

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(наименование института полностью)

**Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»**

(наименование кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Оборудование и технология сварочного производства

(направленность)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

**на тему Разработка технологии сварки крышки мельницы**

Студент

**Р. А. Бирюков**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**Г. М. Короткова**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

**И. В. Дерябин**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**И. В. Краснопевцева**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**В. Г. Виткалов**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**С. А. Гудкова**

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д-р.техн.наук, проф. В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
(наименование института полностью)  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»  
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой В.В.Ельцов  
\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на бакалаврскую работу**

Студент Бирюков Рустям Асятович

1. Тема «Разработка технологии сварки крышки мельницы »
2. Срок сдачи студентом законченного проекта 19.06.2017г
3. Исходные данные к проекту: конструкция крышки мельницы, соединения угловые и стыковые, способы сварки – РДС, материал ст. 09Г2С, источники питания переменного тока.
4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).

Введение (доказать актуальность темы и сформулировать цель проекта).

1. Анализ конструкции крышки мельницы (Сформулировать задачи проекта).
2. Обоснование замены способа сварки.
3. Проектирование технологии механизированной сварки порошковой проволокой.
4. Безопасность и экологичность технологического объекта.
5. Экономическая эффективность проекта.

Заключение (в выводах показать, что цель, поставленная в проекте, достигнута).

Список используемой литературы

5. Перечень графического и иллюстрированного материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Внешний вид крышки мельницы – 1 лист
2. Анализ сварных соединений крышки мельницы – 1 лист
3. Технология сборки - сварки - 2 листа
4. Технология сборки – сварки (проект) – 1 лист
5. Экономическое обоснование проекта – 1 лист

6. Консультанты по разделам

1. Безопасность и экологичность проекта: ст. препод. кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью» И.В. Дерябин

2. Экономическое обоснование проекта: д.э.н., профессор кафедры «Управление инновациями и маркетинга» И.В. Краснопевцева

3. Нормоконтроль проекта: к.т.н., доцент кафедры ДиИГ секция «Инженерная графика» В.Г. Виткалов

4. Языковая подготовка: С.А. Гудкова

7. Дата выдачи задания «28» 02. 2017г.

Руководитель дипломного проекта \_\_\_\_\_ Г.М. Короткова  
(личная подпись) (инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Р.А. Бирюков  
(личная подпись) (инициалы, фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
(наименование института полностью)  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»  
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой СОМДиРП

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения бакалаврской работы**

Студента **Бирюкова Рустяма Асютвича**

Тема **«Разработка технологии сварки крышки мельницы »**

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
1 глава. 2 листа формата А1	03.04.17-20.04.17	03.04.17-20.04.17	Выполнено	
2 глава, 1 лист, А1	21.04.17-09.05.17	21.04.17-09.05.17	Выполнено	
3 гл. 2 листа А1	10.05.17-22.05.17	10.05.17-22.05.17	Выполнено	
4 глава	23.05.17-28.05.17	23.05.17-28.05.17	Выполнено	
5 гл, 1 лист А1	29.05.17-10.06.17	29.05.17-10.06.17	Выполнено	
Предварит. защита	График кафедры	14.06.17	Выполнено	

Руководитель выпускной квалификационной работы

\_\_\_\_\_

(подпись)

Г.М.Короткова

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

(подпись)

Р.А. Бирюков

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Выпускная работа включает в себя пояснительную записку на 61 странице, включая 10 картинок, 21 таблиц, список источников из 26 ссылок, из которых 5 иностранных, а также графическую часть на 6 листах А1.

В выпускном проекте рассматривается сварка крышки мельницы. Сравнивается два способа сварки: ручная дуговая сварка плавящимся электродом и механизированная сварки порошковой проволокой. За основной металл взята низколегированная сталь 09Г2С, содержащая  $C = 0.09 \%$ ,  $Mn = 1,3 - 1,7 \%$ ,  $Si = 0,5 - 0,8 \%$  и другие. В настоящее время ручная дуговая сварка становится менее популярна. Ручная дуговая сварка имеет ряд недостатков перед механизированной сваркой порошковой проволокой. Механизированная сварка позволит повысить производительность труда, снизить время изготовления детали и улучшить качество сварного шва. Целью выпускного проекта является повышение производительности сварки крышки мельницы. Цель достигается путем усовершенствования технологического процесса.

В первой главе рассматривается деталь, марка стали и способ сварки и помощью ручной дуговой сварки. Приводятся типы сварных швов, режимы сварки и полный технологический процесс. Во второй главе проекта раскрываются преимущества механизированной сварки и предлагается внедрение в производство. Далее приводится анализ безопасности и экологичности производства. Последней главой является экономическое обоснование проекта.

## ANNOTATION

The graduation project consists of an explanatory note on 61 pages, including 10 figures, 21 tables, the list of 26 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

In the graduation project, the welding of the mill cover is considered. Two methods of welding are compared: manual arc welding with a consumable electrode and mechanized welding with flux cored wire. For the base metal, low-alloy 09G2S steel is used, containing  $C = 0.09 \%$ ,  $Mn = 1.3-1.7 \%$ ,  $Si = 0.5-0.8 \%$ . Currently, manual arc welding is becoming less popular. Manual arc welding has a number of drawbacks compared to mechanized welding with flux cored wire. Mechanized welding will increase the productivity of labor, reduce the production time of the part and improve the quality of the welded seam. The goal of the graduation project is to increase the welding efficiency of the mill cover. The goal is achieved by improving the technological process.

