

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Заочный»

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ М.А. Иванов

« 10 » июня 2019 г.

Совершенствование технологии восстановления и ремонта хвостовиков молотовых штампов

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-15.03.01.2019.021 ПЗ ВКР**

Руководитель работы

_____ Должность

_____ Подпись

И.О., Фамилия

« 06 » июня 2019 г.

Автор работы

студент группы П-540

___ 2019_540_starikovvp_____

« 06 » июня 2019 г.

Нормоконтролёр

старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« 10 » июня 2019 г.

Челябинск, 2019

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	10
1.1 Анализ конструкции изделия.....	10
1.2 Материал штампа и его свариваемость.....	14
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	16
2.1 Базовый вариант технологии наплавки.....	16
2.2 Проектируемый вариант технологии наплавки.....	29
2.3 Выбор сварочных материалов.....	31
2.4 Расчет режимов наплавки.....	33
2.4.1 Наплавка рабочей поверхности штампа.....	33
2.4.2 Режимы сварки при ремонте хвостовика.....	40
2.5 Описание конструкции сварочной установки.....	45
3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА.....	50
3.1 Способы и средства контроля качества.....	50
3.2 Допустимые и недопустимые дефекты.....	52
3.3 Оборудование для контроля качества.....	53
3.4 Методика контроля.....	55
3.4.1 Визуальный и измерительный контроль.....	55
3.4.2 Ультразвуковой контроль.....	56
3.4.3 Капиллярный контроль.....	57
3.4.4 Контроль твердости.....	58
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	58
4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	58
4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ.....	59
4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда.....	59
4.2.2 Обеспечение электрической безопасности.....	60
4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности.....	63

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

4.3	Безопасность при работе с подъемными устройствами	63
4.4	Планировка участка.....	64
5	ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	66
5.1	План эксперимента, цели и задачи	66
5.2	Результаты проведенных исследований.....	70
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	73
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Изготовление деталей на различных производствах происходит различными методами. Формообразование поверхностей происходит при помощи литья, штамповки,ковки. Для получения деталей заданной геометрии применяются такие способы как резка, сварка, токарная обработка, шлифование, фрезерование и прочие технологические операции.

В процессе штамповки детали образуются под давлением в штампе, который может быть как открытым, так и закрытым. При этом, различают горячую и холодную штамповки.

При горячей штамповке на поверхность штампа воздействует не только давление, но и температурные перепады, которые негативно сказываются на его долговечности и работоспособности. Образующиеся в процессе эксплуатации дефекты штампа могут быть ремонтпригодными либо такими, при которых штамп бракуется окончательно без проведения ремонта.

Основными встречающимися дефектами являются трещины. Для их устранения применяется много методов, которые обеспечивают дальнейшую эксплуатацию штампа. Одним из таких методов является выборка трещины с последующей наплавкой. При этом, полученный наплавленный слой не должен обладать характеристиками хуже основного металла.

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология восстановления и ремонта хвостовиков молотовых штампов.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Анализ конструкции изделия

В выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс восстановления изношенной рабочей поверхности и хвостовиков штампа формовочного закрытого марки КШ-2708, применяемого в составе штамповочного стана. Штамп формовочный предназначен для получения штампованных деталей методом горячей штамповки.

Штампами называют инструменты, предназначенные для получения различных идентичных изделий методом приложения нагрузки с дальнейшей пластической деформацией.

Штамп является литым изделием, которое позволяет формировать детали заданной геометрии благодаря сформированным внутренним элементам.

Штамп состоит из двух частей:

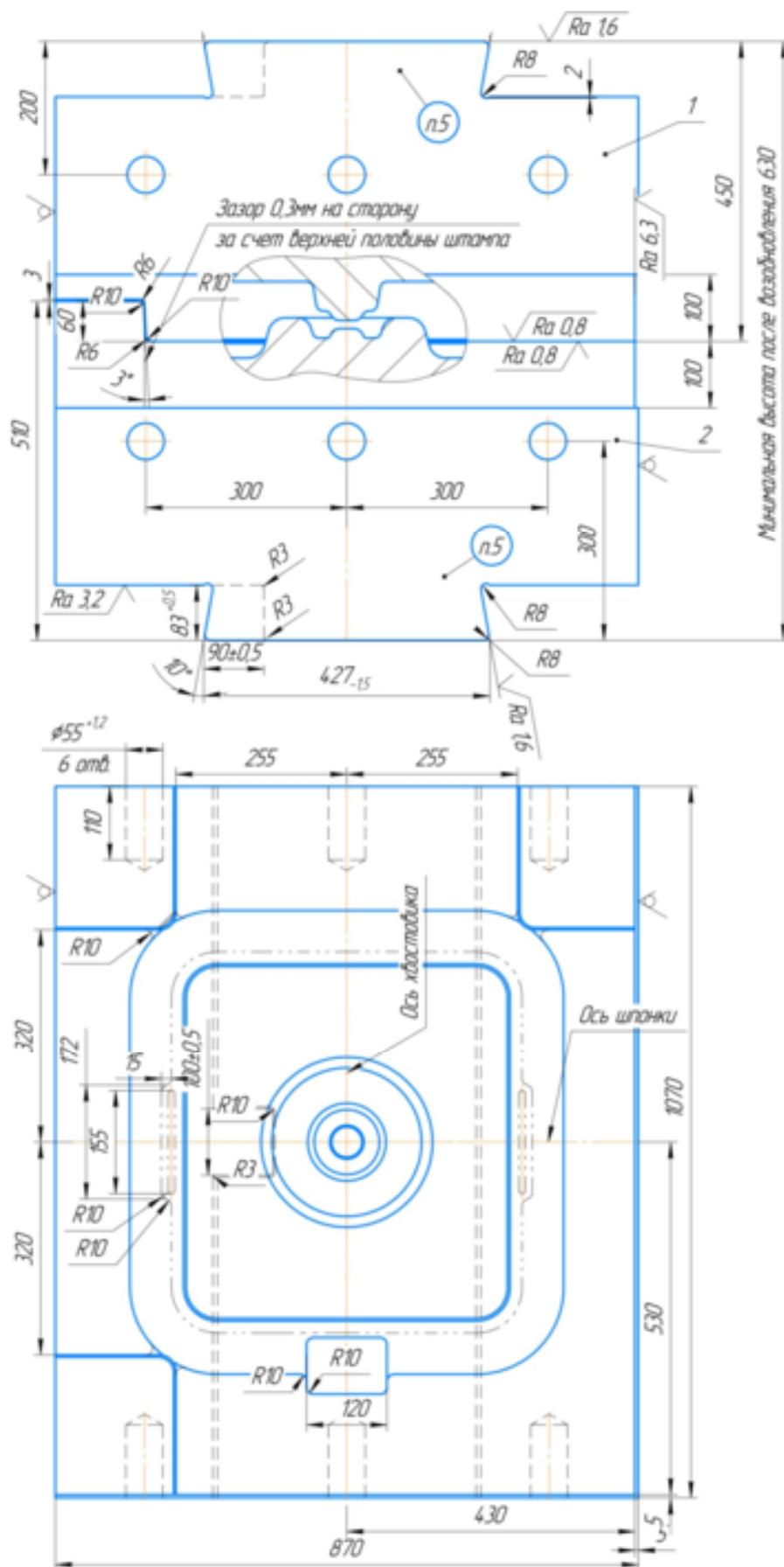
- верхняя;
- нижняя.

Верхняя часть является пуансоном, то есть элементом, который установлен на подвижном шатуне стана и предназначен для формирования верхней части детали с приложением к нему давления.

Нижняя часть является матрицей, то есть элементом, который устанавливается на станине и формирует нижнюю часть детали.

Общий вид штампа формовочного приведен на рисунке 1.1.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11



1 – Штамп верхний; 2 – Штамп нижний

Рисунок 1.1 – Общий вид штампа формовочного

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рассматриваемый штамп относится к виду закрытых. Штамп является тяжело нагруженным элементом, который испытывает давление, напряжения растяжения и сжатия, истирание, температурные перепады. Поэтому, к качеству металла для штампа уделяется особое внимание.

При выходе штампа из строя проводится его освидетельствование с выдачей дефектной ведомости. Если выдано заключение о ремонтпригодности штампа, то производится его ремонт по технологии завода. При невозможности провести ремонт, штамп бракуется. Ремонт заключается в восстановлении изношенной части методом точения и, при необходимости, наплавке рабочей поверхности с дальнейшим точением.

Наиболее часто выходит из строя внутренняя поверхность штампа, которая работает непосредственно с деталью. Также часто дефекты образуются в местах радиусных переходов хвостовика.

Основным видом дефектов, которые образуются при работе штампа и выводят его из строя, являются трещины. Трещины, чаще всего, образуются в местах радиусных переходов. Виды дефектов, образованные в результате износа штампа показаны на рисунках 1.2...1.5.



Рисунок 1.2 – Трещина в зоне радиусного перехода

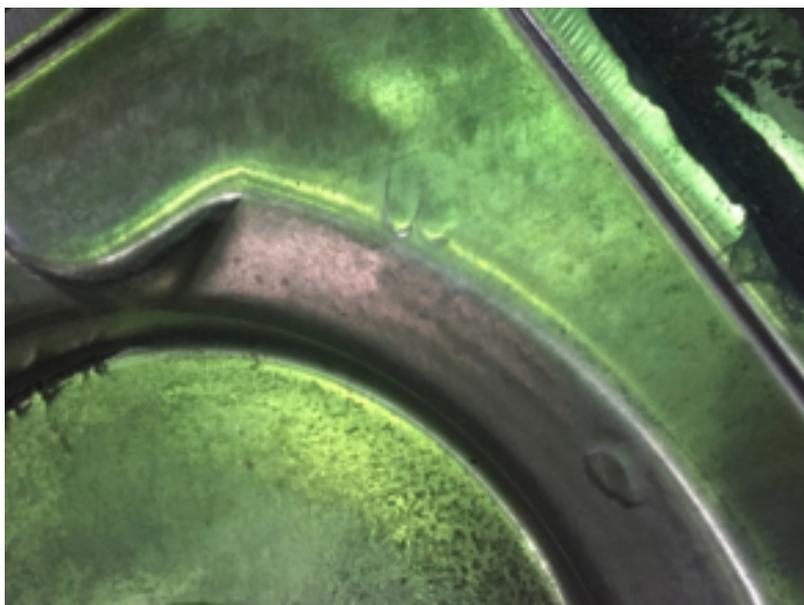


Рисунок 1.3 – Скол на контактной поверхности



Рисунок 1.4 – Трещина в радиусном переходе хвостовика



Рисунок 1.5 – Трещина в фигуре штампа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ

Лист

14

Основными видами изнашивания рабочих поверхностей штампа и радиусных переходов хвостовиков являются:

– контактная усталость. Этот вид изнашивания возникает в результате многократного упругопластического деформирования поверхности детали. Из-за этого на ней образуются вмятины и отслоения. В местах появления вмятин возникает сетка микротрещин, которые в результате многократного нагружения охрупчивают рабочие поверхности, что приводит к появлению трещин.

– термическая усталость. Этот вид изнашивания возникает в результате неравномерного нагрева и охлаждения поверхности детали. В данном случае, в нагреваемом объеме возникают сжимающие напряжения и упругопластическая деформация сжатия, которые сменяются при последующем охлаждении растягивающими напряжениями и упругопластической деформацией растяжения. При длительном воздействии на поверхность детали теплосмен на ней образуются трещины термической усталости.

Совокупность указанных выше видов изнашивания уменьшает срок службы штампа и приводит к его замене либо ремонту.

1.2 Материал штампа и его свариваемость

Основным металлом для штампа формовочного закрытого марки КШ-2708 является инструментальная легированная сталь марки 5ХНМ, поставляемая согласно [1]. Данная сталь в классификации [1] относится к группе II, то есть она предназначена для изготовления специального инструмента, который используется в дальнейшем для обработки металлов давлением при температурах выше 300 °С.

Сталь 5ХНМ применяется как основной материал при изготовлении следующего оборудования:

– молотовых штампов паровоздушных и пневматических молотов массой падающих частей свыше 3 тонн;

– прессовых штампов и штампов машинной скоростной штамповки при

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

горячем деформировании легких цветных сплавов;

– блоков матриц для вставок горизонтальных машин.

Химический состав стали 5ХНМ приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 5ХНМ [1]

В процентах

С	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
						Не более	
0,5...0,6	0,1...0,4	0,5...0,8	0,5...0,8	0,15...0,3	1,4...1,8	0,03	0,03

Механические свойства стали 5ХНМ в термообработанном состоянии (закалка при температуре 850 °С, отпуск при температуре 460...520 °С) приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 5ХНМ в термообработанном состоянии [1]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²
540	740	9	35	340

Твердость основных рабочих поверхностей верхней и нижней части в соответствии с требованиями нормативной документации должна быть в пределах 311...341 НВ. Твердость поверхности хвостовика НВ не должна превышать 285 НВ.

