3(\text{мм/об}).$$

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot s \cdot \gamma} = \frac{12 \cdot 130}{2 \cdot 3 \cdot 7,8} = 33,3(\text{м/ч}).$$

$$n_\delta = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 33,3}{60 \cdot 3,14 \cdot 53} = 3,01(\text{об/мин}).$$

### 3.4 Вибродуговая наплавка

Вибродуговой наплавкой восстанавливают большую номенклатуру деталей типа “вал” и другие. Параметры режима нанесения покрытий определяют по следующим формулам:

Сила тока, А

$$I = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4} (60...75), \quad (23)$$

$$I = \frac{\pi \cdot d_{np}^2}{4} (60...75) = 75 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 132(A).$$

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч

$$V_{np} = \frac{0,1 \cdot I \cdot U}{d_{np}^2}, \quad (24)$$

Где  $d_{np}$  – диаметр проволоки, мм;

$U$  – напряжение, в ( $u = 14...20$  в);

$$V_{np} = \frac{0,1 \cdot I \cdot U}{d_{np}^2} = \frac{0,1 \cdot 132 \cdot 15}{1,5^2} = 88(м/ч).$$

Скорость наплавки, м / ч

$$V_H = \frac{0,785 \cdot d_{np}^2 \cdot V_{np} \cdot \eta}{h \cdot s \cdot \alpha}, \quad (25)$$

Где  $\eta$  – коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл ( $\eta = 0,8...0,9$ );

$h$  – толщина наплавленного слоя (без механической обработки) мм;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий отклонения фактической площади сечения наплавленного слоя от площади четырехугольника с высотой  $h$  ( $\alpha = 0,8$ );

$S$  – шаг наплавки, мм/об;

Шаг наплавки, мм/об

$$S = (1.6 \div 2.2)d_{np}, \quad (26)$$

Амплитуда колебаний

$$A = (0.75 \div 1.0)d_{np} \quad (27)$$

$$S = (1.6 \div 2.2)d_{np} = 2 \cdot 1.5 = 3(\text{мм/об}).$$

$$A = (0.75 \div 1.0)d_{np} = 1 \cdot 1.5 = 1.5.$$

$$V_H = \frac{0.785 \cdot d_{np}^2 \cdot V_{np} \cdot \eta}{h \cdot S \cdot \alpha} = \frac{0.785 \cdot 1.5^2 \cdot 88 \cdot 0.8}{2 \cdot 3 \cdot 0.8} = 25.9(\text{м/ч}).$$

### 3.5 Плазменная наплавка

Основные параметры режимов наплавки определяют по следующим формулам:

Скорость наплавки, м/ч

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot s \cdot \gamma}; \quad (28)$$

Частота вращения детали, об/мин

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \pi \cdot d}; \quad (29)$$

Шаг наплавки, мм / об

$$S = 4 - 5; \quad (30)$$

Расход порошка, мм

$$Q = 0,1 \cdot V_H \cdot S \cdot h \cdot s \cdot \gamma \cdot K_n, \quad (31)$$

$$Q = 0,1 \cdot 28,02 \cdot 0,4 \cdot 2,2 \cdot 7,8 \cdot 1,13 = 21,7 (г/с).$$

Где  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки, г/А·ч (при наплавке постоянным током обратной полярности  $\alpha_H = 10...13$ );

$h$  – толщина наплавленного слоя, мм;

$\gamma$  – плотность электродной проволоки, г/см<sup>3</sup> ( $\gamma = 7,8$ );

$d_{np}$  – диаметр электродной проволоки, мм;

$I$  – сила тока, А (значение силы тока при плазменной наплавке находится в пределах 200-230 А);

$K_n$  – коэффициент, учитывающий потери порошка ( $K_n = 1,12-1,17$ );

$d$  – диаметр детали, мм.

### 3.7 Расчет технико-экономических показателей

[Redacted text block containing multiple lines of blacked-out content]



[REDACTED]

#### **Раздел 4 Оборудование для наплавки**

В настоящее время для восстановления изношенных деталей используется в основном оборудование, оставшееся со времен СССР. Это объясняется, прежде всего, резким сокращением доли восстанавливаемых деталей. Несмотря на эффективность использования процессов восстановления изношенных деталей машин при ремонте агрегатов, например, при ремонте гидрораспределителей, компрессоров, насосов и других узлов, они используются довольно редко. Это связано, прежде всего, с дефицитом квалифицированных кадров, высокой стоимостью оборудования и его разнообразием, т.е. для каждой группы деталей необходимо использовать соответствующее оборудование, однако, учитывая широкую номенклатуру типоразмеров деталей, приобретение нескольких установок для восстановления экономически не оправдано.

С учетом реалий последних лет, казалось бы, что технологические процессы восстановления изношенных деталей устарели и не могут конкурировать с торговлей новыми запасными частями, однако опыт работы научно-производственных участков некоторых вузов показывает, что восстановление дорогостоящих деталей дорожно-строительной техники, грузовых автомобилей, оборудования нефтегазовой отрасли и сельскохозяйственных машин остается экономически эффективным и конкурентоспособным по соотношению цена–качество. Также эффективным является использование процессов восстановления изношенных деталей машин при ремонте агрегатов, например, при ремонте гидрораспределителей, компрессоров, насосов и других узлов. Несмотря на это, процессы восстановления на ремонтных предприятиях используются редко, что связано с дефицитом квалифицированных кадров, высокой стоимостью оборудования и

его разнообразием, т.е. для каждой группы деталей необходимо использовать соответствующее оборудование, однако, учитывая широкую номенклатуру типоразмеров деталей, приобретение нескольких установок для восстановления экономически не оправдано. Таким образом, актуальным остается вопрос создания блочно-модульной установки для восстановления деталей.

Наиболее многочисленными установками для восстановления изношенных деталей остаются различные наплавочные и напыляющие головки, крепящиеся на токарном станке или имеющие собственные вращатели: УД-209, У-635А, 01.06.152, ОКС-27503М, ОКС22104, ОКС22178, 01-07-021, ОКС-27432, 086093.0819, 01.05-185М, УД-417, УН-127, ЭМГ-2, ЭМП-1, 01.01-241 и др. Многие из перечисленных установок были разработаны в ВНПО «Ремдеталь». Одной из наиболее распространенных установок остается УД-209, у которой имеется собственная наплавочная головка для наплавки в среде защитных газов и под слоем флюса, а также возможность установки вибродуговых, плазменных и других устройств. Ходовой винт и направляющие сварочной тележки большинства установок размещены сзади, что открывает пространство для обзора впереди и размещения дополнительного оборудования сверху. Расположение направляющих и ходового винта сзади защищает их от воздействия охлаждающей воды, порошковых материалов, флюса и позволяет рационально разместить наплавочное оборудование. Однако такая компоновка затрудняет использование ручной подачи, оппозитного размещения наплавочных головок (для уменьшения коробления) или роликовых электродов при электроконтактной приварке.

Из современных наплавочных установок можно отметить установки ООО «НАВКО-ТЕХ» (г. Киев) с программным управлением механизмами и устройствами, предназначенными для автоматической наплавки цилиндрических, конических, плоских поверхностей.



Рисунок 8 – Универсальная установка АС354-2 для наплавки цилиндрических и конических поверхностей и пуль управления

Установка предназначена для автоматической наплавки цилиндрических и конических поверхностей габаритных изделий, в частности, износившихся посадочных поверхностей роторов электродвигателей одной или одновременно двумя горелками.

Наплавляемые материалы: углеродистые стали (Сталь 20, 30,40,45,50), легированные стали (20Х, 40Х, 40ХН, 18Х2Н4А, 40ХН2МА) и стали 20Г, 40Г.

Способ наплавки – плавящимся электродом в среде защитного газа (МИГ/МАГ-сварка) сплошной или порошковой проволокой. Наплавка выполняется по спирали с регулируемой скоростью как без, так и с колебаниями.

Состав установки:

- Платформа, опоры;
- Механизм линейного перемещения горелки (X), 2 шт.;
- Механизм линейного перемещения горелки (Z), 2 шт.;
- Вращатель изделия;

- Фиксатор изделия перемещаемый;
- Опора изделия перемещаемая, 2 шт.;
- Сборочно-сварочное приспособление;
- Шкаф управления (размещен в корпусе вращателя);
- Пульт оператора;
- Комплект сварочного оборудования, 2 шт.