The first chapter deals with the part, the steel grade and the welding method using the manual arc welding. The types of welded seams, welding modes and complete technological process are given. In the second chapter of the project, the advantages of mechanized welding are revealed and the introduction into production is proposed. Then we present the analysis of the safety and sustainability of the production. The last chapter is the economic feasibility of the project.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ КРЫШКИ МЕЛЬНИЦЫ.....	9
1.1 Описание конструкции крышки мельницы.....	9
1.2 Свойства материала крышки мельницы.....	11
1.3 Анализ производительных способов сварки.....	13
1.4 Базовая технология сборки и сварки крышки мельницы.....	17
2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ	
2.1 Особенности сварки порошковой проволокой.....	25
2.2 Выбор порошковой проволоки.....	26
2.3 Выбор оборудования для сварки порошковой проволокой.....	27
3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ	
ПРОВОЛОКОЙ.....	32
4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО	
ОБЪЕКТА.....	36
4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая	
характеристика рассматриваемого технического объекта.....	36
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	38
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	40
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	41
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта.....	43
4.6 Заключение по разделу.....	44
5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА.....	46
5.1 Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические	
операции.....	47
5.2 Капитальные вложения в оборудование.....	48
5.3 Расчет себестоимости сравниваемых вариантов сварки.....	50
5.4 Расчет экономической эффективности проекта.....	55
5.5 Расчет повышения производительности труда.....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

Мельницы стержневые с центральной разгрузкой является высокопроизводительной установкой, широко применяются в горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности для измельчения руд черных, цветных и редких металлов, известняков, доломитов и других материалов.

В настоящее время промышленность располагает значительным парком высокотехнологичного оборудования, которое способно выпускать высококачественную продукцию. Тем не менее, все еще актуальна задача по повышению технологических свойств и качеств оборудования промышленности.

Сокращение времени на изготовление изделия, с уменьшением затрат на производство, с сохранением прочности конструкции, является главной задачей завода изготовителя, к тому же, это экономически и технически выгодно.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены два способа сварки крышки мельницы: ручной дуговой сваркой и механизированной сваркой порошковой проволокой. Выделены преимущества и недостатки способов, экономическая выгода и производительность труда.

В настоящее время на ОАО «Тяжмаш» сварка крышки мельницы МСЦ 3200×4500 производится электродуговой ручной сваркой электродами Э-42А УОНИИ 13/45 ГОСТ 9467-75. Однако этот способ имеет низкую производительность.

Целью проекта является повышение производительности сварки крышки мельницы МСЦ 3200×4500

# 1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ КРЫШКИ МЕЛЬНИЦЫ

## 1.1 Описание конструкции крышки мельницы

Мельницы стержневые с центральной разгрузкой, широко применяются в горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности для измельчения руд черных, цветных и редких металлов, известняков, доломитов и других материалов.

Работа мельниц осуществляется при непрерывной подаче в полость вращающегося барабана руды и воды. Условное обозначение мельниц состоит из указания ее типа, размеров и внутреннего диаметра (без футеровок), длины барабана в мм и исполнения по расположению привода.

Например, мельница стержневая, диаметром барабана 3200мм, длиной 4500мм обозначается следующим образом: мельница МСЦ 3200×4500. Общий вид мельницы МСЦ 3200×4500 показан на рисунке 1.

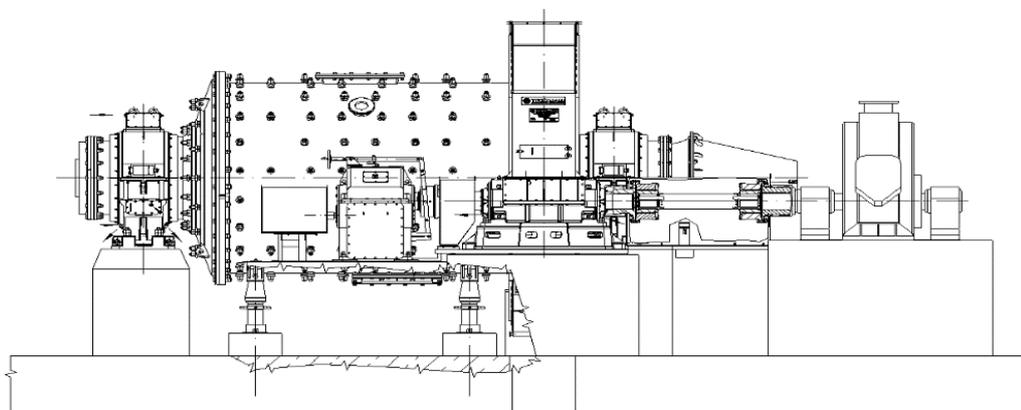


Рисунок 1 – Общий вид мельницы МСЦ3200x4500

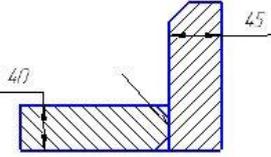
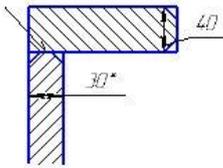
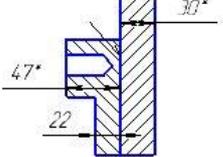
Барабан мельницы заполняется на 40% своего объема мелющими телами, которые представляют из себя металлические стержни. Стержни выбираются различных диаметров и размеров в зависимости от необходимой тонкости помола руды.

Мельница представляет собой цилиндрический барабан, закрытый с двух сторон торцевыми крышками. Разгрузочной частью мельницы

называется сторона, на которой установлена торцевая крышка с закрепленной на ней разгрузочной воронкой и футеровкой. Загрузка измельчаемого материала в барабан мельницы производится непрерывно во время ее работы. Руда загружается в барабан и подается на шнеки загрузочного патрубка и затем поступает в барабан. Измельчение материала происходит за счет ударов мелющих стержней, а также раздавливания и истирания его между измельчающими телами и футеровкой при вращении барабана.

Крышка мельницы (рис. 2) изготовлена из четырех деталей, разной формы и размеров, путем сварки круговыми швами. Всего для изготовления применяется три шва, которые изображены в таблице 1.