Расчет свариваемости сталей производится чаще всего для низколегированных сталей, так как кроме малого количества углерода в них присутствуют легирующие элементы. Сталь марки 5ХНМ относится к классу инструментальных легированных сталей, поэтому, базовое содержание углерода в ней превышает 0,45 %. Данная сталь не предназначена для изготовления сварных конструкций, поэтому расчет свариваемости не производится. В то же время, экспериментально установлено, что оптимальной температурой нагрева стали 5ХНМ перед наплавкой является интервал 350...400 °С.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Выводы по разделу 1:

В разделе 1 проводится анализ конструкции и возможные причины выхода из строя штампа формовочного закрытого марки КШ-2708. Рассмотрены наиболее часто встречающиеся дефекты, условия работы штампа, нагрузки, действующие на него. Рассмотрена сталь, которая применяется при изготовлении штампов, а также оценена вероятность использования ее для сварных конструкций и подобрана температура предварительного подогрева перед проведением ремонтных наплавочных работ.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Базовый вариант технологии наплавки

Штампы формовочные в процессе эксплуатации подлежат естественному износу из-за воздействия на них различных механических и температурных нагрузок. В процессе эксплуатации штампы подлежат техническому освидетельствованию. Признанные по результатам освидетельствования дефектными штампы, снимаются со штамповочного прессы и проходят более подробный осмотр с составлением дефектной ведомости. Далее принимается решение о ремонтпригодности штампа. При принятии положительного решения по возможности ремонта штампы отправляют на участок наплавки. При этом, штампы на наплавку отправляют партиями.

На участке наплавки дефектные штампы устанавливаются на стол. В зависимости от вида устраняемых дефектов. Если дефекты расположены на рабочих поверхностях верхней либо нижней части, то штамп устанавливается на стол этими поверхностями вверх. Если дефекты располагаются на хвостовике, то хвостовиком вверх.

На рисунке 2.1 показаны зоны хвостовика штампа, которые воспринимают на себе основные нагрузки и которые подлежат дальнейшему ремонту.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

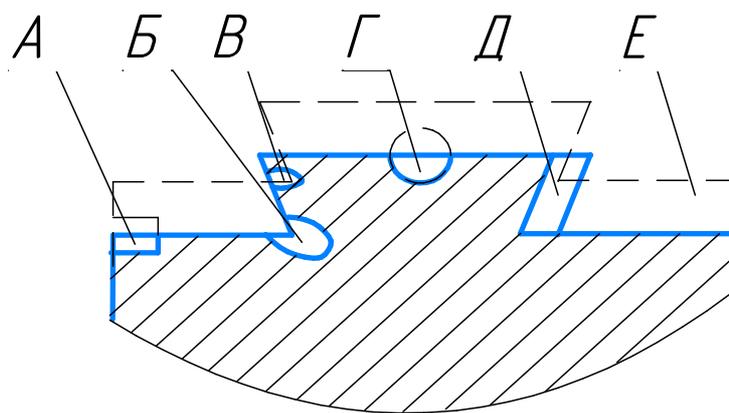


Рисунок 2.1 – Зоны штампа, подверженные наибольшим нагрузкам

На рисунке 2.1 обозначены следующие элементы, которые подлежат ремонту:

- транспортировочные отверстия «А» и «Г»;
- трещины на галтелях «Б»;
- остаточные трещины после перерезанного хвостовика «В»;
- опорная часть хвостовика «Д»;
- срезанный слой «Е».

Наиболее опасные дефекты образуются в зоне Б (см. рисунок 2.1) так как уменьшают конструктивное сечение рабочей части хвостовика, что может привести к дальнейшему отрыву хвостовика и отбраковке всего штампа как негодного к последующей эксплуатации.

После установки штампа на столе выявленные дефекты требуется устранить. В качестве наиболее оптимального способа устранения дефектов в изделиях большой толщины применяется воздушно-дуговая строжка угольным электродом. Воздушно-дуговая строжка дефектного участка производится при помощи резака РВДм-500, показанного на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Резак РВДм-500 [11]

Технические характеристики резака РВДм-500 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики резака РВДм-500 [11]

Характеристика	Значение
Номинальный ток, А	500
Рабочий газ	воздух
Расходные материалы	угольные электроды
Производительность, кг/ч	15
Давление воздуха, МПа	0,6
Диаметр электрода, мм	8, 10, 12

Источником питания при воздушно-дуговой строжке является ВДУ-506. Общий вид источника питания ВДУ-506 представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Общий вид источника питания ВДУ-506 [12]

Технические характеристики источника питания ВДУ-506 приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики источника питания ВДУ-506 [12]

Характеристика	Значение
Напряжение сети, В	380
Частота сети, Гц	50
Максимальный ток, А	500
Диапазон тока в режиме MIG/MAG, А	60...500
Диапазон тока в режиме ММА, А	50...500
ПВ при максимальном значении тока, %	60
Напряжение холостого хода, В	85
Максимальная мощность, кВА	34
Регулирование сварочного тока	Ступенчатое
Габариты, мм	840×505×685

Строгание рабочей поверхности штампа производится так, чтобы фигура осталась прежней. Глубина выборки за один проход не должна превышать 5...7 мм. Общая глубина выборки составляет не более 16 мм.

Схема строгания показана на рисунке 2.4.

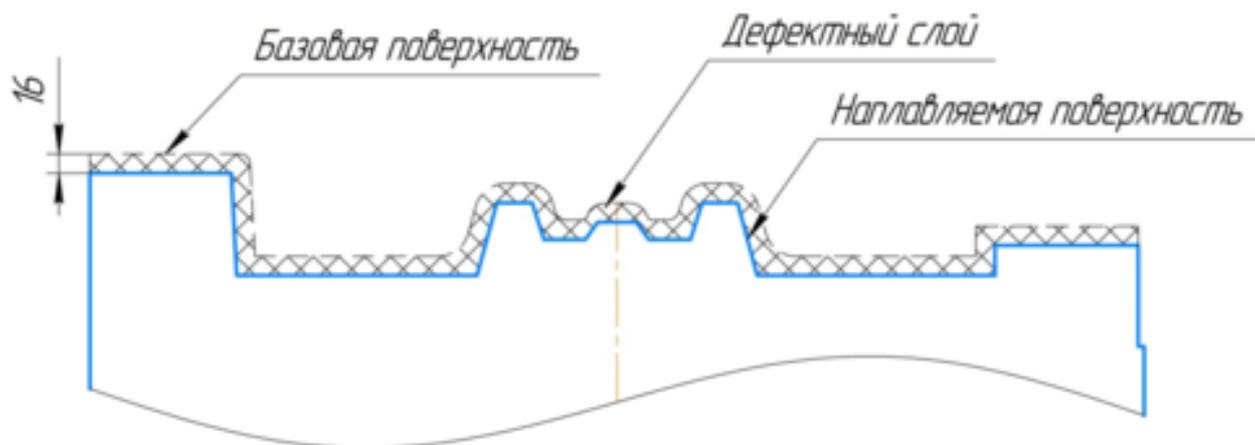


Рисунок 2.4 – Схема строгания

После строгания каждого слоя производится визуальный осмотр поверхности на наличие таких дефектов как:

- трещины;
- поры;
- раковины.

При их обнаружении в месте дефекта производится его дополнительная выборка до полного устранения.

Максимальная длина трещины, которая подлежит ремонту в галтели хвостовика, не должна превышать величины 40 мм. Схема строгания хвостовика показана на рисунке 2.5.

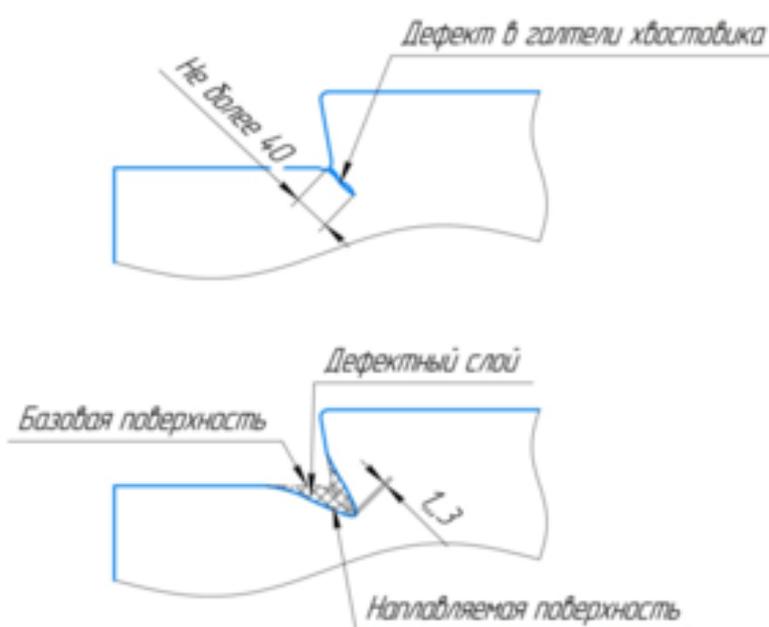


Рисунок 2.5 – Схема строгания хвостовика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Устранение трещин в галтелях производится в следующем порядке:

– установить дефектный штамп на специальном столе;

– отметить места исправления дефектов;

– произвести выборку дефектов;

– осмотреть вырезанный участок и измерить глубину выборки штангенциркулем. При обнаружении каких-либо дефектов в месте выборки, произвести их полное удаление. В случае, если глубина выборки близка к 40 мм, а трещина осталась, то дальнейшие работы следует производить по указанию главного сварщика. При этом, после выборки трещины проводится точение хвостовика до требуемых размеров. Точение производится также на основном металле вокруг хвостовика.

После строгания поверхности зачистить до металлического блеска. После этого штамп транспортируется на специальный стол, входящий в состав роботизированного комплекса. На роботизированном комплексе осуществляется наплавка рабочих поверхностей штампа. Наплавка поверхностей хвостовика проводится механизированной сваркой.

Следующей операцией является неразрушающий контроль строганной поверхности. Поверхность на этом этапе осматривается визуально, а также проводится цветной капиллярный и ультразвуковой контроль. При обнаружении скрытых дефектов, а также дефектов, выходящих на поверхность, но не отмеченных визуально, производится их дополнительная строжка до полного удаления с повторным контролем.

После проведения контроля проводится сканирование поверхности для определения области наплавки на комплексе и количества наплавляемых слоев в зависимости от глубины выборки. Сканирование производится с целью настройки роботизированного оборудования для наплавки рабочих поверхностей. Сканирование производится сканером RS1, который установлен на измерительной руке модели Romer Absolute Arm 7330Si.

Общий вид сканера показан на рисунке 2.6.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22



Рисунок 2.6 – Общий вид сканера [13]

Технические характеристики измерительной руки Romer Absolute Arm 7330Si показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики измерительной руки Romer Absolute Arm 7330Si [13]

Характеристика	Значение
Зона измерения, мм	3000
Повторяемость точки при контактном замере, мм	$\pm 0,079$
Объемная точность при контактном замере, мм	$\pm 0,1$
Точность сканирования, мм	0,119
Масса, кг	8,9

Технические характеристики сканера RS1 показаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики сканера RS1 [13]

Характеристика	Значение
Скорость снятия точек, шт/с	30000
Максимальное количество точек на линию, шт	1000

Продолжение таблицы.

Максимальная частота линий, Гц	30
Средняя ширина сканирования, мм	65
Фокусное расстояние, мм	100...200
Минимальное расстояние между точками, мм	0,04
Точность (2 сигма), мкм	30
Масса, кг	0,34

Особенностью работы сканера RS1 является его высокая точность. При сканировании в программе компьютера строится сетка отсканированных точек, которая затем передается в программный комплекс сварочного робота.

Проверенный штамп отправляют на участок нагрева. Нагрев осуществляется в печах с выкатным подом марки ПВП-8.16.8/7М, ПВП-13.17.13/7М, ПВП-13.25.13/12,5М, ПН-34. Время нагрева зависит от толщины штампа, которая измеряется как расстояние от начала хвостовика до фигуры за исключением высоты замков. Расстояние у рассматриваемого штампа составляет 360 мм, поэтому время нагрева и выдержки при требуемой температуре составляет 6 часов. Температура нагрева печи составляет не менее 420 °С. Контроль температуры осуществляется 1 раз в час.

После нагрева штамп отправляют на наплавку. В первую очередь, нагретый штамп укладывают на стол сварочного робота и укутывают термостойкими одеялами и фольгой для выдержки при требуемой температуре. Стол сварочного робота оборудован дополнительным подогревом.

Перед началом наплавки в подающий механизм сварочного робота устанавливается сварочная проволока. После установки штампа производится проверка работоспособности робота.

Наплавку ремонтного участка следует производить тремя видами проволоки:

– первый слой наплавленного металла как наиболее пластичный сваривается порошковой проволокой Eureka 635 диаметром 1,6 мм. Наплавка производится в один слой;

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

– следующие слои наплавляют порошковой проволокой Eureka 450 диаметром 1,6 мм. Наплавка слоев производится в количестве, необходимом для «заполнения» ремонтируемого штампа по толщине;

– последние слои наплавляются порошковой проволокой Eureka 650 диаметром 1,6 мм. При наплавке указанной сварочной проволокой количество наплавляемых слоев должно быть не менее 3.

Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 635, приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 635 [14]

В процентах

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,08	1,2	0,35	1,5	1,1	2,3

Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 450, приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 450 [14]

В процентах

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,15	0,6	0,4	10,5	2	1,8

Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 650, приведен в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Типичный химический состав металла, наплавленного проволокой Eureka 650 [14]

В процентах

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	W	V
0,3	0,8	0,4	9	2	2	0,4	0,3

Наплавка производится в среде смеси защитных газов марки К20 (20% CO₂ + 80% Ar).

После наплавки каждого валика производится очистка от окалины и шлака, а сварочная горелка очищается от брызг.

Наплавка всех слоев проводится на режимах, указанных в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Режимы наплавки ремонтных слоев

I _{СВ} , А	U _д , В	V _{СВ} , см/с
220...300	24...28	0,6

При многослойной наплавке каждый последующий слой накладывается поперек предыдущего.

Соседние валики должны перекрывать один другой на 1/4 ширины валика. Каждый наплавленный валик тщательно зачищается от шлака и окалины. Кратер после наложения валика должен выводиться на наплавленную поверхность.

Общий вид наплавленных валиков показан на рисунке 2.7.

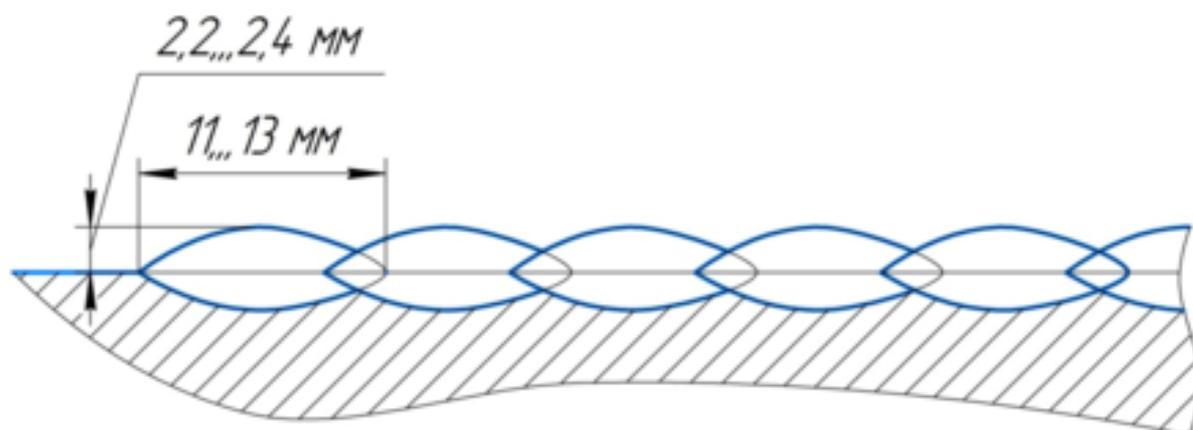


Рисунок 2.7 – Общий вид наплавленных валиков

Перед сваркой каждого прохода производится замер температуры штампа в четырех точках каждые 30 мин.

Максимальное время непрерывной наплавки штампа составляет 6 часов.

При уменьшении температуры штампа ниже 300 °С, а также по истечению 6 часов наплавки, наплавку прекращают и штамп отправляют на промежуточный подогрев. Промежуточный подогрев составляет не менее 8 часов. При этом каждый час производится контроль температуры. Температура печи перед

загрузкой в нее штампов составляет не менее 420 °С.

После окончания наплавки штамп немедленно отправляют в печь для выравнивания. Выравнивание производится при температуре печи не менее 420 °С. Контроль температуры производится 1 раз в час.

После проведения выравнивания штампы выгружаются в термос и охлаждаются в нем до температуры 100...120 °С.

Следующим этапом обработки является отпуск. Для этого штампы загружают в печь, нагретую до температуры 570 °С и выдерживают при заданной температуре не менее 14 часов с контролем температуры 1 раз в час.

После выдержки штампы выгружают из печи в термос и охлаждают до комнатной температуры.

Следующим этапом является механическая обработка наплавленного участка.

После этого место наплавки зачищают до ровной площадки для контроля твердости.

Далее производится визуальный контроль, а также капиллярный.

Наплавка рабочих поверхностей штампа КШ-2708 проводится на роботизированном сварочном комплексе.

В качестве сварочного манипулятора применяется робот марки Motoman МН-50П-20, показанный на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Робот сварочный Motoman МН-50П-20 [15]

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Технические характеристики сварочного робота Motoman МН-50П-20 представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические характеристики сварочного робота Motoman МН-50П-20 [15]

Характеристика	Значение
Количество осей, шт	6
Повторяемость, мм	0,15
Зона досягаемости, м	3100
Грузоподъемность, кг	20
Общий вес манипулятора, кг	495

В качестве источника питания при автоматической наплавке рабочих поверхностей штампа и при механизированной наплавке ремонтных участков хвостовика применяется сварочный инвертор марки Fronius TransPulseSynergic 4000 (далее Fronius TPS 4000), показанный на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Сварочный инвертор марки Fronius TPS 4000 [13]

Сварочный инвертор Fronius TPS 4000 предназначен для выполнения следующих видов сварочных процессов:

- сварка MIG/MAG;
- импульсная дуговая сварка MIG/MAG;
- пайка MIG;
- сварка WIG постоянным током;
- ручная дуговая сварка штучными электродами.

Технические характеристики аппарата Fronius TPS 4000 показаны в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Технические характеристики аппарата Fronius TPS 4000 [13]

Характеристика	Значение
Значение сварочного тока, А	3...400
Значение рабочего напряжения, В	14,2...34
Значение частоты сети, Гц	50...60
Значение сетевого напряжения, В	3×400
Максимальный сварочный ток, А, при ПВ (10 мин/40°C):	
– 100%	320
– 60%	365
– 50%	400
Габаритные размеры, мм	475×290×625
Масса, кг	35,2

Существующая технология проведения наплавочных работ при восстановлении обеспечивает требуемое качество, но при этом обладает рядом недостатков, которыми являются:

– временные затраты на зачистку каждого наплавленного слоя от шлака. При этом зачистка проводится на горячей детали, что небезопасно;

– при остывании штампа до температуры менее 350 °С требуется проводить дополнительный подогрев. При этом штамп снимается со сварочного стола и устанавливается в печах. Процесс нагрева является длительным, а также присутствует дополнительное перемещение штампа;

– наплавка производится американской проволокой, стоимость которой достаточно велика для современных экономических условий.

Устранение указанных недостатков предлагается произвести путем внедрения следующих мероприятий:

– рассмотреть варианты замены наплавочной порошковой проволоки;

– выбрать установку индукционного нагрева, чтобы подогрев производится сбоку по периметру штампа для устранения влияния остывания в процессе наплавки.

2.2 Проектируемый вариант технологии наплавки

Одним из недостатков применяемой технологии наплавочных работ при ремонте штампов КШ-2708 (и других типов) является сопутствующий подогрев, который проводится в печах. При этом, производятся дополнительные транспортировочные операции. В существующем варианте технологии штамп после нагрева оборачивают одеялом и фольгой, после этого устанавливают его на стол, который обеспечивает требуемую температуру. Так как на данном столе подогрев производится только с нижней поверхности, то тепло нагрева расходуется нерационально, так как захватывается лишь малая часть штампа.

Для того, чтобы устранить этот недостаток или уменьшить его влияние на производительность, предлагается применить сопутствующий подогрев при помощи кольцевого индуктора, который будет создавать замкнутое магнитное поле и обеспечивать подогрев штампа по периметру сбоку. При анализе рынка установок индукционного нагрева выявлено, что большая часть предложений основана на технологии индукционного нагрева деталей небольших размеров, а также труб различных диаметров. Также имеется предложение по индукционной закалке.

Проанализировав рынок и учитывая габаритные размеры ремонтируемых штампов можно сделать вывод о том, что наиболее подходящими индукционными установками, которые обеспечивают высокую мощность, скорость и температуры нагрева являются установки для нагрева труб. Поэтому, для сопутствующего подогрева применим установку индукционного нагрева марки «Параллель ИНТ-63-10», показанную на рисунке 2.10.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30



Рисунок 2.10 – Установка индукционного нагрева «Параллель ИНТ-63-10» [16]

Данная установка состоит из шкафа управления и индуктора. Общий вид индуктора, который будем применять, показан на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Общий вид индуктора [16]

Индуктор будет установлен на сварочном столе горизонтально.

Технические характеристики установки индукционного нагрева «Параллель ИНТ-63-10» представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Технические характеристики установки индукционного нагрева «Параллель ИНТ-63-10» [16]

Характеристика	Значение
Мощность средней частоты, кВт	63
Частота рабочая, кГц	10

Продолжение таблицы.

Скорость нагрева на 200 °С, мин	3
Масса, кг	150

Установка индукционного нагрева позволит обеспечивать требуемую температуру штампа при наплавке без дополнительных транспортировочных операций.

2.3 Выбор сварочных материалов

Для замены существующих марок порошковой проволоки требуется выбрать такие марки проволок, чтобы были обеспечены требования по твердости рабочей поверхности, а также схожесть химического состава. В то же время, стоимость проволоки не должна превышать текущую.

При проведении наплавки рабочих поверхностей штампа, а также ремонтных участков хвостовика выберем следующие виды сварочной проволоки:

– для наплавки первого ремонтного слоя применим сварочную проволоку сплошного сечения марки Нп-50ХНМ, поставляемую в виде катушек по требованиям [2]. Способ наплавки останется прежним – в среде защитных газов. Для данного способа наплавки при использовании сварочного робота наиболее оптимальным диаметром проволоки будет 1,6 мм. При использовании механизированной сварки при ремонте дефектных участков хвостовика оптимальный диаметр проволоки 1,2 мм, так как при большем диаметре сложно проводить сварку при помощи полуавтомата.

Химический состав проволоки Нп-50ХНМ приведен в таблице 2.12.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Таблица 2.12 – Химический состав проволоки Нп-50ХНМ [2]

В процентах

С	Mn	Cr	Mo	Ni	Si	S	P
					Не более		
0,5...0,6	0,5...0,8	0,5...0,8	0,15...0,3	1,4...1,8	0,35	0,03	0,03

Данная проволока предназначена для восстановления поверхностей деталей ковочных и вырубных штампов горячей штамповки, а также валков ковочных машин. Твердость поверхности, наплавленной проволокой Нп-50ХНМ составляет 41,5...51,5 HRC_Э.

– для наплавки промежуточных слоев выберем проволоку марки Asm 4120-GS диаметром 1,2 и 1,6 мм. Данная проволока предназначена для восстановительной наплавки рабочей поверхности оснастки, работающей в условиях горячего упругого деформирования.

Химический состав проволоки Asm 4120-GS приведен в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Химический состав проволоки Asm 4120-GS [17]

В процентах

С	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
0,14	1	0,8	12	2,5	1,5

Данная проволока обладает лучшей стойкостью к образованию трещин, так как содержит большее количество молибдена и марганца. Твердость рабочей поверхности, наплавленной проволокой Asm 4120-GS, составляет 42...48 HRC.

– последние три слоя будем наплавлять проволокой марки Asm 4125-GS диаметром 1,2 и 1,6 мм. Данная проволока предназначена для восстановительной наплавки рабочей поверхности оснастки, работающей в условиях горячего упругого деформирования.

Химический состав проволоки Asm 4125-GS приведен в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Химический состав проволоки Asm 4125-GS [17]

В процентах

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	W	V
0,16	1	0,8	12	2,5	1,5	0,6	0,3

Данная порошковая проволока обладает лучшей стойкостью к образованию трещин, так как содержит большее количество молибдена и марганца. Твердость рабочей поверхности, наплавленной проволокой Asm 4125-GS, составляет 44...50 HRC.

2.4 Расчет режимов наплавки

2.4.1 Наплавка рабочей поверхности штампа

Произведем расчет параметров режима наплавки рабочей поверхности штампа. Расчет параметров режима автоматической наплавки производится в следующей последовательности:

- расчет силы сварочного тока;
- расчет напряжения на дуге;
- расчет скорости подачи проволоки;
- расчет скорости сварки;
- расчет погонной энергии;
- расчет мгновенной скорости охлаждения.

При сварке на роботизированном комплексе первый ремонтный слой наплавляется проволокой сплошного сечения Нп-50ХНМ диаметром 1,6 мм в среде смеси защитных газов К20 (80%Ar+20%CO₂). Остальные слои наплавляются порошковой проволокой Asm-4120-GS и Asm-4125-GS диаметром 1,6 мм.

При наплавке примем, что требуемая площадь наплавленного валика за один проход составляет $40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2$. Наплавку будем производить на постоянном

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

токе прямой полярности.

Диапазон плотностей сварочного тока при сварке и наплавке в среде защитных газов при диаметре электродной проволоки 1,6 мм составляет 90...250 А/мм².

Примем, что сила сварочного тока составляет 270 А.