Таблица 11 – Технические характеристики установки АС354-2

Напряжение питания	~3x380 В
Суммарная потребляемая мощность (без сварочного оборудования)	4 кВт
Грузоподъемность вращателя	1500 кг
Крутящий момент	400 Нм
Скорость вращения планшайбы	0,7...8 об/мин
Максимальный подводимый сварочный ток	1000 А
Диаметр наплавляемой поверхности	50...800 мм
Диаметр изделия максимальный	1600 мм
Привод вращения	Частотный преобразователь
Количество инструментов (горелок)	2 шт.
Управление перемещением инструмента	Одновременное, поочередное
Ход каретки линейного перемещения X	1500 мм
Скорость перемещения по X	0,05...100 мм/с
Ход каретки линейного перемещения Z	700 мм
Скорость перемещения по Z	0,02...40 мм/с
Грузоподъемность	1500 кг
Привод перемещения по X и Z	Сervoпривод
Амплитуда колебаний	0...50 мм
Период колебаний	0...20 с
Время остановки колебаний в крайних положениях	0...5 с
Привод механизма фиксации изделия	Пневматический
Давление сжатого воздуха	0,2...0,4 МПа
Габаритные размеры установки (ДxШxВ)	4000x3000x2500 мм

Установка обеспечивает:

- Программное управление всеми механизмами и устройствами установки, а также диагностику их состояния от контроллера.
- Управление установкой от компактного переносного пульта.
- Контурное управление перемещением одной или одновременно двумя горелками по линейной траектории (образующие цилиндрической или конической поверхностей) с заданием требуемых линейной скорости инструмента и окружной скорости наплавляемого изделия, а также параметров колебаний горелки относительно линейной траектории.
  - Способ программирования траектории «от точки к точке», т. е. с перемещением горелки с помощью переносного пульта в начало и конец наплавляемого участка и автоматической записью координат этих точек в память контроллера.
  - Формирование библиотеки предварительно записанных для 2-х комплектов сварочного оборудования параметров режима наплавки.
  - Наплавку с колебаниями инструмента и плавным регулированием амплитуды и периода колебаний, продолжительности задержки горелки в крайних точках колебаний.
  - Одновременное управление 4-мя сервоприводами перемещения 2-х горелок и приводом вращения изделия.
  - Плавное регулирование параметров режима сварки.
  - "Горячее", т. е. в процессе наплавки, редактирование параметров (скорость наплавки, шаг наплавки, амплитуда и период колебаний, задержка горелки в крайних точках колебаний).
  - Быструю переналадку под наплавку изделий различных типоразмеров.

Также производством наплавочных установок занимаются Челябинский завод Агромаш (установки У653А, ОКС22104, ОКС22178); НПО «ТОМ», г. Москва (установки для наплавки ТОМ-14, 16, 17, «Пунар» и для напыления – ЭДМ-5У, РЭМ-14); ИП «Логачев», г. Челябинск (установки

ОКС-22178, ОКС-22084, ОКС-22204; ОКС-22104, У-653А), ОКБ «Булат», г. Москва; Зеленоград специализируется на разработке и производстве лазерного оборудования, в том числе и для наплавки; ОАО «Ильницкий завод механического сварочного оборудования» (установки УН, УНЭД, РМ-04, 05, 10); ООО «Экосервис», г. Пенза (установки УСН на базе токарного станка и НС-ФГ); «РЕММАШ2, г. Днепропетровск (установки УН-УЭДН, РМ-04, 05, УСВФ-1, 2); ЗАО НПО «Техноплазма», г. Москва; НПО «Плазмоцентр», г. Санкт-Петербург; НПО «Гакс-Армсервис», г. Пенза, производит сварочно-наплавочное оборудование марок ГАКС-Н. Для восстановления малогабаритных деталей в Саранском институте механики и энергетики сконструировали небольшой вращатель. Из зарубежных установок для сварки и наплавки можно отметить вращатели итальянской компании «МВ». Перечисленные предприятия также восстанавливают изношенные детали машин, однако отдельные предприятия занимаются только восстановлением, например, ООО «Плазма-плюс», г. Воронеж.

Вышеперечисленные установки могут удовлетворить практически любые запросы по восстановлению изношенных деталей машин. Так, минимальный диаметр восстанавливаемых деталей на предлагаемых наплавочных установках составляет 10 мм, а максимальный 2000 мм. Длина наплавляемых деталей может достигать 5...7 м, масса до 8000 кг.

Основным преимуществом современных наплавочных установок является обеспечение программируемого управления и автоматизации процессов, но, как видно из рисунков, на некоторых из них затруднительно одновременно охлаждать зону наплавки и собирать осыпавший флюс, например, при наплавке под слоем флюса. Главными недостатками являются высокая стоимость и низкая универсальность. Учитывая, что объемы восстановления изношенных деталей машин на сегодняшний день незначительны, было бы целесообразно иметь одну установку для различных типоразмеров деталей, так как любое ремонтное предприятие старается охватить более широкую номенклатуру деталей, чтобы на одном и том же

вращателе можно было установить различные устройства, например, наплавочную установку и установку для электроконтактной приварки.

Кроме того, некоторые предлагаемые установки на базе токарных станков не позволяют устанавливать крупногабаритные изделия, что ограничивает их использование. Стоимость установок тоже очень разнится, например, наплавочные установки производства НПО «ТОМ» стоят от 300 тыс. до 1 млн руб., а для крупногабаритных изделий до 2,5 млн. руб. Стоимость установок производства «Агроماش» 800...830 тыс. руб., а ИП «Логачев» продает установки по цене более 1,2 млн. руб. Наибольшую долю (50...85 %) от стоимости наплавочной установки занимает вращатель (исключение составляют только электроконтактные и лазерные установки), например, вращатель установки АС-354-2 стоит 1,7 млн руб., вращатель поменьше, АС-371, – 1 млн руб. Такая цена неоправданно высокая. Предварительный расчет показывает, что вращатель можно изготовить по отпускной цене до 300 тыс. руб. со следующими техническими характеристиками: максимальный диаметр восстанавливаемой детали 600 мм, длина 1500 мм, масса до 250 кг, а при диаметре детали менее 100 мм максимальная длина может достигать 4 м.

Для восстановления изношенных поверхностей валов центробежных насосов предлагается использовать в качестве основного оборудования токарно-винторезный станок фирмы JET серии ZH (GH-26120ZH), который позволит максимально автоматизировать процесс наплавки изношенных шеек вала. Кроме того, появляется возможность использовать такую установку в роли токарного станка, обрабатывая восстановленную поверхность после наплавки. Технические характеристики этой модели станка позволяют производить ремонтно-восстановительные работы широкой номенклатуры деталей машин, что, прежде всего, связано с возможностью обработки деталей длиной до 3 м и диаметром до 660 мм. Технические характеристики токарно-винторезного станка GH-26120ZH представлены в таблице 12 [5].



Рисунок 9 – Токарно-винторезный станок JET GH-26120ZH

Таблица 12 – Технические характеристики токарно-винторезного станка JET GH-26120ZH

Диаметр обточки над станиной	660 мм
Максимальный диаметр вращения, гар (съёмный мостик)	870 мм
Диаметр обточки над поперечным суппортом	420 мм
Длина съёмного мостика	240 мм
Расстояние между центрами	3050 мм
Частота вращения шпинделя	36 – 1600 об/мин
Конус шпинделя	Ø 113 мм 1:20
Присоединение шпинделя, Camlock	D1-8 (DIN 55029)
Проходное отверстие шпинделя	105 мм
Продольная подача	0,063 – 2,25 мм/об
Поперечная подача	0,027 – 1,07 мм/об
Метрическая резьба	1 – 14 мм
Дюймовая резьба	28" - 2" TPI
Модульная резьба	0,5 – 7 MP
Питчевая резьба	56 – 4 DP
Максимальный размер резца	25x25 мм
Ход поперечного суппорта	310 мм
Ход верхнего суппорта	145 мм
Ускоренное перемещение продольного суппорта	4,5 м/мин
Ускоренное перемещение поперечного суппорта	2,0 м/мин
Пинопль задней бабки	МК – 5

Ход пиноли задней бабки	150 мм
Рабочий диаметр неподвижного люнета 1	20 – 125 мм
Рабочий диаметр неподвижного люнета 2	100 – 240 мм
Рабочий диаметр подвижного люнета	20 – 100 мм
Ширина направляющих поперечного суппорта	135 мм
Расстояние между направляющими	405 мм
Выходная мощность	7,5 кВт/S <sub>1</sub> 100%
Потребляемая мощность	12,0 кВт /S <sub>6</sub> 40%
Габаритные размеры (ДхШхВ)	4500х1280х1450 мм
Масса	4250 кг

Для осуществления самого процесса автоматической дуговой наплавки используется инверторный сварочный аппарат серии Р. Серия Р доступна в двух вариантах: Р basic и Р synergic. Оба варианта имеют прочный промышленный корпус и высокоточную 4-роликовую подачу. Р basic обеспечивает все функции, необходимые для действительно хорошей сварки MIG/MAG. Р synergic является вариантом управления, который помогает сварщику MIG/MAG решать сложные задачи. Синергетическое управление делает использование очень простым, все сварочные параметры можно регулировать по своему усмотрению.