Таблица 1 – Швы крышки мельницы

№	ГОСТ	Эскиз соединения	Соединение	Длина шва, мм
1	5264-80		У8	3895
2	5264-80		У8	3644
3	5264-80		Т1	2214

Общий диаметр крышки мельницы составляет 1420 мм, толщина стенок по 45, 130 и 44 мм. Общая толщина составляет 222 мм. Вес крышки 591 кг.

Крышка имеет 16 отверстий на расстоянии 670 мм от центра и равноудалены друг от друга. Они предназначены для крепления обечайки. На расстоянии 325 мм от центра расположены 8 отверстий, на которые крепятся

горловины, питатели, редуктора или другие элементы конструкции. Они так же равноудалены друг от друга. Чертеж крышки мельницы приведен на чертеже 17.БР.СОМДиРП.499.61.00 СБ.



Рисунок 2 – Крышка мельницы

Крышка мельницы в совокупности с барабаном и другими элементами эксплуатируется в большинстве случаев в закрытых цехах. Изнутри барабана на крышку не воздействует давление, но во время работы наблюдается повышенная вибрация. Имеет место быть и ударная нагрузка, но только косвенно, так как на внутреннюю поверхность крышки прикрепляются футеровочные бронеплиты, которые изготовлены из износостойких материалов.

### 1.2 Свойства материала крышки мельницы

Данная крышка изготавливается из стали 09Г2С - низколегированная конструкционная сталь, свариваемая без ограничений. Сталь 09Г2С содержит 0,09% углерода, 2% марганца и кремний не более 1%. [1, 2]

Сталь марки 09Г2С широко используется для сварных конструкций. Сварка может производиться с предварительным подогревом или без. Низкое содержание углерода позволяет упростить процесс сварки, сталь не

перегревается и не закаливается. Ее структура остается целостной и не происходит снижения пластических свойств. После отпуска не снижается вязкость. Металл при любом способе сварки не теряет своих свойств пластичности, что является большим плюсом. Для сварки 09Г2С применяют любые электроды, предназначенные для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей. Удобство использования стали 09Г2С обуславливается нижеприведенными механическими и физическими свойствами (таблица 2 и 6). Главное преимущество стали – хорошая свариваемость и отсутствие изменения свойств после термообработки.

Химический состав стали приведен в таблице 2

Таблица 2 – Химический состав стали 09Г2С

Si	C	As	Mn	Ni	P	Cr	N	S
0.5-0.8%	До 0,12 %	0.08%	1.3-1.7%	0.30%	0.035%	0.30%	0.008%	0.04%

Таблица 3 – Механические свойства при повышенных температурах

t испытания, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\varphi$ %
Нормализация 930-950 °С				
20	300	460	31	63
300	220	420	25	56
475	180	360	34	67

Таблица 4 – Температура критических точек

Критическая точка	°С
Ac1	725
Ac3	860
Ar3	780
Ar1	625

Таблица 5 – Предел выносливости

$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
235	475

Физические свойства стали представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физические свойства

Температура испытания, °С	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500
Коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ , $10^{-6} 1/°C$ )	11,4	12,2	12,6	13,2	3,8

### 1.3 Анализ производительных способов сварки

Ручная дуговая сварка прославилась своей простотой и универсальностью. Ее технологический процесс более дешевый и доступный, по сравнению с автоматическими методами сварки.

Для улучшения качества сварных соединений, увеличения производительности и условий труда, необходимо применить средства механизации и автоматизации сварочного производства.

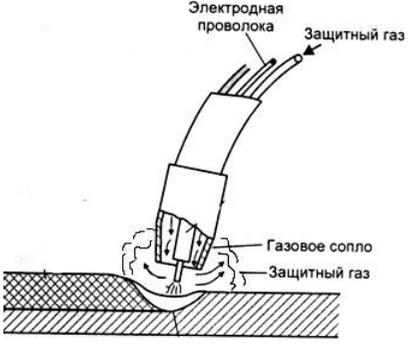
В случае сварки крышки мельницы рационально механизировано подавать присадочный материал в зону сварки. Возможен вариант полной автоматизации сварочного процесса, но только стоимость такого процесса крайне высока.

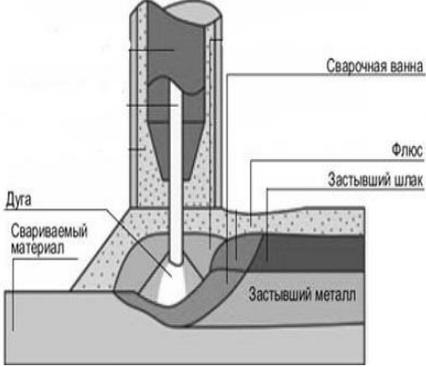
Для сварки крышки мельницы рассмотрим механизированную сварку в среде защитных газов, сварку порошковой проволокой и сварку под слоем флюса (таблица 7). Механизированная сварка в среде защитных газов позволяет варить в различных пространственных положениях, сварной шов обладает неплохими характеристиками качества и прочности. Однако возможно нарушение газовой защиты при сдувании струи газа движением воздуха или разбрызгиванием сопла. Так же наличие дополнительной аппаратуры (баллон с газом, редуктора, патрубки) делает способ не мобильным и дорогостоящим, что не позволяет рекомендовать данный способ сварки.

Сварка под слоем флюса затруднена в различных пространственных положениях, а в потолочном вообще невозможна. Так же флюс может попасть в расплавленный металл, что приведет к дефектам.

Останавливаем свой выбор на механизированной сварке порошковой проволокой. Сварщик может подавать самозащитную проволоку точно в разделку и наблюдать за формированием шва. Данный способ не требует дополнительного оборудования, такого как при сварке в среде защитных газов. Механизированная сварка порошковой проволокой обладает низкой чувствительностью к изменениям внешних условий. Шлаковая корка снижает скорость охлаждения шва и околошовной зоны, что положительно влияет на качество. Подача присадочного материала существенно выше, чем при ручной дуговой сварке. Это обеспечивает высокую производительность труда.