Плотность сварочного тока определим по формуле (2.1) из [3]:

$$j = \frac{4I_{СВ}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 270}{3,14 \cdot 1,6^2} = 134,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}. \quad (2.1)$$

Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

Напряжение на дуге определим по формуле (2.2) из [3]:

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{СВ} \pm 1, \text{ В}, \quad (2.2)$$

где $d_{\text{Э}} = 1,6$ – диаметр электродной проволоки, мм;

$I_{СВ} = 270$ – сила сварочного тока, А.

Тогда, по формуле (2.2) получим, что

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,6}} \cdot 270 \pm 1 \approx 30,7 \pm 1 \text{ В}.$$

Скорость сварки определим по формуле (2.3) из [3]:

$$V_{СВ} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н}}} \cdot F_{\text{ЭЛ}}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.3)$$

где $V_{\text{ПОД}}$ – скорость подачи электродной проволоки, см/с;

$F_{\text{Н}} = 0,4$ – площадь наплавленного металла, см²;

$F_{\text{Э}} = 0,02$ – площадь сечения электрода, см².

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Скорость подачи электродной проволоки определим по формуле (2.4) из [3]:

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{ЭЛ}} \gamma}, \frac{\text{см}}{\text{с}}, \quad (2.4)$$

где α_p – коэффициент расплавления, г/Ач;

$F_{\text{ЭЛ}} = 0,02$ – площадь сечения электродной проволоки, см²;

$\gamma = 7,8$ – плотность металла, г/см³.

Коэффициент расплавления определим по формуле (2.5) из [3]:

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p, \quad (2.5)$$

где α'_p – составляющая, обусловленная тепловложением дуги, г/Ач;

$\Delta\alpha_p$ – составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, г/Ач.

Составляющую, обусловленную тепловложением дуги при сварке на постоянном токе прямой полярности, определим по формуле (2.6) из [3]:

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{\text{СВ}}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 270}{1,6^{1,035}} = 18 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}. \quad (2.6)$$

Составляющую, зависящую от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током, определим по формуле (2.7) из [3]:

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{\text{СВ}}}, \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{ПП}}$ – количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током, кал;

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$q_{\text{Э}} = 325$ – количество теплоты, необходимое для расплавления 1 г электродной проволоки, кал/г.

Количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током определим по формуле (2.8) из [3]:

$$Q_{\text{III}} = 0,1884j^2 \rho_0 d_{\text{Э}}^2 \left(\frac{V_{\text{Э}}}{a\alpha\beta} (e^{-p_2 l} - 1) - \frac{\alpha(T_{\text{пл}} - T_0)}{p_1} \right), \quad (2.8)$$

где $j = 13440$ – плотность тока в электроде, А/см²;

$\rho_0 = 0,000014$ – удельное электрическое сопротивление электродной проволоки при нуле градусов, Ом/см;

$d_{\text{Э}} = 0,16$ – диаметр электродной проволоки, см;

$V_{\text{Э}}$ – условная скорость подачи электрода, см/с;

$a = 0,08$ – коэффициент температуропроводности, см²/с;

$\alpha = 0,0083$ – коэффициент изменения электрического сопротивления с изменением температуры, °С⁻¹;

β – коэффициент, ед;

$l = 1,6$ – вылет электродной проволоки, см;

$T_{\text{пл}} = 1500$ – температура плавления проволоки, °С;

$T_0 = 20$ – начальная температура проволоки, °С;

p_1 и p_2 – коэффициенты, ед.

Коэффициент β определим по формуле (2.9) из [3]:

$$\beta = \frac{0,24j^2 \rho_0}{a\gamma} = \frac{0,24 \cdot 13440^2 \cdot 0,000014}{0,08 \cdot 1,25} = 6069,3 \text{ ед.} \quad (2.9)$$

где $\gamma = 1,25$ – объемная теплоемкость, кал/см³.

Условную скорость подачи проволоки определим по формуле (2.10) из [4]:

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_p I_{\text{СВ}}}{3600\pi\gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 270}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,16^2} = 8,6 \text{ см/с.} \quad (2.10)$$

Коэффициенты p_1 и p_2 определим по формуле (2.11) из [3]:

$$\begin{cases} p_1 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} - \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{8,6}{2 \cdot 0,08} - \sqrt{\frac{8,6^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 6069,3} = -107 \text{ ед;} \\ p_2 = -\frac{V_{\text{Э}}}{2a} + \sqrt{\frac{V_{\text{Э}}^2}{4a^2} - \alpha\beta} = -\frac{8,6}{2 \cdot 0,08} + \sqrt{\frac{8,6^2}{4 \cdot 0,08^2} - 0,0083 \cdot 6069,3} = -0,5 \text{ ед.} \end{cases} \quad (2.11)$$

Тогда, по формуле (2.8) получим, что

$$Q_{\text{III}} = 0,1884 \cdot 13440^2 \cdot 0,000014 \cdot 0,16^2 \cdot \left(\frac{8,6}{0,08 \cdot 0,0083 \cdot 6069,3} (e^{-0,5 \cdot 1,6} - 1) - \frac{0,0083 \cdot (1500 - 20)}{-107} \right) =$$

$$= 32 \text{ кал.}$$

Следовательно, по формуле (2.7)

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600 \cdot 32}{325 \cdot 270} = 1,3 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Тогда, по формуле (2.5) коэффициент расплавления

$$\alpha_p = 18 + 1,3 = 19,3 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

Следовательно, по формуле (2.4) получим, что скорость подачи $V_{\text{Под}}$

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{19,3 \cdot 270}{3600 \cdot 0,02 \cdot 7,8} = 9,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Тогда, по формуле (2.3) получим, что скорость сварки $V_{\text{СВ}}$

$$V_{\text{СВ}} = \frac{9,3}{0,4} \cdot 0,02 = 0,42 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Погонную энергию определим по формуле (2.12) из [3]:

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}}, \frac{\text{кал}}{\text{см}}, \quad (2.12)$$

где $\eta = 0,85$ – эффективный КПД нагрева изделия дугой.

Тогда, по формуле (2.12) получим, что

$$q_{\text{ПОГ}} = \frac{0,24 \cdot 30,7 \cdot 270 \cdot 0,85}{0,42} = 4026,1 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

Глубину провара определим по формуле (2.13) из [3]:

$$h = 0,0165 \sqrt{\frac{q_{\text{П}}}{\psi_{\text{ПР}}}}, \quad (2.13)$$

где $q_{\text{П}}$ – величина погонной энергии, кал/см;

$\psi_{\text{ПР}}$ – коэффициент формы провара, ед.

Коэффициент формы шва определим по формуле (2.14) из [3]:

$$\psi_{\text{ПР}} = \frac{k'(19 - 0,01 I_{\text{СВ}}) d_{\text{Э}} U_{\text{Д}}}{I_{\text{СВ}}}, \quad (2.14)$$

где k' – коэффициент, зависящий от плотности и полярности тока, ед.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Коэффициент k' при плотности тока $j > 120 \text{ А/мм}^2$ составляет 1,12.

Тогда, по формуле (2.14) получим, что

$$\Psi_{\text{ПР}} = \frac{1,12 \cdot (19 - 0,01 \cdot 270) \cdot 1,6 \cdot 30,7}{270} = 3,3 \text{ ед.}$$

Тогда, по формуле (2.13) глубина провара составляет

$$h = 0,0165 \cdot \sqrt{\frac{4026,1}{3,3}} = 0,58 \text{ см.}$$

Ширину шва определим по формуле (2.15) из [3]:

$$B = \Psi_{\text{ПР}} h = 3,3 \cdot 0,58 = 1,91 \text{ см.} \quad (2.15)$$

Высоту валика шва определим по формуле (2.16) из [3]:

$$C = \frac{F_{\text{Н}}}{0,73B} = \frac{0,4}{0,73 \cdot 1,91} = 0,29 \text{ см.} \quad (2.16)$$

Общая высота шва определяется по формуле (2.17) из [3]:

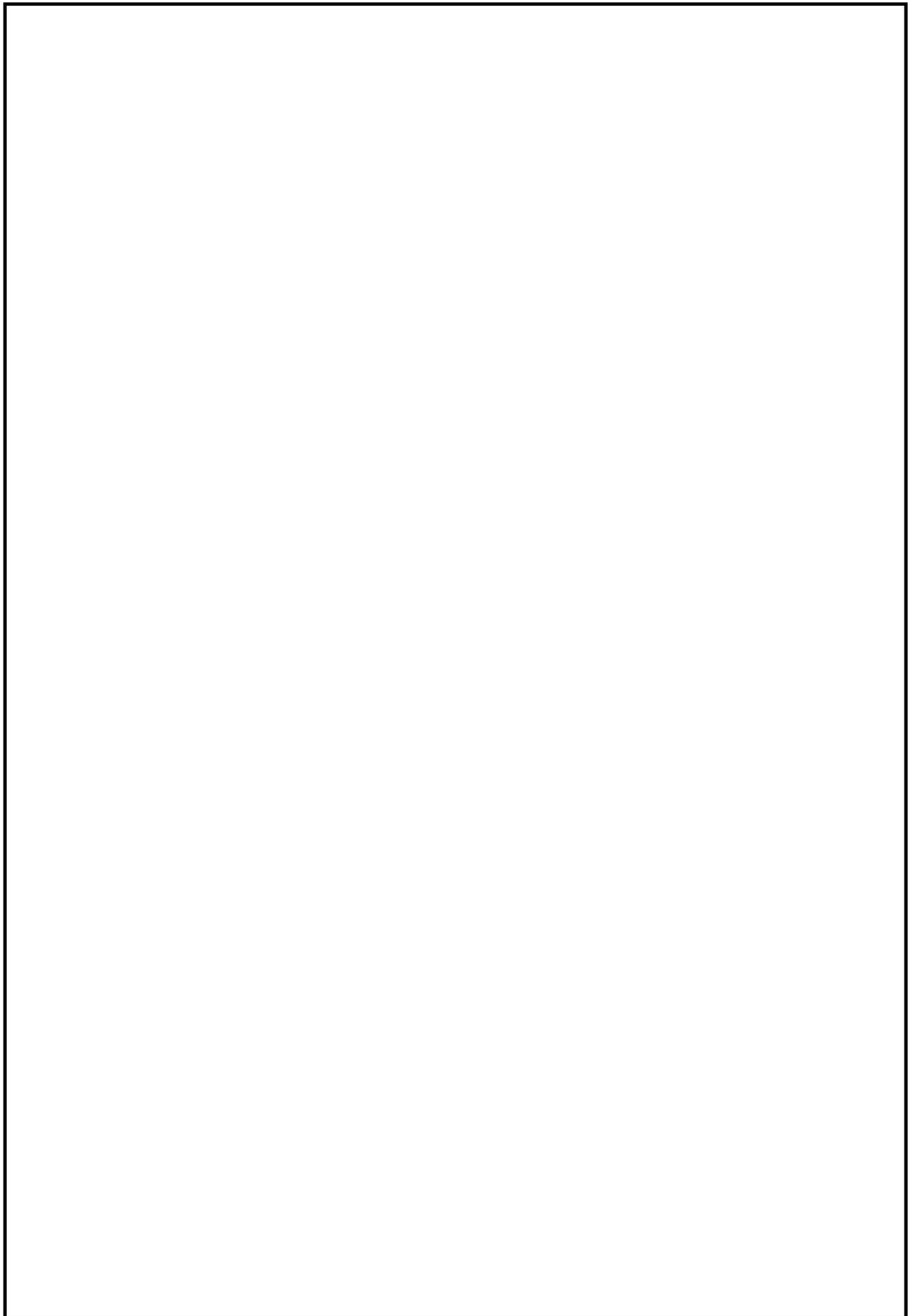
$$D = h + C = 0,58 + 0,29 = 0,87 \text{ см.} \quad (2.17)$$

Таким образом, полученные значения параметров режима наплавки обеспечивают получение валика с площадью поперечного сечения равного $0,4 \text{ см}^2$.

Для стали 5ХНМ скорость охлаждения металла в околошовной зоне при наименьшей устойчивости аустенита имеет интервал $1 \dots 12 \text{ }^\circ\text{С/с}$.

Мгновенная скорость охлаждения при наплавке валика определяется по формуле (2.18) из [3]:

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{\text{ПОГ}}}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}, \quad (2.18)$$

где $\bar{\omega}$ – безразмерный критерий процесса, ед;

$\lambda = 0,1$ – коэффициент теплопроводности, кал/см с $^\circ\text{C}$;

$T_M = 500$ – температура наименьшей устойчивости аустенита, $^\circ\text{C}$;

$T_0 = 380$ – начальная температура изделия, $^\circ\text{C}$.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.19) из [3]:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{\text{ПОГ}}}{\pi\delta^2 c\gamma(T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 4026,1}{3,14 \cdot 34,2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 380)} = 0,01. \quad (2.19)$$

При значении безразмерного критерия 0,01 получим, что $\bar{\omega} = 1$.

Тогда, по формуле (2.16) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 380)^2}{4026,1} = 9,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Так значение мгновенной скорости охлаждения $1 < 9,4 < 12$, то скорость охлаждения рассчитана правильно.