Описание серии Р:

- цифровая регулировка для более надежного и быстрого зажигания без образования брызг
- автоматическая регулировка длины сварочной дуги для компенсации неровностей, например точек прихватки
- автоматическая плавная регулировка сварочного дросселя для изменения динамических свойств дуги с применением различных газов (в том числе для CO<sub>2</sub>)
- чистый край шва благодаря заполнению конечного кратера

## **Раздел 5 Технические требования, предъявляемые к валам, методы их обеспечения и контроля**

### **5.1. Технические требования**

К валам, которые устанавливаются в коробках скоростей, насосах, редукторах и других механизмах станков нормальной точности, предъявляются следующие требования:

1. в пределах 6-го качества (поле допуска h6, js6, k6 и др.) должна быть точность шеек под подшипники качения и зубчатые колеса;  $Ra = 0,8-0,4$  мкм – шероховатость;
2. приблизительно 0,25–0,5 – составляет допуск цилиндричности и круглости шеек под подшипники;
3. (0,01–0,03 мм) – составляет допуск радиального биения шеек под зубчатые колеса сравнительно шеек под подшипники;
4. 0,01–0,02 мм – составляет допуск соосности шеек под подшипники;
5. 0,03–0,05 мм – составляет допуск симметричности боковых сторон шпоночных канавок и зубьев шлицевых поверхностей относительно общей оси подшипниковых шеек.

### **5.2. Методы обеспечения технических требований**

С помощью шлифования в центре на круглошлифовальных станках класса Н достигается шероховатость  $Ra = 0,8-0,4$  мкм и точность диаметров шеек 6-го качества. После чистого точения выполняют данную операцию. При правке, исключаяющей вибрации, а также шлифовании кругами, подвергнутыми точному уравниванию, обеспечивается жёсткий допуск на отклонение от цилиндричности и круглости.

Необходимо установить стол таким образом, чтобы направление оси центров вала с большой точностью совпадало с направлением его продольного перемещения. На кругло-шлифовальных станках для такой цели имеется механизм поворота стола с заготовкой с микронной точностью. Для того чтобы исключить радиальное биение и обеспечить соосность шеек, а также их шлифование необходимо выполнять с одного установа. Тем не менее ввиду того, что на кругло-шлифовальных станках центры не вращаются, шлифование шеек выполняется за два и более установов, тем самым обеспечивая высокую степень соосности и, а значит и допуск на радиальное биение.

Относительно оси вала симметричность боковых сторон шпоночных канавок в партии деталей обеспечивается использованием приспособлений с базированием вала на призме при фрезеровании канавки. В данном случае следует добиться совпадения оси фрезы и оси вала по первой детали, при наладке фрезерного станка. При правильном взаимном расположении инструмента с осью вала при наладке достигается симметричность боковых сторон зубьев шлицевых поверхностей на шлицефрезерных и шлицешлифовальных станках.

Контроль точности элементов валов. Универсальными измерительными калибрами и инструментами осуществляется контроль в среднесерийном производстве. Микрометрами или рычажными скобками при цене деления рычажной шкалы 0,002мм и калибрами-скобками измеряются шейки точностью 6-го и 7-го квалитетов, при этом допуск цилиндричности и круглости может меняться. Микрометры с ценой деления 0,01 мм измеряют шейки 8–9-го квалитетов. Штангенциркулем с ценой деления нониуса 0,1–0,05 мм измеряют шейки 10-го квалитета.

В приспособлениях с центром или на призме при помощи индикаторов с ценой деления 0,01–0,002 мм в зависимости от заданного допуска измеряется отклонение от соосности шеек и радиальное биение. При

этом комплексными калибрами-кольцами проверяется симметричность боковых сторон шлицевой поверхности и шпоночной канавки.

### **5.3. Отделочная обработка валов**

Отделочная обработка основных базирующих шеек вала и торцов шеек, которые определяют положение вала и деталей которые расположены в нем. Именно это операция наиболее влияет на конечную точность вала.

Что бы на указанной поверхности добиться точности необходимо шлифование как в центре, так и бесцентровом шлифование.

На кругло-шлифовальных станках ЗК12 происходит шлифовка валов кругами с зернистостью 25П-32П, твёрдостью СМ1-СМ2.

В зависимости от диаметра вала  $D$ , его длины  $L$  и их соотношения валы шлифуют методом продольной подачи, глубинным методом и методом врезания, т.е. методом поперечной подачи. Методом продольной подачи шлифуют валы большой длины за несколько рабочих ходов с глубиной резания  $t = 0,03-0,1$  мм на ход или двойной ход стола (рис. 10, а).

Методом глубинного шлифования (рис. 10, б) обрабатывают шейки жёстких валов при  $L/D < 10$ . Особенностью глубинного шлифования является повышенная глубина резания  $t = 0,1-0,4$  мм и подача  $S = 1-6$  мм/об, что позволяет обрабатывать деталь за один-два рабочих хода. Благодаря этому метод глубинного шлифования более экономичен.

Когда ширина  $B$  круга больше длинны шлифуемой поверхности используется метод врезания. На бесцентрово-шлифовальных станках осуществляется шлифование врезанием и шлифование продольной подачей. Большая точность обработки является особенностью бесцентрового шлифования, так как в фрезерно-центровальной операции не возникает погрешность изготовления центровых отверстий, но при этом невозможно добиться достаточно точной соосности отдельных шеек вала.