Таблица 7 - Сравнение способов сварки

Название способа	Эскиз	Преимущества	Недостатки
<p>Механизированная сварка порошковой проволокой</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a powder wire welding process. A torch (Горелка) is positioned above the workpiece (Свариваемый материал). A gas nozzle (Газовое сопло) is attached to the torch. A contact tip (Контактный наконечник) is in contact with the workpiece. Powder wire (порошковая проволока) is fed into the torch. An arc (Дуга) is formed between the contact tip and the workpiece. A weld pool (Сварочная ванна) is formed, and solidified metal (Застывший металл) is visible behind it. An arrow indicates the direction of welding (Направление сварки).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-обеспечивается высокое качество шва;</li> <li>-не требуется дополнительное оборудование (баллон, шланги)</li> <li>-высокая производительность труда</li> <li>-наблюдение за формированием шва</li> <li>-подача электродной проволоки точно в разделку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-проволока обладает малой жесткостью (компенсируется ограничением усилия сжатия на подающих роликах);</li> <li>-вероятность образования пор в сварной ванне</li> </ul>
<p>Механизированная сварка в среде защитных газов</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a gas shielded arc welding process. An electrode wire (Электродная проволока) is fed into a torch. A protective gas (Защитный газ) is supplied to the torch. A gas nozzle (Газовое сопло) is attached to the torch. The protective gas (Защитный газ) surrounds the electrode wire. An arc is formed between the electrode wire and the workpiece. A weld pool is formed.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-обеспечивается высокое качество шва;</li> <li>-значительно облегчается поджиг дуги;</li> <li>-высокая производительность труда</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-возможность нарушения газовой защиты при сдувании струи газа движением воздуха или при забрызгивании сопла;</li> <li>-подача проволоки может быть неравномерной;</li> <li>-наличие газовой аппаратуры</li> </ul>

<p>Механизированная сварка под слоем флюса</p>		<ul style="list-style-type: none"><li>-отсутствие брызг;</li><li>-надёжная защита зоны сварки;</li><li>-отсутствие светового излучения</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-дорогостоящий флюс</li><li>-затруднение корректировки положения дуги</li><li>-вероятность попадания флюса в расплавленный металл</li></ul>
--	---	--	---

#### 1.4 Базовая технология сборки и сварки крышки мельницы

Изготовление крышки, и всей мельницы в целом, процесс трудоемкий и требует высокого контроля и соблюдения технологического процесса на всех этапах производства.

##### Заготовительные операции

Все начинается на заготовительном участке с разметки и резки. Детали нарезаются согласно размерам и допускам на погрешность, которые прописаны в технологической карте. Разметка производится с помощью промышленного разметочного циркуля. Далее деталь попадает на резку. Эту работу производит рабочий с помощью плазменной резки УВПр-200 и резаком с диаметром сопла 3 мм. Расход аргона составляет 15-20 л/мин, скорость резки – 0,7 м/мин. Процесс трудоемкий и сложный, так как требует от рабочего точного соблюдения размеров. Погрешность размера составляет примерно 3 мм.

Так же необходимо провести зачистку заусенцев после резки. Работа производится с помощью эксцентриковой шлифмашины (рис. 3). Скорость вращения диска составляет 12000 об/мин, что позволяет сократить время обработки. Дополнительная боковая рукоятка с функцией установки в пределах 300° вокруг корпуса инструмента помогает в удобстве работы с инструментом. Шлифмашина имеет курковый выключатель с фиксацией во включенном состоянии для продолжительной работы.



Рисунок 3 - Эксцентриковая шлифмашина Makita

#### Сборочные операции и прихватки

Сборочные детали очищаются от грязи и мусора под сварку. Детали постепенно складываются друг на друга согласно чертежу. Рабочий должен руководствоваться габаритными размерами, допусками и погрешностями. Проверяется прямолинейность кромок, перепады в плоскости.

Выдерживаются зазоры в стыках 2-3 мм с помощью фиксаторов. После наложения всех прихваток фиксаторы удаляются. Повторно проверяются габаритные размеры, прямолинейность кромок струной, перепады по плоскости линейкой.

Зачищаются места под прихватку. Собранные элементы конструкции прихватываются ручной электродуговой сваркой электродами УОНИИ 13/45 Ø 3 мм, I св = 100 А. Необходимо произвести 8 прихваток по внешнему радиусу изделия. Каждая прихватка должна иметь длину не более 60 мм и не менее 50мм. По внутреннему, малому диаметру рабочий должен сделать 4 прихватки длиной 30-40 мм. Качество прихваток должно соответствовать качеству сварного шва.