2.4.2 Режимы сварки при ремонте хвостовика

Рассчитаем режимы сварки ремонта дефектов хвостовика. При ремонте дефектов хвостовика применяется механизированная сварка в среде защитных газов проволокой диаметром 1,2 мм. При ремонте дефектов хвостовика общая площадь наплавленного металла варьируется в зависимости от глубины дефекта и размеров выборки. В расчетах примем, что площадь первого наплавленного валика составляет $30 \text{ мм}^2 = 0,3 \text{ см}^2$. Площадь остальных валиков примем равной

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2.$$

При механизированной сварке первый ремонтный слой сваривается проволокой сплошного сечения Нп-50ХНМ диаметром 1,2 мм в среде смеси защитных газов К20 (80%Ar+20%CO₂). Остальные слои наплавляются порошковой проволокой Asm-4120-GS и Asm-4125-GS диаметром 1,2 мм.

Ремонт сваркой будем производить на постоянном токе прямой полярности. Примем, что сила сварочного тока составляет 200 А. Тогда:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,2^2} = 176,9 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...270 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 200 \pm 1 = 29,1 \pm 1 \text{ В}.$$

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_{\text{р}} = 6,3 + \frac{0,0702 I_{\text{СВ}}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 200}{1,2^{1,035}} = 17,9 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4\alpha'_{\text{р}} I_{\text{СВ}}}{3600\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 17,9 \cdot 200}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 11,3 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

- коэффициент $\beta = 10514,7$ ед;
- коэффициент $p_1 = -140,6$ ед, $p_2 = -0,6$ ед;
- количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{III} = 33,1$ кал;
- составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta\alpha_p = \frac{3600Q_{III}}{q_{\text{Э}}I_{\text{СВ}}} = \frac{3600 \cdot 33,1}{325 \cdot 200} = 1,8 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

- коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta\alpha_p = 17,9 + 1,8 = 19,7 \frac{\text{Г}}{\text{Ач}}.$$

- скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{\text{СВ}}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{19,7 \cdot 200}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 12,4 \frac{\text{СМ}}{\text{С}}.$$

- скорость сварки по формуле (2.3):

$$V_{\text{СВ}} = \frac{V_{\text{ПОД}}}{F_{\text{Н1}}} \cdot F_{\text{Э}} = \frac{12,4}{0,3} \cdot 0,0113 = 0,46 \frac{\text{СМ}}{\text{С}}.$$

- эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;
- погонная энергия по формуле (2.12):

$$q_{\text{П}} = \frac{0,24 U_{\text{Д}} I_{\text{СВ}} \eta}{V_{\text{СВ}}} = \frac{0,24 \cdot 29,1 \cdot 200 \cdot 0,85}{0,46} = 2581 \frac{\text{КАЛ}}{\text{СМ}}.$$

При ремонте дефектов хвостовика примем, что соединение угловое, следовательно, $k_1 = 2/3$, а $k_2 = 1$.

Безразмерный критерий процесса $\bar{\omega}$ зависит от другого безразмерного критерия, который определяется по формуле (2.19)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2k_1 q_{\text{ПОГ}}}{\pi(\delta k_2)^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2581}{3 \cdot 3,14 \cdot (34,2 \cdot 1)^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 380)} = 0,01.$$

При значении безразмерного критерия 0,01 величина $\bar{\omega} = 1$.

Тогда, по формуле (2.18) получим, что

$$\omega = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{3 \cdot (500 - 380)^2}{2 \cdot 2581} = 5,26 \frac{^\circ\text{C}}{\text{с}}.$$

Так как значение мгновенной скорости охлаждения $1 < 9,4 < 12$, то скорость охлаждения рассчитана правильно.

При проведении ремонта хвостовика при заполнении и облицовке выбранного дефектного участка примем, что сила сварочного тока составляет 250 А. Тогда:

– плотность тока по формуле (2.1):

$$j = \frac{4I_{\text{СВ}}}{\pi d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 1,2^2} = 221,2 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

Интервал плотностей тока для проволоки диаметром 1,2 мм составляет 90...270 А/мм². Полученное значение плотности тока входит в требуемый интервал.

– напряжение на дуге по формуле (2.2):

$$U_{\text{Д}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{d_{\text{Э}}}} I_{\text{СВ}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 250 \pm 1 = 31,4 \pm 1 \text{ В}.$$

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

– составляющая, обусловленная тепловложением дуги по формуле (2.6):

$$\alpha'_p = 6,3 + \frac{0,0702 I_{CB}}{d_{\text{Э}}^{1,035}} = 6,3 + \frac{0,0702 \cdot 250}{1,2^{1,035}} = 20,8 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– условная скорость подачи проволоки по формуле (2.10):

$$V_{\text{Э}} = \frac{4 \alpha'_p I_{CB}}{3600 \pi \gamma d_{\text{Э}}^2} = \frac{4 \cdot 20,8 \cdot 250}{3600 \cdot 3,14 \cdot 7,8 \cdot 0,12^2} = 16,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– коэффициент $\beta = 16440,3$ ед;

– коэффициент $p_1 = -204,3$ ед, $p_2 = -0,7$ ед;

– количество теплоты, расходуемое на предварительный подогрев вылета электродной проволоки протекающим по нему током $Q_{\text{ПП}} = 56$ кал;

– составляющая, зависящая от тепловложения вследствие предварительного нагрева вылета электрода протекающим током по формуле (2.7):

$$\Delta \alpha_p = \frac{3600 Q_{\text{ПП}}}{q_{\text{Э}} I_{CB}} = \frac{3600 \cdot 56}{325 \cdot 250} = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– коэффициент расплавления по формуле (2.6):

$$\alpha_p = \alpha'_p + \Delta \alpha_p = 20,8 + 2,5 = 23,3 \frac{\text{г}}{\text{Ач}}.$$

– скорость подачи проволоки по формуле (2.4):

$$V_{\text{ПОД}} = \frac{\alpha_p I_{CB}}{3600 F_{\text{Э}} \gamma} = \frac{23,3 \cdot 250}{3600 \cdot 0,0113 \cdot 7,8} = 18,4 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– скорость сварки по формуле (2.3):

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$V_{CB} = \frac{V_{ПОД}}{F_{Н1}} \cdot F_{Э} = \frac{18,4}{0,4} \cdot 0,0113 = 0,52 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

– эффективный КПД нагрева изделия дугой $\eta = 0,85$ ед;

– погонная энергия по формуле (2.12):

$$q_{П} = \frac{0,24 U_{Д} I_{CB} \eta}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 31,4 \cdot 250 \cdot 0,85}{0,52} = 3079,6 \frac{\text{кал}}{\text{см}}.$$

– безразмерный критерий процесса по формуле (2.17)

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2q_{ПОГ}}{\pi \delta^2 c \gamma (T_M - T_0)} = \frac{2 \cdot 3079,6}{3,14 \cdot 34,2^2 \cdot 1,25 \cdot (500 - 380)} = 0,01.$$

При значении безразмерного критерия 0,01 получим, что $\bar{\omega} = 1$.

– мгновенная скорость охлаждения при наплавке валика по формуле (2.16)

$$\omega = \bar{\omega} 2\pi\lambda \frac{(T_M - T_0)^2}{q_{ПОГ}} = 1 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot \frac{(500 - 380)^2}{3079,6} = 3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}.$$

Так значение мгновенной скорости охлаждения $1 < 3 < 12$, то скорость охлаждения рассчитана правильно.

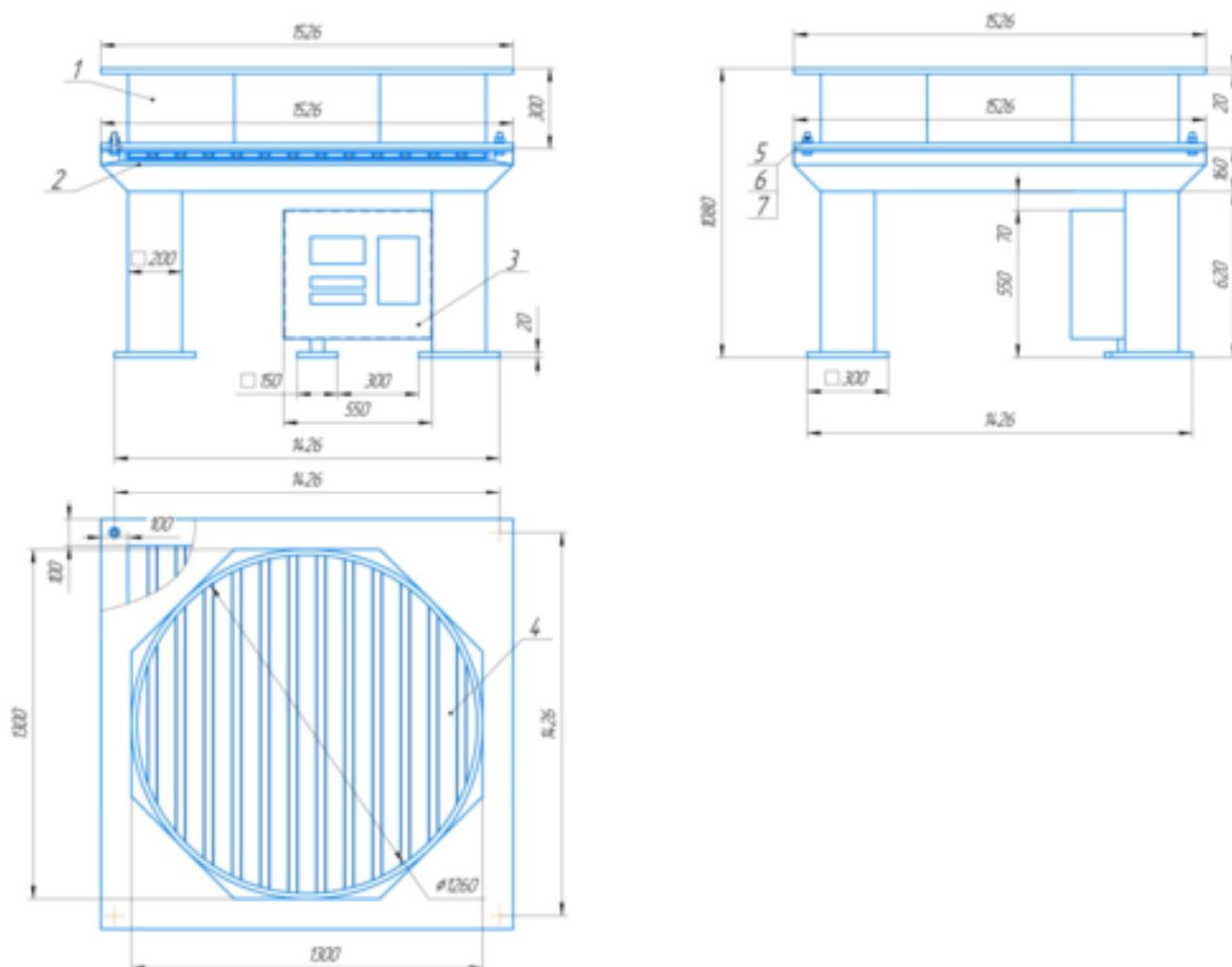
2.5 Описание конструкции сварочной установки

При проведении ремонтных наплавочных работ в базовом варианте технологического процесса штамп устанавливается на стол, который оборудован нагревательной нижней поверхностью для поддержания требуемой температуры штампа. Остальные поверхности штампа изолируют теплостойким одеялом и фольгой для удержания температуры.

В предлагаемом варианте требуется модернизировать указанный выше стол

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

для обеспечения нагрева штампов без применения теплостойких одеял и фольги. Для этого предлагается применить установку индукционного нагрева. К существующему нагревательному столу требуется прикрепить индуктор болтами с последующим закреплением соединения гайками. Общий вид предлагаемой конструкции показан на рисунке 2.11.



1 – Индуктор; 2 – Стол; 3 – Блок управления столом; 4 – Нагревательные тены;
5 – Болт М20-6g×70; 6 – Гайка М20-6G; 7 – Шайба А.12.01.08кп.016

Рисунок 2.11 – Стол с подогревом

Для закрепления к столу индуктора предлагается использовать следующие крепежные элементы:

- болты М20-6g×70, изготавливаемые по требованиям [5] в количестве 4 шт;
- гайки М20-6G, изготавливаемые по требованиям [6] в количестве 4 шт;
- шайбы А.12.01.08кп.016, изготавливаемые по требованиям [7] в количестве 4 шт.

шт.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

Для закрепления индуктора предлагается просверлить в плите стола четыре отверстия диаметром 22 мм.

В предлагаемом варианте наплавка производится с применением источника питания Fronius TPS 4000, показанного на рисунке 2.9 и характеристики которого приведены в таблице 2.10. Так как в предлагаемом варианте технологии требуется изменить сварочную проволоку, то возможно также рассмотреть вариант замены источника питания. Сравним три источника:

- сварочный выпрямитель Mig 6502C производства фирмы Esab;
- сварочный выпрямитель Wega 601 производства фирмы EWM;
- сварочный инвертор Fronius TransPulseSynergic 4000.