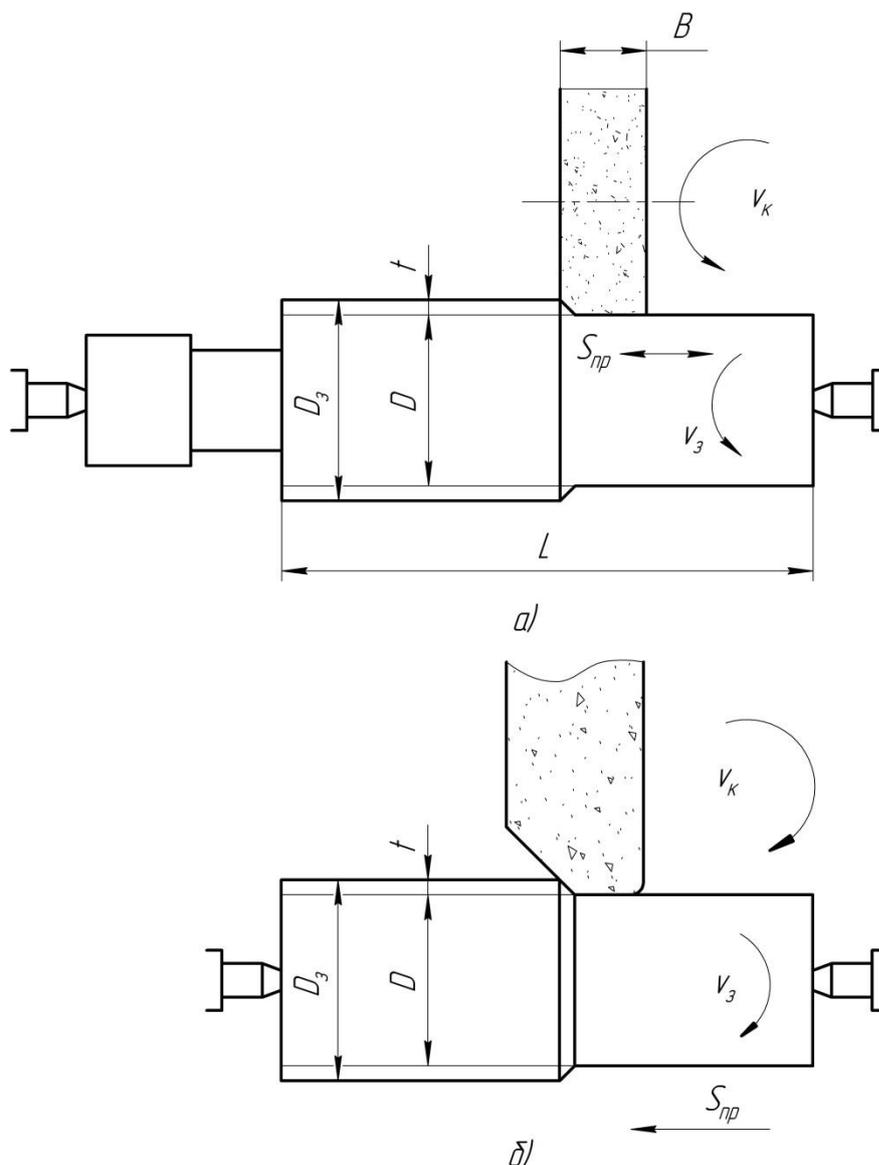


Рисунок 10 – Схемы наружного круглого шлифования в центрах с продольной подачей (а) и глубинное шлифование (б):

$D_3$  – диаметр заготовки до шлифования;  $D$  – диаметр детали после снятия припуска  $t$ ;  $S_{пр}$  – продольная подача;  $v_3$  – скорость вращения заготовки;  $v_k$  – скорость круга

Помимо шлифования отделочной обработке так же подвергаются наиболее ответственные поверхности: притирка, суперфиниш, обкатка роликом и полирование.

Для того что бы осуществить притирку необходимы притиры. Пасту или шлиф-порошок, смешанный со смазочным материалом наносят на поверхность притир. Для шлифовального материала применяют электрокорунд, алмазную пыль, наждачную бумагу и др. Так же необходимо

смачивать керосином шлифовальный порошок во время притирки. 0,005 – 0,02 мм – составляет припуск на притирку.

Для того что бы получить наименьшую шероховатость необходимо применять суперфиниш для обработки как наружных, так и внутренних цилиндрических поверхностей. Абразивные бруски по поверхности вращающейся заготовки совершают с большой частотой колебательные возвратно-поступательные движения, именно так производят суперфиниш. Суть процесса заключается в том что бы снять гребешки, которые остались от предыдущей обработки, таким образом припуск на суперфиниш не оставляют. Между тем размеры меняются на 1–2 мкм.

Процесс полирование сглаживает неровности на поверхности, при этом не снимая слоя металла или снимаю совсем незначительную его часть. Таким образом, полирование придает поверхности зеркальный блеск. Для полирование применяются войлочные круги, при применение электрокорундовых микропорошков с зернистостью M20–M14.

Для того чтобы повысить долговечность деталей, которые работают при знакопеременной нагрузке необходимо снизить концентрацию напряжения с помощью обкатывания цилиндрических поверхностей роликами. Так же в данном процессе улучшается шероховатость обрабатываемой поверхности с  $Ra$  — 5 мкм до 0,32 мкм.

## Раздел 6 Балансировка валов

Дисбаланс — одно из самых опасных явлений, которое действует на все вращающиеся детали в машинах, в том числе и на валы центробежных насосов. Его внешними признаками являются повышенные вибрации, которые при разной частоте вращения могут усиливаться или уменьшаться. Эти проявления вызывают дополнительные нагрузки на детали, ослабляют крепеж, что ведет к ускоренному износу и поломкам.

Среди основных причин появления дисбаланса можно назвать:

- неточность изготовления деталей;
- неоднородность материала детали;
- неточное центрирование сопряженных деталей;
- увеличенные зазоры в сопряжениях деталей и узлов и несоосность их монтажа;
- деформации валов при механической и термической обработке, а также из-за повреждений в процессе эксплуатации.

У любой вращающейся детали по той или иной причине центр массы находится не на оси вращения, а смещен от неё на расстояние  $R$  (так называемый эксцентриситет). В этом случае имеется дисбаланс, равный произведению массы детали  $M$  на величину эксцентриситета  $R$ . При массе детали  $M=1$  кг и эксцентриситете  $R=3$  мм дисбаланс будет равен 3000 гмм. При вращении детали будет возникать центробежная сила  $F$ , вызывающая вибрацию. Эта сила пропорциональна дисбалансу и квадрату угловой скорости детали, а также зависит от жесткости соответствующего узла. Поэтому с теоретической точки зрения балансировка состоит в том, чтобы создать у детали дисбаланс, равный по величине (модулю) и противоположный по знаку

исходному дисбалансу. Сумма этих дисбалансов (результатирующий дисбаланс) будет равна нулю, а значит, деталь сбалансирована, и при вращении вибрации не будет.

## **6.1. Выбор балансировочного станка**

Для балансировки восстановленного вала центробежного насоса предлагается использовать балансировочные станки компании «ДИАМЕХ 2000». «ДИАМЕХ 2000» на сегодняшний день один из ведущих производителей промышленного балансировочного оборудования и виброизмерительной аппаратуры.

Говоря о конструкции балансировочного станка, обычно подразумевают два основных типа станков: дорезонансный тип станка – с жесткими опорами. Балансировка выполняется по динамическим реакциям в опорах (измеряются силы) и станок зарезонансного типа с податливыми опорами, на котором балансировку проводят, измеряя непосредственно смещение главной центральной оси инерции относительно оси вращения ротора (измеряются перемещения).

Несмотря на единство конечной цели – уравнивание ротора, т.е. совмещение главной центральной оси инерции ротора с его осью вращения за счет установки корректирующих грузов или снятия массы, станки двух типов имеют принципиальные различия в методиках балансировки.

### **6.1.1 Дорезонансные (с жесткими опорами) балансировочные станки**

Методика балансировки на жестких станках предусматривает обязательную процедуру калибровки опор станка эталонным ротором для минимизации инструментальной погрешности станка, а балансировочные грузы вычисляются по геометрическим параметрам ротора.

Это и обеспечивает простоту настройки станка перед балансировкой, но увеличивает методическую погрешность, обусловленную отличием эталонного ротора от реального объекта балансировки.

В процессе эксплуатации происходят различные негативные процессы, которые приводят к изменению жесткости опорных стоек, меняются параметры различных электронных компонентов.

Поэтому для станков с жесткими опорами настоятельно рекомендуют приобретать вместе со станком средства калибровки – дорогостоящие эталонные роторы и хотя бы раз в год, а лучше перед каждой отечественной балансировкой выполнять проверку (аттестовывать) станки этими роторами, а для обеспечения точности выполнять калибровку.

На станке дорезонансного типа точность балансировки быстро растет с увеличением частоты вращения ротора, но при этом станок выходит из рабочего диапазона, который ограничен массой ротора и жесткостью опор станка, а для снижения приемлемой точности уравнивания на низких частотах вращения станки должны быть установлены на специальные массивные виброизолированные фундаменты.

Из-за особенностей конструкции приходится использовать ролики с бомбированной поверхностью, что приводит к накатке шеек из-за малого пятна контакта и высоких контактных напряжений.

### **6.1.2. Зарезонансные (с мягкими опорами) балансировочные станки**

Балансировочные станки зарезонансного типа лишены этих недостатков, процесс определения коэффициентов влияния (т.е. калибровка) происходит на каждом типе балансируемого ротора, или, при необходимости, на каждом балансируемом роторе.

При этом отсутствует методическая и устраняется инструментальная погрешность, так как калибровка проводится непосредственно перед балансировкой. Калибровка несколько удлиняет процесс балансировки, что можно отнести к единственному *"недостатку"* данного метода балансировки, но повышает точность измерений.

Кроме этого собственная частота податливой опоры станка зависит только от длины маятниковой подвески и не зависит от массы балансируемого ротора, поэтому балансировка возможна в широком диапазоне балансируемых масс.

Точность балансировки в зарезонансной области определяется точностью измерения амплитуды колебаний опор, которая не зависит от частоты вращения балансируемого ротора. Частота вращения ротора может выбираться в широких пределах исходя только из технологических соображений.