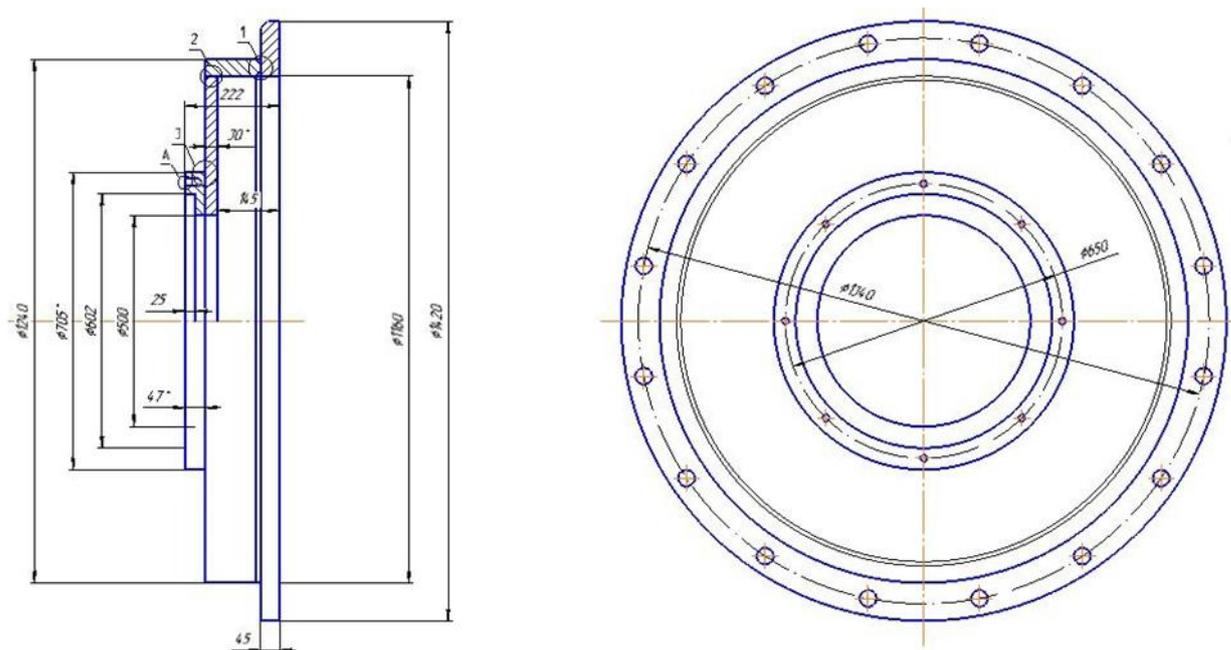


Рисунок 4 – Общий вид крышки мельницы

#### Контрольная разметка

На данном этапе производится контрольная разметка крышки, проверяются габаритные размеры, диагонали, отсутствие перепадов по плоскости и не прямолинейность кромок.

#### Сварка

Крышка сваривается швом У8 и Т1 по ГОСТ5264-80 от любого конца прихватки к началу следующей, электродом УОНИ 13/45  $\varnothing 3$  мм  $I=100$  А. При сварке используется сварочный выпрямитель ТДМ-503 У2 (рис. 5), имеющий номинальный сварочный ток в 300 А. Общая длина шва составляет 9753 мм. Корень шва проваривается на глубину 10-12мм электродом УОНИ 13/45  $\varnothing 3$  мм,  $I=100$ А. Тщательно очищается каждый проход от шлака и брызг сварки.



Рисунок 5 – ТДМ-503 У2

Недостатками данного способа сварки являются низкая производительность и вредные условия процесса сварки для окружающих. Так же качество соединения напрямую зависит от квалификации сварщика, который имеет человеческий фактор и право на ошибку. Сварщику придется постоянно обрывать шов, так как требуется замена электродов. Это отрицательно скажется на качестве изделия. Сварочный выпрямитель потребляет большое количество энергии, следовательно он экономически не выгоден.

Так же можно выделить некоторые преимущества, такие как: простота оборудования и относительная дешевизна, сварка в любых пространственных положениях (под углом, вертикальная).

## Сверление отверстий

В готовой крышке мельницы необходимо просверлить 16 сквозных отверстий на расстоянии 670 мм от центра и равноудаленных друг от друга. Для этого на заводе-изготовителе используют радиально-сверлильный станок Proma RV-32 (рис. 6). Отверстия необходимы для крепления к крышке обечайки. Так же проводится сверление 8 отверстий на расстоянии 325 мм от центра. Глубиной не менее 20 мм и не более 36 мм, на которые крепятся горловины, питатели, редуктора или другие элементы конструкции. Они так же равноудалены друг от друга.



Рисунок 6 - Радиально-сверлильный станок Proma RV-32

## Контроль

Зачищаются площадки вдоль швов с 2х сторон до знака  $Ra=2.5$ , на ширину 150-200мм для контроля УЗК. Наносится контактная смазка на поверхность контроля. После контроля смазка удаляется скребком, а поверхность протирается насухо ветошью. Зачищается с обратной стороны шва площадки шириной 50-60мм от неровностей, брызг до знака  $Ra=40$ . Производится УЗК сварных швов.

Контроль необходим для проверки сварного шва на какие-либо дефекты. В шве могут присутствовать непровары, включения шлака, трещины.

### Отделочные операции

После всех подготовительных и сборочных операций наступает заключительный этап сборки крышки мельницы. Он представляет из себя покрытие детали со всех сторон различными покрытиями, которые защищают изделие от коррозии и предадут красивый внешний вид.

### Покрытие грунтом

Рабочий использует ручной пульверизатор и грунт ГФ-021. Покрытие наносится на внешнюю сторону изделия, руководствуясь ГОСТ 25129-82. Количество слоев – 1. Толщина слоя – 15-20 мкм. Необходимо покрыть грунтом всю внешнюю сторону крышки, так как далее будет наноситься эмаль. Время высыхания грунта – 20 минут.

### Покрытие эмалью

Эмаль наносится на высохший грунт с помощью пульверизатора, нанесенный в предыдущей операции. Используется марка эмали ХВ-16Р темно-бежевая УХ/11 ТУ 6-10-1301-83. Необходимо наложить 3 слоя, толщина каждого должна составлять 10-20 мкм. Время высыхания каждого слоя – 30 минут. Последующие слои наносить только после полного высыхания предыдущего слоя. Площадь наносимого покрытия составляет 2,5 м<sup>2</sup>. Общая толщина покрытия (грунта и эмали) должна составлять 45-80 мкм.

### Покрытие лаком

Лак наносится на внутреннюю поверхность крышки так же с помощью пульверизатора. Используется лак БТ-577 черный УХ/11 ГОСТ

6531-79. Необходимое количество слоев – 2. Обеспечить толщину каждого слоя 20-25 мкм. Время высыхания слоя составляет 50 минут. Последующий слой наносится только после полного высыхания предыдущего. Площадь наносимого покрытия – 2,5 м<sup>2</sup>. Необходимо обеспечить общую толщину покрытия в 40-50 мкм.