Общий вид источника питания Mig 6502C показан на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Общий вид источника питания Mig 6502C [18]

Сварочный выпрямитель Mig 6502 С предназначен для работы в условиях промышленного производства. Основные методы сварки, возможные с его помощью MMA и Mig/Mag. Данный аппарат снабжен двигателем с электронным регулятором для стабильной скорости подачи проволоки. Также у него имеется режим экономии энергии. Применяется в судостроении, мостостроении, машиностроении, в атомной и химической промышленности. Регулировка характеристик плавная.

Технические характеристики источника питания Mig 6502C приведены в таблице 2.15.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Таблица 2.15 – Технические характеристики источника питания Mig 6502С [18]

Характеристика	Значение
Пределы регулирования сварочного тока, А	20...650
Напряжение холостого хода, В	59
Максимальный выходной ток, А при:	
– ПВ 60%	650
– ПВ 100%	500
Сетевое напряжение, В	3×400
Габаритные размеры, мм	830×640×835
Вес, кг	228

Общий вид источника питания Wega 601 показан на рисунке 2.13.



Рисунок 2.13 – Общий вид источника питания Wega 601 [18]

Сварочный выпрямитель Wega 601 предназначен для работы в тяжелых промышленных условиях, где требуется долгая работа сварочных источников питания. Основные методы сварки, возможные с его помощью, это Mig/Mag, а также Tig. Применяется источник питания в различных областях судостроения, мостостроения, машиностроения, а также в атомной и химической промышленности. У источника Wega 601 имеется ступенчатая регулировка характеристик.

Технические характеристики источника питания Wega 601 приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Технические характеристики источника питания Wega 601 [18]

Характеристика	Значение
Пределы регулирования сварочного тока, А	50...600
Напряжение холостого хода, В	59
Максимальный выходной ток, А при:	
– ПВ 60%	600
– ПВ 100%	450
Сетевое напряжение, В	3×400
Максимальная потребляемая мощность, кВА	36,7
Количество ступеней регулирования, шт	12
Габаритные размеры, мм	960×560×1010
Вес, кг	228

Сварочный аппарат Fronius TPS 4000 показан на рисунке 2.9. Характеристики его приведены в таблице 2.10. Данный аппарат уже применяется при проведении наплавки. Основные технологии, возможные с его помощью, это Mig/Mag, импульсная сварка Mig/Mag, пайка Mig, сварка Wig постоянным током, сварка ММА.

Преимуществом данного источника питания над источником Wega 601 является плавная регулировка характеристик, а над источником Mig 6502С является наличие импульсного режима.

Выводы по разделу 2:

В разделе 2 рассматривается базовый вариант технологии исправления дефектных участков штампа формовочного. Рассмотрен порядок освидетельствования, способы удаления дефектов, а также описан порядок работы на роботизированном комплексе. При этом, в базовом варианте имеются недостатки, которые предложено изменить путем замены сварочных материалов и модернизации стола для подогрева штампа в процессе наплавки.

Для предложенного варианта подобран индуктор и рассчитаны режимы сварки, а также дано описание нового стола для подогрева.

3 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

3.1 Способы и средства контроля качества

При контроле качества ремонтных поверхностей штампа формовочного закрытого марки КШ-2708, исправленных наплавкой, применяются следующие методы контроля:

- визуальный и измерительный контроль (далее ВИК);
- ультразвуковой контроль (далее УЗК);
- капиллярный (далее ЦКД);
- контроль твердости.

ВИК применяется на всех производственных операциях как первичный метод, при котором выявляются очевидные несоответствия и отклонения от требований технической документации. Он проводится по разработанным на предприятии картам контроля в соответствии с требованиями [8]. Карты контроля должны быть утверждены главным инженером предприятия.

На операции входного контроля проверяется соответствие качества сварочных материалов. Первичная проверка материалов осуществляется путем сравнения маркировки на упаковке и приложенного сертификата качества.

При проверке сварочных материалов контролируется отсутствие ржавчины и механических повреждений проволоки. Газы проверяются заводской лабораторией на соответствие паспортным данным ротаметрами (контроль состава газовой смеси).

В то же время проводятся выборочные испытания сварочных материалов путем наплавки на образец либо сварки контрольного сварного соединения и проверки технологических, механических и металлографических свойств.

Также на операции входного контроля проводится техническое

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

освидетельствование ремонтного штампа и выдается заключение о возможности его ремонта.

На операции текущего контроля проводится осмотр выстроганной поверхности на наличие дефектов, которые изначально были скрыты под поверхностью металла штампа. На этом же переделе проводится проверка качества после зачистки поверхностей перед наплавкой. При текущем контроле проводится контроль температуры предварительного, сопутствующего и дополнительного подогрева в печах, а также контроль температуры термической обработки.

При наплавке контролируются геометрические размеры первого валика (в случае несоответствия проводится корректировка режимов). Также контролируются режимы наплавки и возможные дефекты при наплавке каждого слоя.

При проведении ВИК применяются шаблоны, линейки измерительные, штангенциркули, увеличительные лупы, а также фонарики и прочее оборудование.

Для контроля наличия недопустимых поверхностных дефектов применяется капиллярный контроль (ЦКД). Данный метод контроля основан на выявлении на проявителе следов пенетранта, который заполняет полости и после очищения поверхности очистителем остается в полостях.

Для проведения ЦКД применяется специальный комплекс для контроля, который состоит из следующих элементов:

- пенетрант;
- очиститель;
- проявитель.

Для контроля наличия внутренних дефектов применяется ультразвуковой контроль (УЗК). Данный метод контроля основан на прохождении ультразвуковых волн в материале контролируемого объекта. Если дефекты отсутствуют, то волна проходит напрямую до ближайшей границы. При наличии дефекта, волна отражается от его границы и фиксируется сигналом.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Для проведения УЗК применяются различные ультразвуковые дефектоскопы, предназначенные как для контроля сварных соединений, так и для контроля основного металла.

Контроль твердости наплавленных поверхностей проводится переносным портативным твердомером.

3.2 Допустимые и недопустимые дефекты

В процессе проведения ВИК выстроганных поверхностей до наплавки не допускаются любые дефекты, которые могут оказывать влияние на работоспособность штампа (поверхностные поры, трещины).

После наплавки на поверхности штампа не допускаются дефекты, которые могут вывести штамп из строя (трещины любых видов и направлений, поверхностные поры).

При ЦКД недопустимыми дефектами являются любые индикации на контролируемой поверхности, длина которых превышает 2 мм в любом направлении.

По результатам ультразвукового контроля не допускаются несплавления между валиками, внутренние поры диаметром более 2 мм при расстоянии между ними менее 50 мм и расстоянием до поверхности менее 20 мм, расслоения металла, трещины.

При контроле твердости недопустимым дефектом является несоответствие величины твердости требуемой.

Обнаруженные по результатам ВИК, ЦКД, УЗК дефекты ремонтируют механизированной сваркой по технологии исправления дефектных участков хвостовика.

При несоответствии твердости штамп проходит повторную термообработку по посленаплавочным режимам.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

3.3 Оборудование для контроля качества

При проведении ВИК штампов в процессе освидетельствования и после строжки применяют фонарик, лупу с увеличением до 10 раз, линейку металлическую длиной не менее 20 мм, а также специальные шаблоны для контроля фигуры и возможных ее отклонений. После проведения наплавки проводится контроль ширины первого валика штангенциркулем ЩЦ-1-125-0,1. Высота валика контролируется шаблоном УШС-3. После термообработки и точения ремонтных поверхностей проводится ВИК с применением специального шаблона для фигуры, а также фонарика, лупы с увеличением до 10 раз.

Для проведения УЗК применяется ультразвуковой дефектоскоп марки А1212 Master, показанный на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Дефектоскоп А1212 Master [19]

Характеристики дефектоскопа показаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики ультразвукового дефектоскопа А1212 Master [19]

Характеристика	Значение
Величина развертки, мкс, с шагом 1 мкс:	
– минимальная	0...4
– максимальная	0...1000
Задержка, мкс, с шагом 0,02 мкс	-0,5...996
Максимальная длина контролируемого материала, мм	3000
Диапазон скоростей распространения волны, м/с	1000...9999

Продолжение таблицы.

Задержка в призме, мкс, с шагом 0,01 мкс	0...100
Демпфирование, Ом	25/50/1000
Входной импеданс, Ом	50/600
Зондирующий импульс, радиоимпульс амплитудой 50 или 200 В с регулируемым числом полупериодов (1...10)	50...500 с шагом 16 нс
Усилитель широкополосный, МГц	0,4...15
Частота повторений зондирующих импульсов, Гц с шагом 40Гц	До 800
Демпфер зондирующего импульса, число полупериодов, шт: – регулируемый – с задержкой демпфирования	0...10 0...10
Диапазон регулировки усиления, дБ	110 с шагом 0,5, 1, 2, 6
Напряжение питания ,В	15
Диапазон рабочих температур, °С	-30...55
Габаритные размеры, мм	200×225×80
Масса, кг	1,38

При проведении ЦКД применяется набор для проведения капиллярной дефектоскопии марки Sherwin. В состав набора входит:

- пенетрант красного цвета;
- очиститель;
- проявитель.

При контроле твердости применяется портативный динамический твердомер марки Элит-2Д, показанный на рисунке 3.2.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

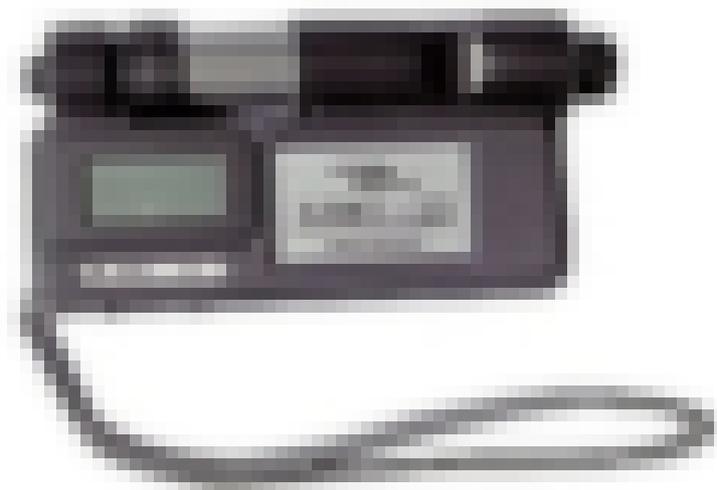


Рисунок 3.2 – Твердомер Элит-2Д [20]

Характеристики твердомера Элит-2Д показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики твердомера Элит-2Д [20]

Характеристика	Значение
Диапазон измерений, ед: – HRB – HRC	80...450 20...70
Погрешность измерений, ед, не более: – HRC = 20...30 – HRC = 30...70 – HB	±2 ±1,5 ±15
Габаритные размеры, мм	120×60×25

3.4 Методика контроля

3.4.1 Визуальный и измерительный контроль

При проведении ВИК персонал, который осуществляет контроль, должен быть аттестован на уровень I, II, III согласно [9]. При этом заключение о годности выдается лишь специалистами II и III уровней.

Освещенность участка контроля должна быть не менее 500 лк.

Осмотр поверхности штампа при освидетельствовании проводить невооруженным глазом либо с применением лупы с десятикратным увеличением.

Измерение обнаруженных дефектов по длине проводить линейкой металлической длиной 20 см (или аналогами с соответствующими характеристиками). Ширина раскрытия дефекта оценивается визуально по эталонам.

При контроле геометрических параметров износа применять специальные шаблоны. Оценка износа проводится при несоответствии рабочей поверхности шаблона и контролируемой поверхности штампа.

При контроле ширины валиков применять штангенциркуль ЩЦ-1-125-0,1.

Контроль геометрических параметров штампа после точения проводить шаблонами.

3.4.2 Ультразвуковой контроль

Перед проведением ультразвукового контроля требуется обеспечить требуемую шероховатость поверхности – Rz 40.

Для настройки дефектоскопа применяются стандартные образцы с нанесенной с обратной стороны меткой (отверстием) диаметром 1 мм. Глубина отверстия составляет не менее 50 мм.

Перед ультразвуковым контролем поверхность должна быть очищена от окалины, грязи и плен.

После подготовки поверхность штампа разделяется на квадратные участки с размерами 200...250 мм. Далее на контролируемый участок наносится контактная жидкость.

После этого провести контроль основного металла. При обнаружении дефектов в основном металле штампа провести расшифровку выявленных дефектов и, при возможности, их устранить.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

3.4.3 Капиллярный контроль

Перед проведением контроля требуется провести зачистку контролируемых швов лепестковым кругом до металлического блеска. При этом шероховатость поверхности не должна превышать Rz 20.

Перед контролем провести очистку поверхности ацетоном или очистителем Sherwin.

Контроль проводится на квадратных участках с размерами 400 мм. Проверка каждого следующего участка должна производиться с перекрытием предыдущего участка длиной не менее 30 мм.