Резюмируя, можно сказать следующее, балансировочные станки зарезонансного типа имеют ряд существенных преимуществ, а именно, возможность балансировки любых роторов с высокой точностью во всем заявленном частотном диапазоне, отсутствие накатки шеек, большой диапазон масс балансируемых изделий, отсутствие у станка специального фундамента, малые мощности привода, быстрый монтаж и ввод в эксплуатацию, отсутствие необходимости приобретения дорогих эталонных роторов. Следовательно, для балансировки вала центробежного насоса рационально использовать зарезонансный балансировочный станок серии ВМ. Так как масса ротора магистрального центробежного насоса находится в промежутке до 1000 кг, следовательно, для балансировки таких роторов требуется балансировочный станок грузоподъемностью до 1000 кг серии ВМ-1000 (рис. 11).



Рисунок 11 – Балансировочный станок зарезонансного типа серии ВМ–1000

## **6.2. Конструкция балансировочных станков серии ВМ**

### **6.2.1 Опоры балансировочного станка серии ВМ**

Конструктивно станки серии ВМ выполнены по схеме с шарнирными податливыми опорами, работающими в зарезонансной области. В основу конструкции заложен принцип маятника, который фактически является механическим фильтром.

Такая конструкция позволяет эффективно выделить полезный сигнал датчика вибрации на частоте вращения ротора и отделить его от паразитных колебаний окружающей среды.

Именно такая конструкция позволяет отказаться от дорогостоящего фундамента и достигать высокой точности уравнивания даже при установке станка на обычный цеховой пол в помещениях с повышенным вибрационным фоном, например, в цехе насосной станции на нефтепроводе.

При этом вибрация рядом находящихся работающих агрегатов не влияет на точность уравнивания.

### **6.2.2 Роликовый блок**

Специальная конструкция роликового блока, представляющая собой двухосевой шарнир, позволяет роликам самоустанавливаться и обеспечивать постоянный линейный контакт между роликами и опорной поверхностью шейки ротора.

Такая конструкция полностью исключает накатку шеек и позволяет осуществлять режим прогрева ротора на станке, требуемый для стабилизации состояния ротора при длительном хранении, а также не требует строгого горизонтирования ротора при его укладке на станок.

Эта высокотехнологичная конструкция, является уникальной разработкой компании «ДИАМЕХ 2000», содержит целый ряд высокоточных элементов и обеспечивает высокую точность уравнивания.

### **6.2.3 Специальные укладчики**

Станки всех моделей серии ВМ, начиная со станка модели ВМ–300, снабжены специальными укладчиками, позволяющими обеспечить плавную укладку ротора на станок.

Укладчики надежно предохраняют опорную систему станка от перегрузок при ударах, ошибках крановщика и других нестандартных ситуациях. Балансировочный станок модели ВМ–8000 оснащен электрическими укладчиками, управляемыми дистанционно.

### **6.2.4 Привод**

Основным видом привода на станках серии ВМ является ременный с регулируемым натяжением ремня. Этот вид привода делает станок универсальным и пригоден для большинства роторов различной конфигурации.

В ряде случаев станок снабжен комбинированным карданно-ременным приводом, который применяется, например, при балансировке некоторых типов роторов газовых турбин, осевых вентиляторов с большим моментом сопротивления вращению или отсутствием поверхностей для установки ремня.

### **6.2.5 Специальная оснастка**

Практика уравнивания различных роторов показывает, что к балансировке каждого типа ротора нужен индивидуальный подход.

Требуется тщательная проработка укладки ротора на станок, в ряде случаев возникает необходимость балансировки роторов в сборе с собственными подшипниками и даже в собственных корпусах.

Одно из основных отличительных преимуществ зарезонансных балансировочных станков – возможность производить балансировку с высокой точностью при сравнительно небольших оборотах.

Точность балансировки в зарезонансной области определяется точностью измерения амплитуды колебаний опор, которая не зависит от частоты вращения балансируемого ротора. Частота вращения ротора может

выбираться в широких пределах исходя только из технологических соображений.

### **6.2.6 Отсутствие необходимости в специальном фундаменте и виброизоляции**

Все балансировочные станки серии ВМ устанавливаются на обычный пол в цехе, не требуется также крепление станка анкерными болтами к полу. Это преимущество, во-первых, значительно снижает стоимость строительно-монтажных работ, а, во-вторых, делает станок транспортабельным, что позволяет без особого труда доставить станок к месту проведения ремонта.

Все балансировочные станки серии ВМ комплектуются новейшей измерительной системой пятого поколения «САПФИР–3». Наряду с непревзойденной точностью эта измерительная система была разработана, чтобы уменьшить время, необходимое для выполнения операции балансировки за счет простоты использования и скорости измерения. Технические характеристики зарезонансного балансировочного станка серии ВМ–1000 представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технические характеристики балансировочного станка ВМ–1000

Максимальная масса ротора, кг	1000
Минимальная масса ротора, кг	10
Максимальный диаметр ротора при опорных шейках min диаметра, мм	2000
Диаметр опорных шеек ротора, мм	15...280
Расстояние между серединами опорных шеек ротора, мм min max	
	70
	2700
Тип опор	зарезонансного типа, маятниковые
Минимально достижимый остаточный дисбаланс, г·мм/кг	0,1
Частота вращения при балансировке, об/мин	350...1500
Тип электродвигателя	переменного тока, с регулируемой частотой

Мощность электропривода, кВт	2,2
Элемент, передающий вращение	ремень
Приборное оснащение	измерительная система САПФИР-3
Длина основания, мм	3000
Масса станка, кг	1320

## Заключение

1. В результате работы были проанализированы способы наплавки для восстановления вала центробежного насоса.
2. Рассмотрены механические свойства наплавленного металла.
3. На основе расчетов основных параметров наплавки и технико-экономического критерия было определено, что дуговая наплавка в среде защитных газов является самым рациональным способом для восстановления вала ЦНС 38-220.
4. Затраты на устранение дефекта вала методом автоматической дуговой наплавки равны 8406,85 руб.
5. Рассмотрено оборудование для наплавки.

Приложение А  
(«справочное»)

Раздел 2  
Выбор способа наплавки

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ4А	Лосев Всеволод Алексеевич		

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Айкина Т.Ю.	к.ф.н.		

## Types of overlay welding techniques

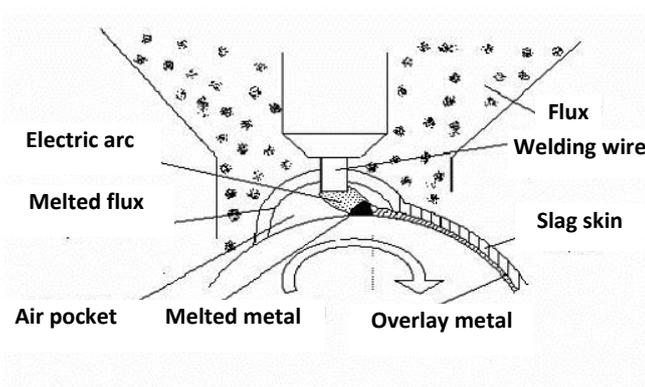
Overlay welding involves using a welding unit to apply a layer of metal on the steel surface with subsequent crystallization and conditioning to the required properties and dimensions.

There are several types of overlay welding techniques which differ in their technical specifications:

- by degree of mechanization – manual, mechanized, semi-automatic, and fully automatic
- by steel protection method – submerged (flux) welding; overlaying under molten electrode which can be executed in vacuum or in the shield gas environment
- by welding procedure – continuous or gap welding

### 1. Submerged (flux) welding

During submerged overlay welding the arc between the electrode and the steel work piece is protected by a layer of 20-40 mm thick melted flux. Note that flux is melted by using the same arc.

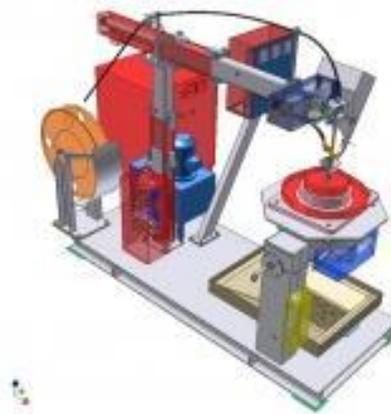


**Fig.1** Submerged overlay welding diagram

Flux is required to shield the metal from the ambient air and prevent oxidation. It also prevents the molten metal from spattering and keeps the heat inside. As a result using flux allows saving metal material and improves welder's performance.