На этом процесс создания крышки мельницы заканчивается. В производстве применяется дорогостоящее оборудование, такое как сверлильный станок Proma, плазменная резка УВПр-200, выпрямитель ТДМ-503 У2 и другое. Но дороговизна оборудования не определяет аппараты как высокотехнологичные машины с высокой производительностью и точностью их работы. Поэтому в данной выпускной квалификационной работе предложено не менять полностью техпроцесс, а лишь заменить или усовершенствовать некоторые пункты технологической карты.

### Задачи

Поэтому для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующий задачи:

1. Усовершенствовать технологический процесс путем замены способа сварки
2. Выбрать оборудование
3. Определить экономическую эффективность проекта

## 2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Порошковая проволока – это непрерывный электрод, который состоит из трубчатой металлической оболочки и порошкового наполнителя (сердечника). Сердечник состоит из смеси различных минералов, ферросплавов, металлических порошков, химикатов и других материалов. Он необходим для защиты сварочной ванны от окисления, попадания кислорода, легирования металла и других вредных факторов. Порошковая проволока должна удовлетворять всем требованиям для сварочных материалов: обеспечивать качественное формирование шва, легкую отделимость шлаковой корки, минимизировать разбрызгивание металла. Отсутствие пор, шлаковых включений и трещин является так же немаловажным фактором.

Порошковые проволоки используют как с защитой зоны сварки, так и без. Самозащитными называются проволоки, которые не нуждаются в дополнительной защите зоны сварки (газ, флюс). Вещества, которые входят в состав сердечника при расплавлении в дуге создают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны [23].

Большое преимущество самозащитной проволоки в том, что сварку можно производить на открытом воздухе, независимо от ветра и перепада температур. Наличие дуги открытого типа позволяет следить за сварочной ванной во время сварки и правильно корректировать горелку относительно разделки. При сварке порошковой проволокой отпадает необходимость использования дополнительного оборудования, такого как газовые баллоны, редукторы, механизмы подачи флюса и др.

Использование порошковой проволоки – это отличное решение для сварочных работ в серийном производстве. С их помощью можно существенно повысить производительность труда и получить качественное соединение.

## 2.1 Особенности сварки порошковой проволокой

Сварка порошковой проволокой может проводиться во всех пространственных положениях, в зависимости от ее состава и диаметра.

Наиболее широкое распространение получили проволоки для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей.

По способу защиты порошковые проволоки делятся на два вида:

- 1) самозащитные;
- 2) для сварки с дополнительной защитой газом или флюсом [26].

В сердечники проволок всех типов с целью увеличения производительности сварки и придания благоприятных сварочно-технологических свойств вводят железный порошок.

Из применяющихся конструкций порошковых проволок (рис. 7) наиболее распространены проволоки трубчатой конструкции (*a, б, в*). Введение части оболочки внутрь сердечника (*г, д, е*) обеспечивает более равномерное плавление и более эффективную защиту металла от воздуха.

В соответствии с со стандартом AWS A3.0 процесс сварки порошковой проволокой обозначен (классифицирован) как FCAW – Flux Cored Arc Welding (Дуговая сварка порошковой проволокой) [8].

Немаловажным является постоянное напряжение на дуге, ведь какие-либо колебания могут привести к непровару или прожогу металла при сварке, что существенно влияет на качество сварного шва.

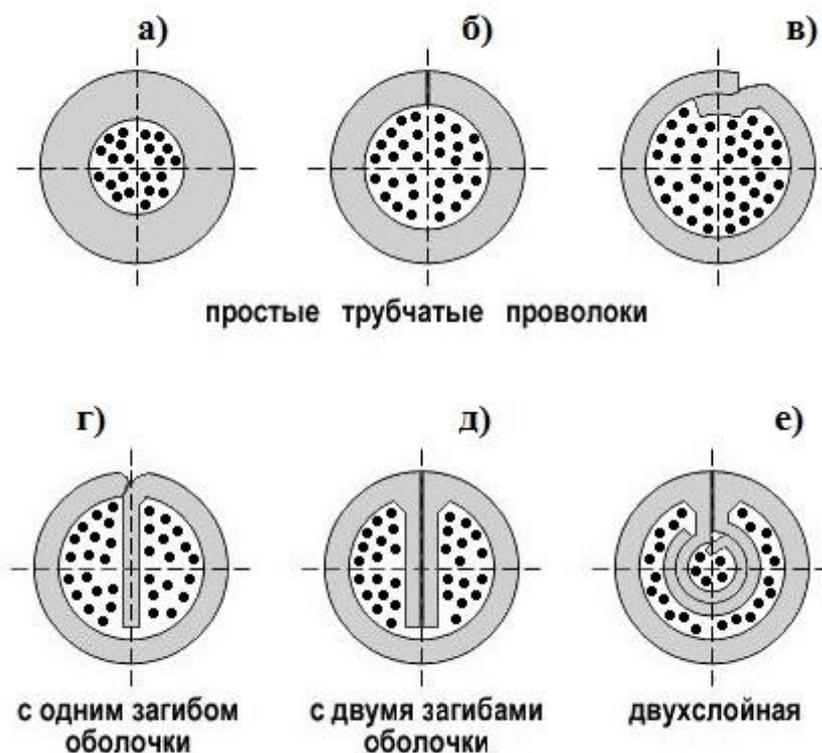


Рисунок 7 - Виды порошковой проволоки по форме сердечника

## 2.2 Выбор порошковой проволоки

При анализе порошковых проволок важнейшим фактором является химический состав наплавляемого металла. Чем он ближе к основному материалу, тем качественнее получается соединение. Выбор остановился на порошковой проволоке ПП-АН8 ГОСТ 26271-84, так как химический состав наплавленного металла (таблица 8) близок к стали 09Г2С. Проволока ПП-АН8 специально предназначена для сварки конструкций из малоуглеродистых низколегированных сталей с содержанием углерода до 0,25%. Проволока имеет рутиловый сердечник и трубчатую конструкцию (рис. 7). Диаметр составляет 3 мм [14].