Пенетрант Sherwin следует наносить на рабочую поверхность после ее подготовки. Время выдержки пенетранта на поверхности должно составлять не менее 15 минут.

После выдержки контролируемую поверхность штампа очистить очистителем Sherwin. Очистку проводить тканью. Очищать поверхность следует до такой степени, чтобы на ткани не осталось следов пенетранта.

После очистки на контролируемую поверхность следует нанести проявитель. Проявитель наносится с расстояния не менее 150 мм до контролируемой поверхности равномерно. При этом не следует наносить проявитель большим слоем. Для наиболее качественного контроля проявитель требуется наносить за один проход.

После нанесения проявителя, контролируемый участок штампа следует выдержать в течение не менее 30 минут и после этого провести первичный осмотр. Если при первичном осмотре отсутствуют дефекты, то провести дальнейшую выдержку не менее 15 минут и повторно проконтролировать.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

3.4.4 Контроль твердости

Перед контролем твердости требуется провести зачистку ровной площадки с размерами 30×30 мм не менее чем в пяти местах по контролируемой поверхности штампа.

После подготовки на каждый участок штампа установить твердомер бойком вниз в вертикальное положение провести контроль твердости. Контроль проводить не менее чем в пяти точках на каждом участке. Фактическое значение твердости определять как среднеарифметическое по результатам пяти измерений.

Выводы по разделу 3:

В разделе 3 рассматриваются методы контроля качества наплавленной поверхности штампа формовочного. Рассмотрены основные методы контроля. Описаны критерии оценки годности наплавленной поверхности. Описано применяемое для контроля оборудование, а также рассмотрены методики проведения контроля.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

При производстве сварочных работ на исполнителей оказывают воздействие разные опасные и вредные производственные факторы.

К вредным производственным факторам относятся следующие:

- повышенная загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны;
- видимое, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение сварочной дуги при сварке, а также инфракрасное излучение самой ванны и изделий, подвергшихся сварке;
- электромагнитное поле;
- ионизирующее излучение;
- повышенный уровень шума.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

При сварке в зоне дыхания производителей работ присутствуют различные сварочные аэрозоли, которые содержат в своем составе окислы металлов и иные химические соединения. При воздействии на организм различных вредных веществ возможно получение острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

При отсутствии защиты от излучения сварочной дуги появляется высокая вероятность поражения органов зрения, а также ожоги кожных покровов. Инфракрасное излучение от изделий, подвергшихся предварительному подогреву, оказывает на здоровье негативное воздействие.

Источниками повышенного шума являются компрессоры, генераторы, вакуумные насосы и т. д. Источниками ультразвука являются ультразвуковые генераторы, рабочие органы установок и т. д.

К опасным производственным факторам относятся:

- электрический ток;
- брызги расплавленного металла;
- вероятность взрыва баллонов и систем, которые находятся под давлением;
- движущиеся изделия и механизмы.

4.2 Техника безопасности при производстве сварочных работ

4.2.1 Обеспечение санитарно-гигиенических условий труда

В целях профилактики неблагоприятного воздействия опасных и вредных производственных факторов должны применяться следующие мероприятия:

- использование средств индивидуальной защиты, которые уменьшают тепловое воздействие на организм рабочего;
- регламентация времени работы (перерывы в работе, сокращение рабочего дня и т. д.).

Рабочие места исполнителей работ должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (тенты) из несгораемого

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты от воздействия внешней среды.

Расстояние между элементами оборудования на монтажной площадке должно быть не менее 2 м друг от друга.

Ширина проходов с каждой стороны рабочего места должна быть не менее 1 м.

Рабочие места, расположенные выше 1,3 м от уровня земли или сплошного перекрытия, должны быть оборудованы ограждениями высотой не менее 1,1 м, состоящими из поручня, одного промежуточного элемента и бортовой доски шириной не менее 0,15 м.

Для защиты от выделения сварочных аэрозолей, пыли и газов применяется местная вентиляция.

Снижение шума при работе осуществляется следующими методами:

- организационными;
- звукоизоляции;
- звукопоглощения;
- виброизоляции;
- дистанционного управления из звукоизолирующих кабин.

4.2.2 Обеспечение электрической безопасности

Для обеспечения электробезопасности должны соблюдаться следующие требования:

– при электросварочных работах должны применяться оборудование, аппараты и приспособления, удовлетворяющие требованиям действующих стандартов и нормативов на соответствующее сварочное оборудование;

– напряжение холостого хода источников сварочного тока не должно превышать максимальных значений, указанных в стандартах на соответствующее оборудование;

– для дуговой сварки необходимо применять изолированные гибкие кабели,

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

рассчитанные на надежную работу при максимальных электрических нагрузках с учетом продолжительности цикла сварки;

– соединение сварочных кабелей следует производить опрессовкой, сваркой или пайкой с последующей изоляцией мест соединения;

– подключение кабелей к сварочному оборудованию должно осуществляться при помощи опрессованных или припаянных кабельных наконечников;

– при прокладке или перемещении сварочных проводов необходимо принимать меры против повреждения их изоляции и соприкосновения с водой, маслом, стальными канатами и горячими трубопроводами;

– в электросварочных аппаратах и источниках их питания элементы, находящиеся под напряжением, должны быть закрыты оградительными устройствами;

– электросварочная установка (преобразователь, сварочный трансформатор и т.п.) должна присоединяться к источнику питания через рубильник и предохранители или автоматический выключатель, а при напряжении холостого хода более 70 В должно применяться автоматическое отключение сварочного трансформатора;

– металлические части электросварочного оборудования, не находящиеся под напряжением, а также свариваемые изделия и конструкции на все время сварки должны быть заземлены, а у сварочного трансформатора, кроме того, заземляющий болт корпуса должен быть соединен с зажимом вторичной обмотки, к которому подключается обратный провод;

– в качестве обратного провода или его элементов могут быть использованы стальные шины и конструкции, если их сечение обеспечивает безопасное по условиям нагрева протекание сварочного тока. Соединение между собой отдельных элементов, применяемых в качестве обратного провода, должно быть надежным и выполняться на болтах, зажимах или сваркой;

– запрещается использовать провода сети заземления, трубы санитарно - технических сетей (водопровод, газопровод и др.), металлические конструкции зданий, технологическое оборудование в качестве обратного провода

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

электросварки;

– корпус любой электросварочной установки необходимо заземлять. Машины, в которых осуществление защитного заземления представляет трудности, должны быть оснащены устройствами защитного отключения, обеспечивающего отключение всех фаз сети при появлении в сварочной цепи напряжения сети. Для присоединения заземляющего провода на электросварочном оборудовании должен быть предусмотрен болт, расположенный в доступном месте, с надписью «Земля». Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких аппаратов запрещается;

– на установках или автоматических линиях с большим фронтом обслуживания кнопки аварийного отключения должны располагаться друг от друга на расстоянии не более 10 м. Используемые в таких случаях кнопки управления должны иметь защелки, обеспечивающие только принудительное возвращение контактов в первоначальное состояние. Пульты управления оснащаются блокировками, исключающими возможность параллельного управления от различных пультов, сигнализацией, а также аварийными кнопками для включения установки (линии);

– запрещается оставлять на рабочем месте электросварочный инструмент, находящийся под напряжением;

– запрещается производить ремонт электросварочных установок под напряжением;

– в связи с вероятностью воздействия электрического тока весь персонал, обслуживающий электросварочные установки, должен проходить обучение и аттестацию на соответствующую квалификационную группу по электробезопасности.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

4.2.3 Обеспечение пожарной безопасности

В соответствии с НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» сварочный участок относится к категории «Г» производства, где в обращении находятся негорючие вещества и материалы, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла и искрения пламени.

Для ликвидации возможных очагов пожара в цеховых условиях присутствуют пожарные щиты.

В комплект пожарного щита входят:

- огнетушители воздушно-пенные вместимостью 10 л – 2 шт;
- порошковые вместимостью 10 л – 1 шт, 5 л – 2 шт;
- лом – 1 шт;
- ведро – 1 шт;
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала) – 1 шт;
- лопата штыковая – 1 шт;
- тележка для перевозки оборудования – 1 шт;
- емкость для хранения воды объемом 0,02 м³ – 1 шт;
- насос ручной – 1 шт;
- рукав ДУ 18-20 длиной 5 м – 1 шт.

4.3 Безопасность при работе с подъемными устройствами

При работе с подъемными устройствами следует соблюдать следующие рекомендации:

- строповочные работы допускается производить обученному персоналу;
- строповку штампа производить мягкими чалками грузоподъемностью не менее 1 т каждая;
- при транспортировании по цеховой площадке штампа либо других

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

элементов запрещается находиться в зоне транспортировки на расстоянии ближе 10 м.

4.4 Планировка участка

Вид цеха изготовления и ремонта штампов и прочей кузнечно-прессовой оснастки показан на рисунке 4.1.

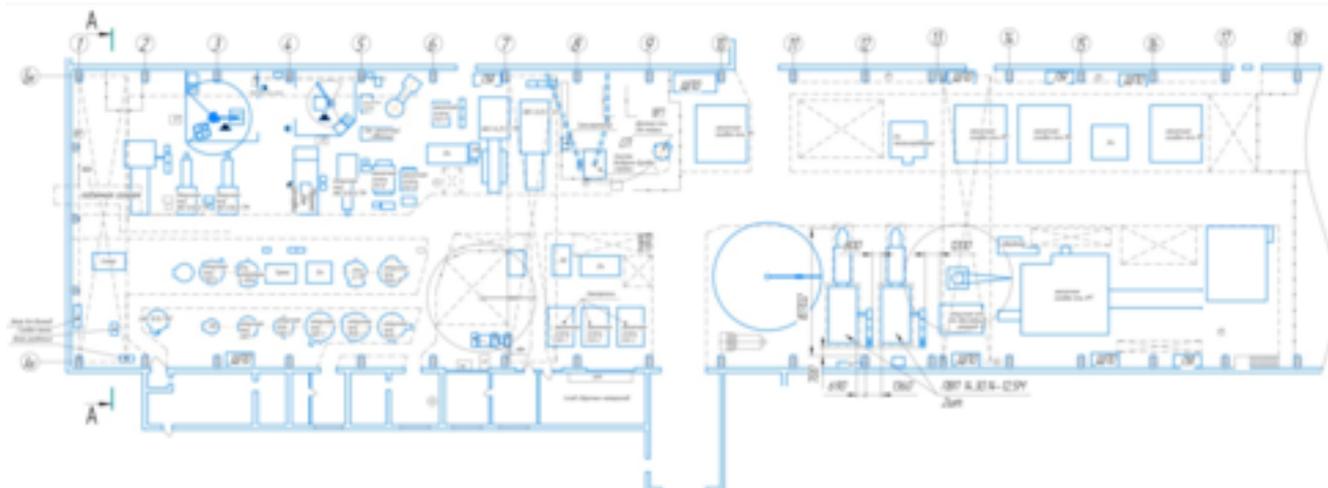
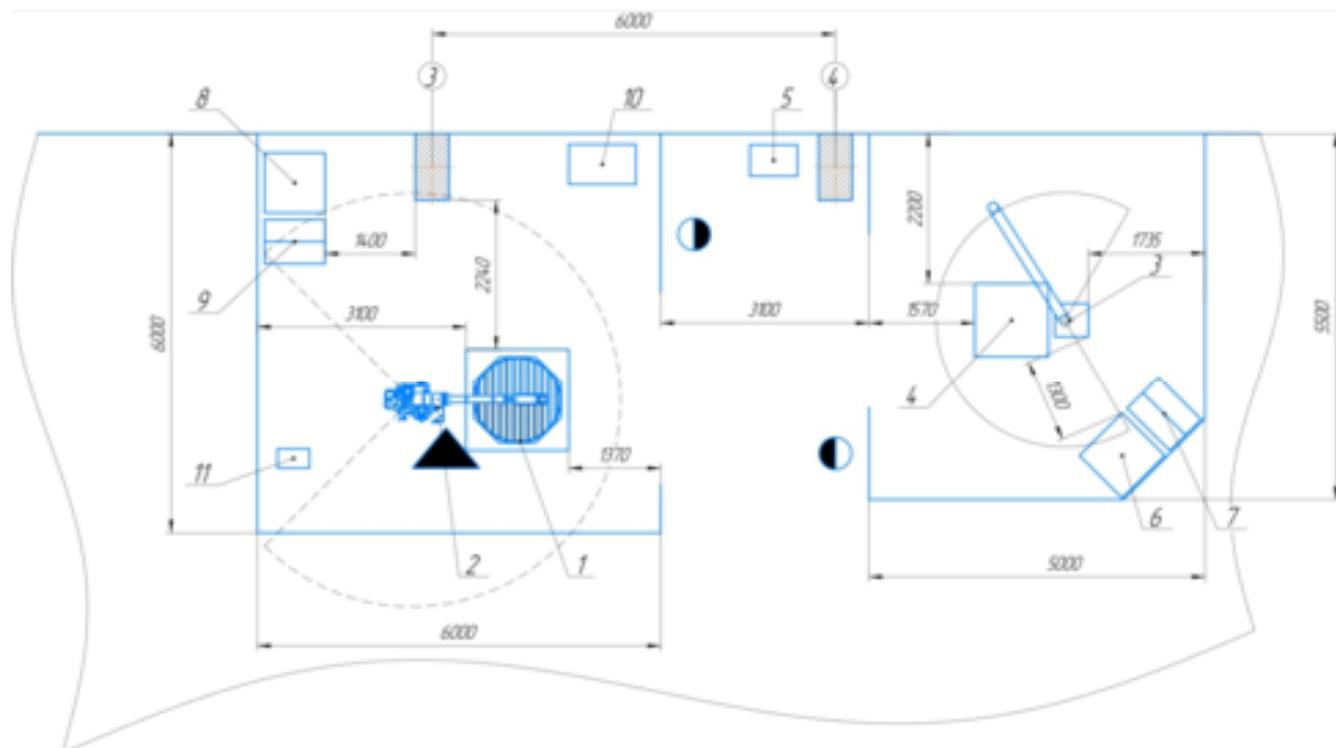


Рисунок 4.1 – Вид цеха изготовления и ремонта штампов и прочей кузнечно-прессовой оснастки

В цехе располагается оборудование для проведения термической обработки, предварительного и сопутствующего подогрева штампов перед ремонтом. Для обработки наплавленных мест и подготовки под наплавку в цехе присутствует участок механической обработки.