As a rule a simple uncoated welding wire is used as an electrode during submerged welding. Wire diameter depends on the welding task and may vary from 1 to 6 mm.

Most often a reversed polarity current is used during submerged welding – “+” from electric source is transmitted to the welding wire; “-“ goes to the welded surface. To further increase output of this technique welders often use strip electrodes or even two wires at the same time fed by two semiautomatic devices



**Fig.2** Welding wire feeder machine

### **Advantages of submerged overlay welding**

Submerged welding is the most popular welding technique due to a number of advantages, including as follows:

- High performance. It is especially effective when overlay welding is required on a large surface of a workpiece which has a relatively simple form.
- Easy to weld. Submerged welding does not require a highly qualified welder with an extensive experience in this type of welding.
- High quality. With submerged welding the overlay bead exterior has a highly esthetic look which may be very important for the overall look of the welded workpiece. In addition, the overlay bead is very strong and will be highly reliable during operation.
- Welder's safety. Weld arc is shielded by the flux preventing metal spattering protecting the welder against burns.

### **Disadvantages of submerged overlay welding**

Alongside with apparent advantages the submerged overlay welding has some downsides:

- Expensive equipment. As a rule submerged welding is more costly than manual arc welding which uses coated rod electrodes.
- Large area of heated surface. Because of that submerged method cannot be used for overlay welding on small parts especially when these parts have complex and irregular form.
- One more downside of this method which is often highlighted, is a negative impact on the fatigue life of the welded piece, which in some cases may reach 40%.

Despite all downsides the submerged overlay welding remains the most popular welding technique mostly because it enables saving of both metal material and power which leads to lower cost of the end product.

## **2. Plasma Transfer Arc (PTA) overlay**

PTA overlay is an up-to-date technique used to weld wear-resistance coating on working surfaces when fabricating or restoring equipment parts.

Plasma is defined as a highly ionized gas at very high temperature consisting of molecules, atoms, ions, electrons, photons etc. Channeled gas gets ionized under heat generated by arc charge while electric field shapes the plasma jet. Gas can be ionized in a high frequency electrical field. Gas is fed under 2-3 atm. Electrical arc may reach 400-500A force and 120-160V. Temperature of Ionized gas may reach 10-18K<sup>0</sup>C, jet velocity – up to 15K m/sec. Plasma jet is generated by special plasma generators. Tungsten electrode is used as cathode.

Workpiece surface will require a more thorough preparation compared to a regular arc or gas welding, because foreign particles deteriorate the weld strength. For this reason the workpiece should be mechanically treated (facing, grinding, sand blasting) and degreased in some cases. Arc power should be adjusted to prevent overheating of the workpiece and keep the base metal on the edge of melting. PTA is widely used to ensure temperature resistance in glass industry, to prevent corrosion

on valves and fittings, to enhance strength of working surfaces of mechanical parts operated under heavy loads.

There two techniques of PTA overlay welding:

- Using a rod/wire/strip as filler material in plasma jet
- Using powder blend which solidifies and is transmitted to the overlay surface by gas

Plasma jet may have different setup:

- Closed jet. Mostly used for powder cladding, shoothing, and tempering. Arc uses lower flame intensity due to high heat emission. Plasma torch channel or nozzle is used as anode.

- Open jet. More heat is transmitted to the workpiece. Rods or the heated piece itself may be used as anode. Open jet is recommended when applying shielding coatings or cutting.

- Combined. This setup is made specifically for powder PTA overlay welding. Two arcs are used at the same time. Anode is connected to the nozzle and to the workpiece.

Most of today factories use combined units for powder PTA overlay welding. These units melt the metal powder between the nozzle and tungsten electrode. Arc flame between the workpiece and electrode heats up the overlay material. This allows for a high quality and fast fusion of the base metal and overlay material.

A combined plasma generator ensures minimal content of base metal in the overlay coat and lowest weld penetration. These two features are recognized as primary technical advantages of PTA overlay.



**Fig.3** Combined action plasma generator used for overlay welding

Inert gas is used to shield the welded coat from the ambient air. Gas is fed to the generator nozzle where it wraps the arc. The inert carrier gas delivers powder filler supplied from a special feeder.

A standard combined action plasma generator used for overlay welding and powder cladding consists of the following components:

- Two power sources (for the primary and secondary arcs)
- Powder feeder
- Ballast resistance
- Gas feeder opening
- Nozzle
- Spark injector
- Torch enclosure
- Carrier gas feeder tube

#### **Advantages of PTA overlay**

- Plasma jet enables cladding several layers of materials with different properties (because of that different coats may be applied to the metal all of which will have unique protective properties)
  - Plasma arc has a very wide power adjustment range and is considered to be the most flexible heating source
  - Plasma jet generates extremely high temperature capable of melting even the lowest fusibility materials

- The form and geometrical features of the workpiece do not limit functionality of plasma arc or impact the quality

#### **Disadvantages of PTA overlay**

- Relatively slow performance
- Complicated equipment

### **3. High-speed flame spraying**

High-speed flame spraying is one of the hot spraying techniques where powder filler is sprayed at high speed (over x5 speed of sound). Types of flame spraying units: kerosene/oxygen (HVOF, High Velocity Oxygen Fuel) and propane/oxygen (HVOF, High Velocity Air Fuel). This technique is used to spray carbide, tungsten, chrome, nickel/cobalt, metal base powders, and MeCrAlY coatings. Flame spraying also creates tensional stress in the coatings which is an important advantage allowing making thicker coats compared to other spraying technologies.

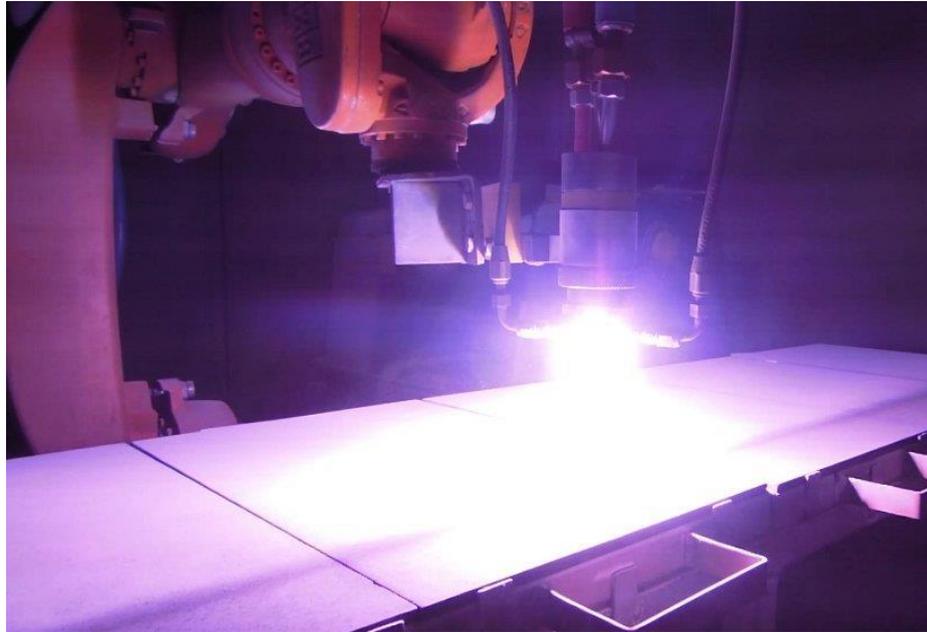
High-speed gas spray and molten metal cause extensive recoil, which does not allow manual operation in most cases. To achieve an even coating of uniform thickness industry uses special robotized or automatic units. This technology is widely used for hardbanding as a more environmentally friendly and flexible alternative to galvanic chrome plating and chemical & heat treatment (anti-corrosion) of plunger pistons, compressor shafts, valves, sliding dampers, calender rolls, oil&gas equipment, aviation equipment. Flame spraying is also used to create sub-layer in thermal barrier coating on gas turbine elements. Typically carbides, [MCrAlY, and nickel/iron alloys are used for spraying.](#)

#### **Advantages High-speed flame spraying**

- Ideal method to spray coating on large elements
- Relatively low temperature because particles do not stay long in the heat
- Allows making high density carbide coatings preventing degeneracy due to high temperature exposure

#### **4. Plasma spray**

Plasma spray involves spraying of material using plasma jet.