Таблица 8 – Химический состав наплавленного металла (%)

С	Mn	Si
0,08	1,2	0,35

Таблица 9 – Механические свойства металла шва

Предел прочности		$\sigma_b$ , МПа	560
Условный предел текучести		$\sigma_t$ , МПа	440
Относительное удлинение		$\delta$ , %	25
Ударная вязкость (КСУ)	ан, Дж/см <sup>2</sup>	+20°С	130
		-20°С	35

Отличительная особенность процесса сварки данной проволокой - высокая стабильность горения дуги, равномерное плавление проволоки, незначительное разбрызгивание металла. Проволока рекомендуется для сварки конструкций, работающих в сложных климатических условиях, при отрицательных температурах, динамических и знакопеременных нагрузках.

Проволокой Ø 2,5 и 3 мм могут выполняться швы в нижнем положении, диаметром 2 мм - горизонтальные швы на вертикальной плоскости. Проволока предназначена для заводских условий, но возможна сварка и на строительных площадках. Однако во всех случаях место сварки должно быть защищено от ветра, сквозняков и осадков. Вылет проволоки составляет 25 - 30 мм. Шлаковая корка покрывает поверхность шва равномерно и затем легко удаляется.

### 2.3 Выбор оборудования для сварки порошковой проволокой

Для реализации технологического процесса сварки крышки мельницы необходимо подобрать правильное оборудование. Источник питания должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать процесс сварки при жесткой вольт-амперной характеристике источника питания
- осуществлять процесс сварки при постоянном напряжении на дуге;
- обеспечивать стабильный процесс горения дуги
- иметь возможность работы с механизмами подачи проволоки

Описание распространенных отечественных источников питания и полуавтоматов приведены в таблице 10. Исходя из характеристик полуавтоматов, большинство из них не подходят к нашему диаметру присадочной проволоки. Они рассчитаны на меньший диаметр проволоки, чем тот что был выбран нами (3 мм) [8]

Неплохие полуавтоматы ПДШМ-500 и ПДШР-500. Плюсом является хорошая длина шланга, что обеспечит сварщику необходимую маневренность, кроме того, питание осуществляется от сварочных выпрямителей, что в монтажных условиях немаловажно. Подходящей розетки рядом может и не быть. Кроме того, масса подающего механизма здесь невелика. Также неплохими характеристика обладает ПДПГ-500.

Высокая стоимость зарубежных источников питания не позволяет нам выбрать их, поэтому останавливаем свой выбор на отечественных, причем, наиболее полно отвечает требованиям следующее сварочное оборудование: источник питания ВДУ-506С, полуавтомат ПДШМ-500.

Таблица 10 - Технические данные наиболее распространенных отечественных шланговых полуавтоматов

Полуавто-мат	Диаметр электродной проволоки мм	Ток сварки при ПВ =65%, А	Скорость подачи проволоки, м/ч	Источник питания	Длина шланга, м	Габаритные размеры механизма подачи, мм	Масса механизма подачи, кг
А-547У	0,8—1,2	До 200	100—250	ВС-300	1,2 и 2,5	350X118X245	6
А-1230М	0,8—1,2	» 315	140—670	ВС-300	3,0	364X280X130	11
ПДГ-301	0,8—1,2	» 300	180—720	ПСГ-500	3,0	450X240X275	6
ПДГ-302	0,8—2,0	» 300	180—720	ПСГ-500	3,0	380X330X100	5
ПДГ-303	0,8—1,2	» 300	180—720	ВДГ-301	3,0	450X240X275	7
ПДГ-304	0,8—1,6	» 300	180—720	ВДГ-301	3,0	380X330X100	7
А-825	1,0—1,2	» 250	120—620	ВС-300	2,5	900X660X420	20
ПШП-21	0,8—2,0	» 300	100—1000	ИПП-300	—	650X180X398	14,5
ПШП-31	0,4—0,8	До 120	300—1000	ГСП-150	—	295X56X160	0,8
ПДА-180-2	1,0—1,2	» 180	180—660	—	—	—	0,95
ПДШМ-500	1,6—3,0	» 500	100—420	ВДУ-506С	4,0	400X345X343	13
ПДШР-500	1,6—2,5	» 500	100—420	ПСО-500	4,0	400X345X343	13
ПДПГ-500	0,8—2,0,	» 500	150—720	ПСГ-500	3,5	625X425X350	10,5
А-537У	1,6—2,0	» 520	80—600	ПСГ-500	3,5	330X280X325	25

Полуавтомат	Диаметр электродной проволоки,	Ток сварки	Скорость подачи	Источник питания	Длина шланга, м	Габаритные размеры механизма	Масса механизма
А-1035	1,6—3,5	» 450	58—580	ПСГ-500	3,5	900Х660Х420	25,5
А-1197П	1,6—3,0	» 500	90—900	ВДУ-504	3,0	960Х660Х560	35
	1,6—2,0	» 450	58—580	ПСГ-500	3,5	760Х500Х550	52
А-1114М	1,6—2,0	» 500	106—428	ПСГ-500	2,5	364Х290Х130	10,5
А-1503П	1,6—3,0	» 630	90—920	ПСГ-500	3,0	960Х660Х560	25,5

Механизм подачи присадочной проволоки имеет барабан для катушки с проволокой, аналоговым вольтметром, блоком управления с регулятором напряжения. Для управления режимами сварки ПДШМ-500 оснащен регулятором напряжения и скорости подачи проволоки. [6]

В комплекте с механизмом подачи сварочной проволоки работают горелки К345-10 и К355-10. Лучше использовать горелку К345-10, она рассчитана на больший ток (350 А при ПВ = 60%) и нагревается медленнее. Длина шланга от полуавтомата до горелки составляет 3 м. [9]

### 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Выбрав один из самых прогрессивных способов сварки – механизированную сварку порошковой проволокой, соответствующее ей оборудование и электродную проволоку, разрабатываем технологический процесс сборки и сварки крышки мельницы.