Восстановление рабочей части штампов проводится на участке наплавки, показанном на рисунке 4.2.



1 – Стол с индуктором; 2 – Робот Motoman MH-50II-20; 3 – Сканер RS1;
 4 – Стол для сканирования; 5 – Инструменты; 6 – Стол слесарный; 7 – Шкаф с инструментами; 8 – Стол слесарный; 9 – Шкаф с инструментами; 10 – Шкаф управления индуктором; 11 – Источник питания Fronius TPS 4000

Рисунок 4.2 – Участок наплавки

Участок наплавки состоит из двух зон:

- зона сканирования;
- зона наплавки.

В зоне сканирования находится сканер RS1 (поз. 3, рисунок 4.2), стол для сканирования (поз. 4, рисунок 4.2). Слесарные работы проводятся на слесарном столе (поз. 6, рисунок 4.2). Инструменты хранятся в запираемом шкафу (поз. 7, рисунок 4.2).

В зоне наплавки установлен наплавочный комплекс, состоящий из следующих элементов:

- стол с индуктором (поз. 1, рисунок 4.2);
- робот Motoman MH-50II-20 (поз. 2, рисунок 4.2);
- стол слесарный (поз. 8, рисунок 4.2);
- шкаф с инструментами (поз. 9, рисунок 4.2);

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

10 – шкаф управления индуктором (поз. 10, рисунок 4.2);

11 – источник питания Fronius TPS 4000 (поз. 11, рисунок 4.2).

Для устранения из зоны сварки вредных газов и примесей в установке сварочного робота присутствует устройство местной вентиляции.

Выводы по разделу 4:

В разделе 4 рассмотрены возникающие опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают влияние на жизнь и здоровье исполнителей работ. Рассмотрены способы снизить влияние этих факторов.

Описана техника безопасности при производстве различных видов работ, а также с применением подъемно-транспортных механизмов.

Описана планировка цеха и наплавочного участка.

5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

5.1 План эксперимента, цели и задачи

В экспериментальном разделе рассматривается сравнение механических характеристик наплавленного металла при базовом варианте технологии изготовления и при проектируемом.

План эксперимента состоит в наплавке на образец валиков в несколько слоев из различных марок проволоки и проведение лабораторных исследований наплавленного металла.

Целью эксперимента является подтвердить или опровергнуть преимущество предлагаемого варианта технологии восстановительной наплавки над базовым в практических условиях.

Задачи эксперимента:

1. Подготовить образцы размерами 300×300 мм;
2. Выполнить наплавку валиков на образец по режимам базового варианта проволоками в следующем порядке:

– первый слой порошковой проволокой Eureka 635 диаметром 1,6 мм

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

(наплавка производится в один слой);

– следующие слои порошковой проволокой Eureka 450 диаметром 1,6 мм (количество слоев не менее 4);

– последние слои порошковой проволокой Eureka 650 диаметром 1,6 мм. (количество наплавляемых слоев не менее 3).

3. Выполнить наплавку валиков на образец по режимам проектируемого варианта проволоками в следующем порядке:

– первый слой проволокой сплошного сечения Нп-50ХНМ диаметром 1,6 мм.

– следующие слои проволокой Asm 4120-GS диаметром 1,6 мм;

– последние проволокой марки Asm 4125-GS диаметром 1,6 мм.

4. Сделать микрошлиф образца;

5. Провести проверку следующих механических свойств:

– испытания на растяжение;

– испытания на сжатие;

– испытания твердости;

– проверка химического состава.

Испытания проводятся на следующем оборудовании:

– испытания на растяжение и сжатие – испытательная машина Unimat M250, показанная на рисунке 5.1.

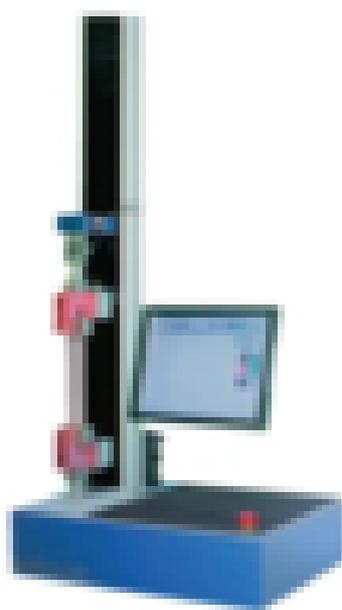


Рисунок 5.1 – Испытательная машина Unimat M250 [20]

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Характеристики машины Unimat M250 показаны в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристики машины Unimat M250 [20]

Характеристика	Значение
Максимальная сила испытания, кН	5
Погрешность измерения, %	0,1
Скорость передвижения траверсы, мм/мин	0,2...1000
Размер рабочей поверхности, мм	50
Максимальное перемещение траверсы, мм	750

– испытания на твердость – стационарный твердомер ТН550, показанный на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Стационарный твердомер ТН550 [20]

Характеристики твердомера ТН550 показаны в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристики твердомера ТН550 [20]

Характеристика	Значение
Предварительная нагрузка, Н	98,1
Шкалы по Роквеллу	HRA, HRB, HRC
Дискретность измерений, HR	0,5
Вертикальное пространство измерений, мм	175
Горизонтальное пространство измерений, мм	160

Продолжение таблицы.

Диапазон измерений, ед:	
– HRA	20...88
– HRB	20...100
– HRC	20...70
Габаритные размеры, мм	520×240×700
Масса, кг	60

– проверка химического состава – портативный спектрометр Tracer 5, показанный на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Портативный спектрометр Tracer 5

Характеристики спектрометра Tracer 5 показаны в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Характеристики твердомера ТН550 [20]

Характеристика	Значение
Напряжение, кВ	6...50
Рабочий ток, мкА	4,5...195
Разрешение, эВ, не более, по линии Mn-Kα (250 000 импульсов / сек)	140 эВ

Продолжение таблицы.

Размер пятна, мм	3 или 8 мм
Рабочая среда	Вакуум, гелий, воздух
Масса, кг	1,9
Размеры, мм	273×94×295
Режимы работы	Spectrometry (спектрометрия) Precious Metals (определение массовой доли драгоценных металлов)

Испытания проводятся в заводской лаборатории. Основным параметром, от которого зависит работоспособность и износостойкость штампа является твердость.

5.2 Результаты проведенных исследований

Результаты проверки химического состава при наплавке проволоками Eureka 635, Eureka 450, Eureka 650 показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты проверки химического состава при наплавке проволоками Eureka 635, Eureka 450, Eureka 650

В процентах

№ слоя	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	V	Ti	Al	Cu
№1	0,34	0,56	0,91	8,86	1,59	1,78	0,018	0,016	0,15	0,05	0,02	0,06
№2	0,3	0,51	0,83	8,31	1,39	1,73	0,014	0,019	0,1	0,05	0,02	0,07

Результаты проверки механических свойств при наплавке проволоками Eureka 635, Eureka 450, Eureka 650 показаны в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Результаты проверки механических свойств при наплавке проволоками Eureka 635, Eureka 450, Eureka 650

№ образца	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	HRC
1	710	980	1,8	3,3	31...34
2	720	890	2,2	3	48...49

Результаты проверки химического состава при наплавке проволоками Нп-50ХНМ, Asm 4120-GS, Asm 4125-GS диаметром показаны в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты проверки химического состава при наплавке проволоками Нп-50ХНМ, Asm 4120-GS, Asm 4125-GS

В процентах

№ слоя	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	V	Ti	Al	Cu
№1	0,35	0,37	0,78	8,93	2,35	1,99	0,021	0,024	0,04	0,04	0,01	0,06
№2	0,3	0,37	0,78	8,6	2,35	1,99	0,021	0,024	0,04	0,04	0,01	0,06

Результаты проверки механических свойств при наплавке проволоками Нп-50ХНМ, Asm 4120-GS, Asm 4125-GS показаны в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Результаты проверки механических свойств при наплавке проволоками Нп-50ХНМ, Asm 4120-GS, Asm 4125-GS

№ образца	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	HRC
1	740	940	1,8	3,1	52...53
2	820	800	0,8	0,7	53,5

Как видно из таблиц 5.5 и 5.7, при наплавке по проектируемому варианту относительное удлинение и относительное сужение меньше, чем по базовому, следовательно, металл более твердый и менее пластичный, что оказывает

положительное влияние на износостойкость штампа. При этом, прочностные характеристики также различаются. При наплавке по проектируемому варианту предел текучести ниже, а предел временного сопротивления больше, что также показывается на меньшую пластичность. Также твердость наплавленного слоя при наплавке по проектируемому варианту больше, чем по базовому.

Таким образом, при сравнении двух вариантов технологии и при натуральных испытаниях образцов выявлено, но наплавка по проектируемому варианту дает более износостойкую поверхность.

Выводы по разделу 5:

В разделе 5 описывается проведение натуральных испытаний на образцах, валики на которых наплавлены по базовому и предлагаемому вариантах. Описано применяемое оборудование и проведен анализ результатов испытаний.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе технологический процесс восстановления изношенной рабочей поверхности штампа формовочного закрытого марки КШ-2708, применяемого в составе штамповочного стана. Штамп формовочный предназначен для получения штампованных деталей методом горячей штамповки. В процессе работы штамп испытывает большие нагрузки и, при появлении дефектов на рабочей поверхности или поверхности хвостовика выходит из строя. В работе рассматривается технология восстановления методом наплавки.

Рассмотрена конструкция штампа, основной материал и определена температура предварительного и сопутствующего подогрева. Рассмотрен существующий вариант технологии наплавки в среде защитных газов и выявлено, что при наплавке появляются дополнительные транспортировочные операции, которые необходимы для доставки штампа к печи для сопутствующего подогрева.

В текущей работе предлагается усовершенствовать существующую технологию восстановления. Для усовершенствования технологии было предложено применить в составе стола для подогрева индукционную нагревательную установку. Это позволило отменить транспортировочные операции для подогрева.

Для повышения производительности и отказа от зачистки каждого прохода от шлака предложено заменить порошковую проволоку зарубежного производства на проволоку сплошного сечения производства череповецкого металлургического комбината.

Это позволило повысить производительность, уменьшить время на транспортировочные операции и повысить износостойкость штампа, что подтверждено проведенными в исследовательско-экспериментальном разделе испытаниями.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 5950-2000 «Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия».
2. ГОСТ 10543-98 «Проволока стальная наплавочная. Технические условия».
3. Зайцев, Н. Л. Теоретические основы сварки плавлением: учебное пособие/ Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 78 с.
4. Акулов, А. И. Технология и оборудования сварки плавлением. Учебник для студентов вузов/ А. И. Акулов, Г. А. Бельчук, В. П. Демянцевич. – М.: «Машиностроение», 1977. – 432с. с ил.
5. ГОСТ 7798-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры».
6. ГОСТ 5915-70 «Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры».
7. ГОСТ 11371-78 «Шайбы. Технические условия».
8. РД 03-060-03 «Инструкция по визуальному и измерительному контролю».
9. ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля».
10. СТО ЮУрГУ 04-2008. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. Компьютерная версия. – 2-е изд. перераб./ Составители: Т. И. Парубочая, Н. В. Сырейщикова, В. И. Гузеев, Л. В. Винокурова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
11. <http://www.ligasvarki.ru>
12. <https://24weld.ru/>
13. <http://www.promgeo.com/>
14. <http://www.eurekaweldingalloys.com/>
15. <http://www.yaskawa.eu.com/>
16. <http://www.prl.ru/>
17. <http://www.asm-swm.com/>
18. <http://www.gazss.ru>.

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

19. <http://www.acsys.ru>.

20. <http://www.geo-ntd.ru>

					ЮУрГУ-15.03.01.2019.187.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77