**Fig.4** Aluminum oxide plasma spraying

The plasma spray process is basically the spraying of molten or heat softened material onto a surface to provide a coating. Material in the form of powder is injected into a very high temperature plasma flame, where it is rapidly heated and accelerated to a high velocity. Coating is created as a result of particle contact with the surface or sprayed material. Plasma spray is another method of hot spraying.

Plasma spray involves three basic stages:

- Generation of plasma jet
- Injection of spray material in plasma jet, heating and acceleration
- Plasma spray and molten material action on the workpiece

#### **Functionality**

This technique is used to apply coatings with wear/heat/corrosion-proof, antifriction, and other properties.

Plasma spray allows the following:

- Apply coating on flat-sheet materials and elements of large size or complicated geometry
- Apply coating on elements made of wide range of materials including materials intolerant to thermal treatment (glass, china, timber, fabric)
- Ensure even coating over the large surfaces and localized areas of large pieces
- Apply coatings of significant thickness to restore and repair worn elements (coats up to several mm)
- Automatic operation using robotized units
- Use various materials for spraying (metals, alloys, oxides, carbides, nitrides, borides, plastic) including their combination and apply several layers to achieve unique properties of coating
  - Almost 100% protection against deformation of the workpiece
  - High performance with relatively minor input
  - Better coating quality (more even, stable, high strength, high quality adhesion to surface)

#### **Advantages of plasma spray**

- High performance
- High quality coating especially in shielded environment
- Wide range of adjustable setups to enhance flexibility of spraying process
- High utilization ratio for the powder material
- High availability both for manufacturing and repair purposes
- Cost effective
- Simple and cheap equipment
- Allows full automatic operation
- Extends service life of expensive components (crank-shaft, sleeve bearing, pistons, etc.)
- Ability to make unique coatings with preset operational properties

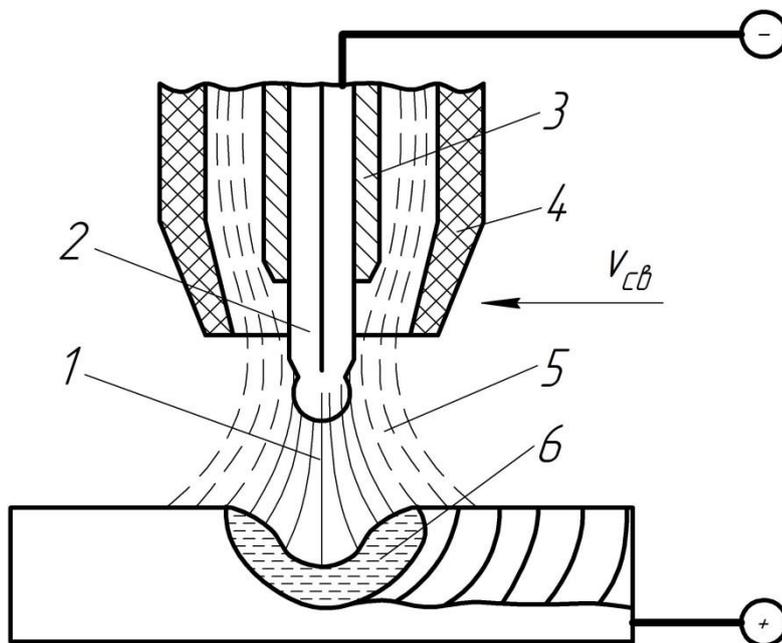
- Universal application of powder filler including high-melting-point materials

**Disadvantages of plasma spray**

- Low energy efficiency of powder spraying (0.001 – 0.020)
- 2-15% discontinuity (porosity) of coating; in some cases discontinuity adds to lube adhesion which has a positive effect for equipment components in friction
- Low adhesive strength between the coating and surface, and in the coating (800-100 MPa)
- High noise (60-120 dB)
- PPE required to prevent harmful exposure

**5. Automatic gas arc welding**

Arc welding in shielding gas environment (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) is one of the most popular mechanized overlay welding technique. See the process diagram on Fig.5 below.



**Fig.5** GTAW process diagram

- 1) Electric arc; 2) Electrode; 3) Current wire; 4) Shield gas nozzle  
 5) Shield gas; 6) Molten metal pool

As shown on the Fig.5, the electric arc (1) burns between the electrode (2) and molten metal (6). The overlay area is shielded from the ambient air by gas (5) fed through a special nozzle (4) made of heat-resistant ceramics or copper. The copper nozzle is cooled via internal channels used to circulate water. The nozzle is isolated from the current wire (3) and other parts of the torch.

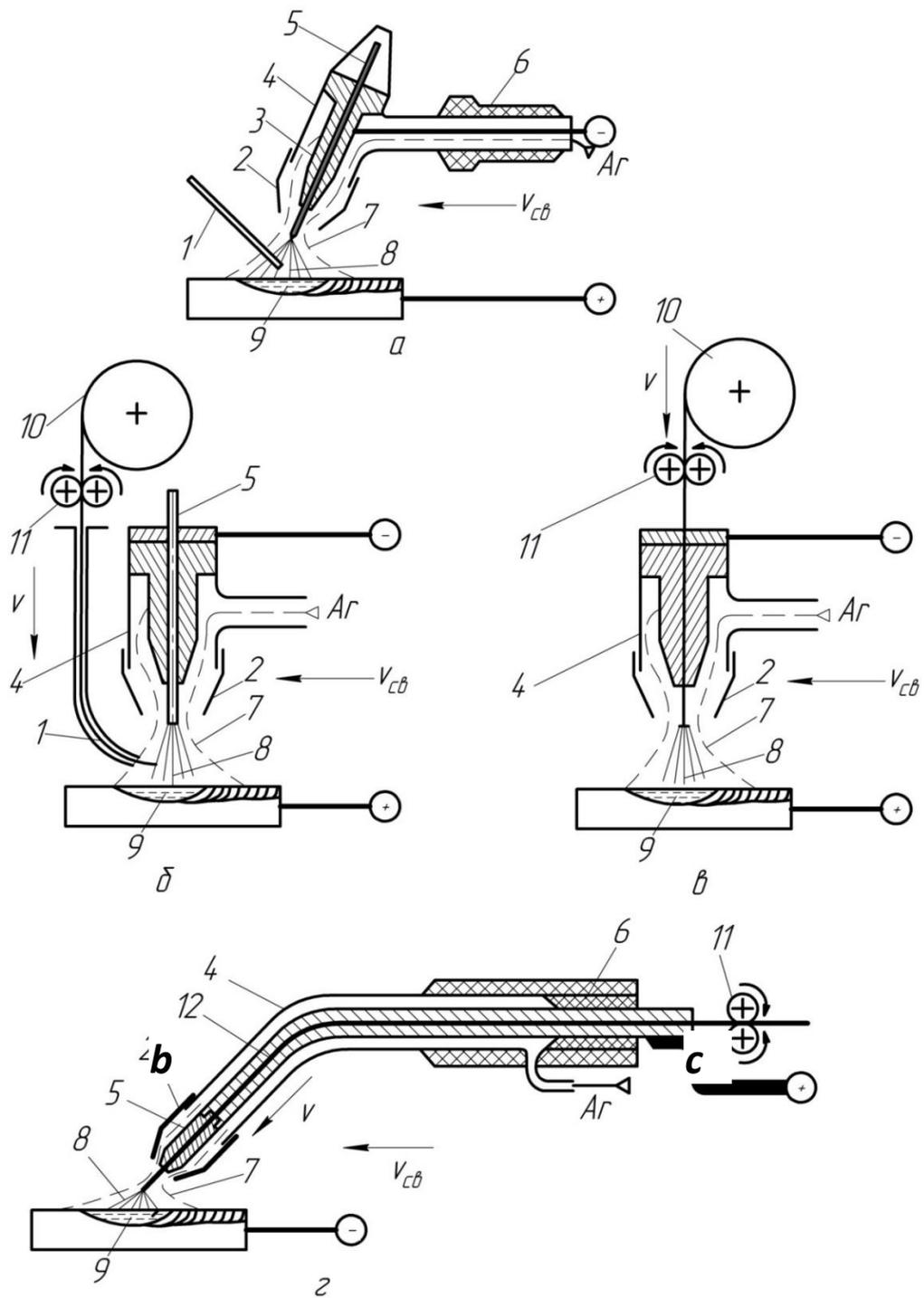
GTAW provides for a minimal electrode stickout from the current wire socket to the arc flame (~50 mm) which reduces electrode heating by current. This allows to broaden the range of utilized currents up to 2000A. With increased current welding rate may reach 100 m/hr.

As a rule shield gas has a high ionizing force to maintain stable burning. Using small diameter wire or non-consumable electrodes this feature allows welding at extremely low current (10A+) and make very thin coats (0.5mm+).

GTAW technologies differ in several features:

- 1) Type of electrode: consumable / non-consumable
- 2) Chemical composition of gas: inert gas (Ar, He), active gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>)
- 3) Type of operation: manual, mechanized, or automatic

Fig.6 below demonstrates different types of gas arc welding



**Fig.6** Types of GTAW technology

a) Manual welding using non-consumable electrode in inert gas environment; b) Mechanized/automatic welding in inert gas environment; c) Mechanized/automatic using consumable electrode; d) Manual welding using consumable electrode

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Filler rod or tungsten electrode | 7. Shield gas                         |
| 2. Nozzle                           | 8. Arc                                |
| 3. Contact tube                     | 9. Molten weld pool                   |
| 4. Torch enclosure                  | 10. Wire cartridge                    |
| 5. Tungsten electrode               | 11. Feeder                            |
| 6. Torch handle                     | 12. Consumable metal electrode (wire) |

Fig. 6 *a* and *b* demonstrate gas arc welding using non-consumable electrode where direct arc (8) burns between the electrode (5) secured in the contact tube (3) and the workpiece. Molten pool (9) forms from the melting workpiece metal and the filler rod/wire (1). The rod is manually fed to the arc flame (Fig.6 *a*); wire is fed by the feeder (11) from the cartridge (10) (Fig.6 *b*). The entire welding area is shielded with the gas (7) supplied from the special nozzle (2) in the lower part of the torch (4).

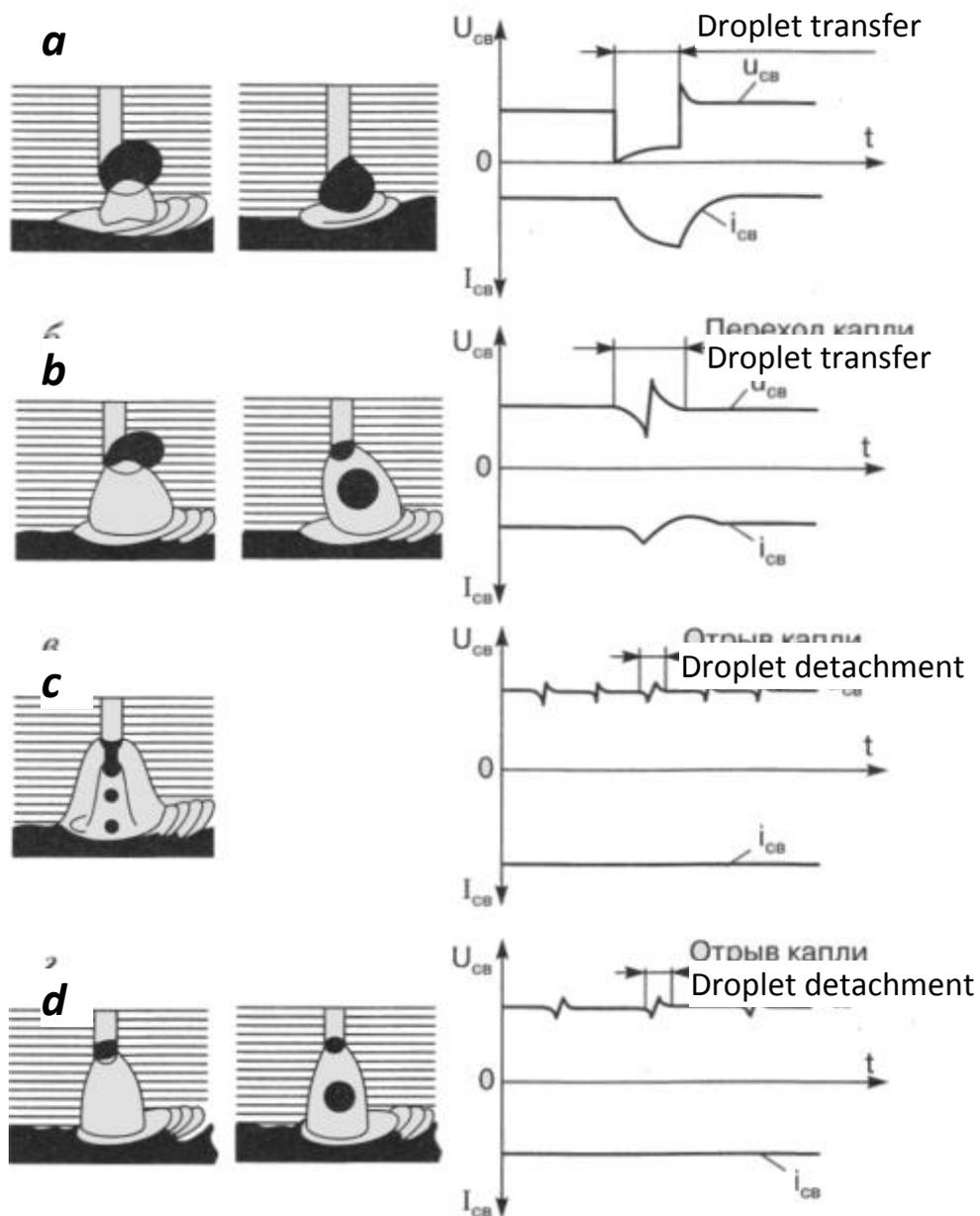
Fig. 6 *c* and *d* demonstrate gas arc welding using consumable electrode. Just like described above, direct arc (8) is used which burns between the electrode (12) and molten pool. Wire (electrode) is feed via rollers (11) from the cartridge (10). Current goes to the wire through the contact tube (3) built in the torch. Shielding gas (7) is supplied from the nozzle (2).

DC polarity and type during GTAW is adjusted depending on the type of electrode used. Since electron current prevails in the anode area of the arc, more heat is generated on anode vs cathode due to additional electron bombardment. For that reason straight polarity is used when welding with non-consumable tungsten electrode and reverse polarity – for consumable electrodes.

When using consumable electrode the arc burns between the workpiece and the tip of molten electrode wire fed continuously. Conditions of filler transfer in the

molten pool are very important during gas arc welding. Filler metal may be transferred by drops of various size. The metal drops are formed under different forces, e.g. gravity, surface tension, electrodynamic force, reaction pressure from the gas boiling off the metal drop, pressure from the plasma jet and charge-particle bombardment. In addition to these forces, in some cases the pressure generated by the shield gas stream also has a significant effect. Under all these forces metal transfer may have different forms:

- 1) Globular transfer with short gaps (Fig.7 *a*)
- 2) Globular transfer without short gaps (Fig.7 *b*)
- 3) Mid-size drops without short gaps (Fig.7 *c*)
- 4) Fine spray (Fig.7 *d*)



### **Fig.7** Types of metal transfer during GTAW

Type of metal transfer will influence overlay parameters causing current peak moments and disturbing stable burning of the arc.

With globular transfer a relatively large metal drop will gradually form on the electrode and will stay there for a long time. When a drop is larger than the electrode spacing, it will be transferred to the molten pool with shortings and brief interruptions of the arc. Such type of transfer generates heavy spattering caused by overheating followed by electrical explosion between the electrode and molten pool.

Globular transfer is mainly driven by gravity and surface tension. Size of droplets will depend on the type of shield gas, material/diameter of electrode, arc voltage, current rate and polarity. With higher current gravity, impact on the droplet decreases while compressing stress from the electromagnetic force becomes stronger detaching the droplet from the electrode tip. Because of that, with higher current droplets become smaller in size changing from large to mid and small droplets and eventually to spraying. When spraying, the metal on the electrode will be transferred as small droplets detaching from the metal cone. Melting tip of the electrode also has a cone form. Spray transfer ensures smaller and more stable droplets and minor spattering.

#### **Advantages of GTAW**

- High quality restoration of worn elements
- High density overlay contains ~20 times less oxygen and 3 times less nitrogen compared to manual overlay welding
- Cost effective
- Universal application
- Resulting metal overlay will be compatible with practical any alloying system

### **Disadvantages of GTAW**

- Extensive melting of the base metal especially when using wires

Automatic gas tungsten arc welding is the most flexible and cost effective technique out of all described above. That's why I choose this technique.