Разметка производится с помощью промышленного разметочного циркуля. Допускается погрешность разметки  $\pm 1$  мм. Далее детали поступает на резку, которая производится с помощью воздушно-плазменной резки УВПр-200 (рисунок 8) и плазмотрона ВПр-11П с диаметром сопла 3 мм. Скорость резки составляет 0,7 м/мин. Процесс трудоемкий и сложный, так как требует от рабочего точного соблюдения размеров по технологической карте. Погрешность при резке составляет  $\pm 2$  мм. Ток равен 200 А, расход аргона составляет 15-20 л/мин, диаметр сопла – 3 мм. При воздушно-плазменной резке необходимо сохранять перпендикулярность кромок.



Рисунок 8 – Установка воздушно – плазменной резки УВПр-200

Следующим этапом следует подготовка кромок под сварку. Работа осуществляется с помощью эксцентриковой шлифмашины Makita и абразивных дисков. Шероховатость после обработки составляет 0,3 мм. Скорость вращения диска – 12000 об/мин. Используются диски толщиной 5 мм. Так же необходимо ветошью убрать с деталей сажу и пыль. При необходимости воспользоваться ацетоном. После очистки деталь транспортируется на сборочно-сварочную плиту с помощью двухбалочного мостового крана.

Детали постепенно складываются друг на друга согласно чертежу. Рабочий должен руководствоваться габаритными размерами, допусками и погрешностями. Проверяется прямолинейность кромок, перепады в плоскости.

Выдерживаются зазоры в стыках 2-3 мм с помощью фиксаторов. После наложения всех прихваток фиксаторы удаляются. Повторно проверяются габаритные размеры, прямолинейность кромок струной, перепады по плоскости линейкой.

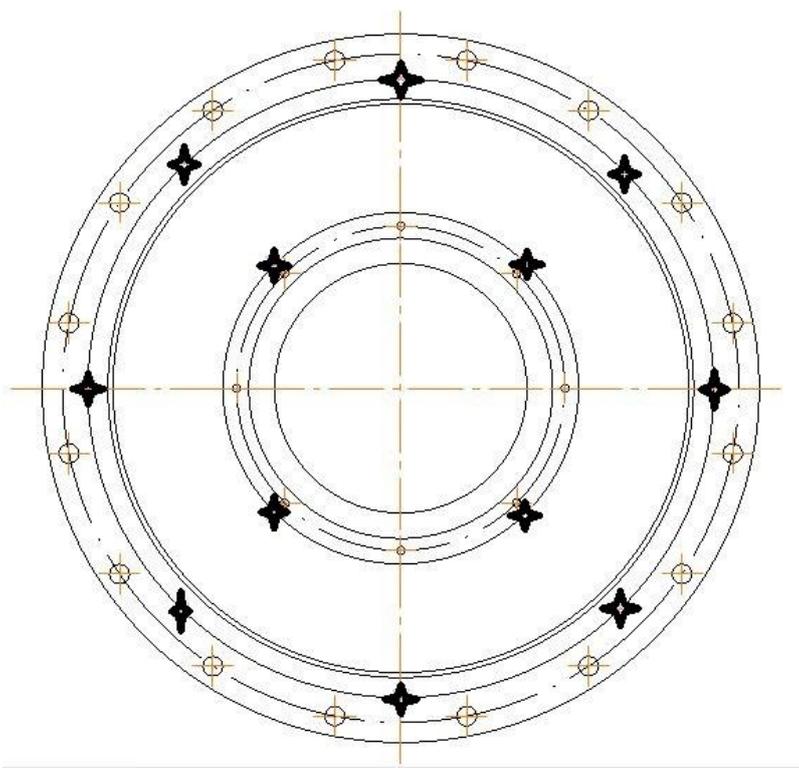


Рисунок 9 – Схема расположения прихваток

Зачищаются места под прихватку. Собранные элементы конструкции прихватываются механизированной сваркой с помощью сварочного выпрямителя ВДУ-506С и полуавтомата ПДШМ-500 самозащитной проволокой ПП-АН8,  $I_{св} = 120$  А. Необходимо произвести 8 прихваток по внешнему радиусу изделия (прихватки обозначены на рисунке 9). Каждая прихватка должна иметь длину не более 60 мм и не менее 50мм. По внутреннему, малому диаметру рабочий должен сделать 4 прихватки длиной 30-40 мм. Качество прихваток должно соответствовать качеству сварного шва. [13, 14]

После прихваток проводится контрольная разметка крышки мельницы. Проверяются габаритные размеры, диагонали, отсутствие перепадов по плоскости и перпендикулярность кромок.

Следующий этап – сварка. Деталь сваривается механизированной сваркой с выпрямителем тока ВДУ-506С (рисунок 10) и полуавтоматом ПДШМ-500 электродной порошковой проволокой ПП-АН8. В комплекте с ПДШМ-500 идет горелка К345-10.



Рисунок 10 – ВДУ-506С

Скорость подачи проволоки полуавтоматом ПДШМ-500 составляет 100-420 м/ч. Первый и все последующие 8 проходов накладываются на

режиме  $I_{св}=120$  А и диаметром проволоки 3 мм. После каждого нанесения шва производится механическая зачистка с помощью металлической щетки. Схема наложения швов изображена на рисунке 11.

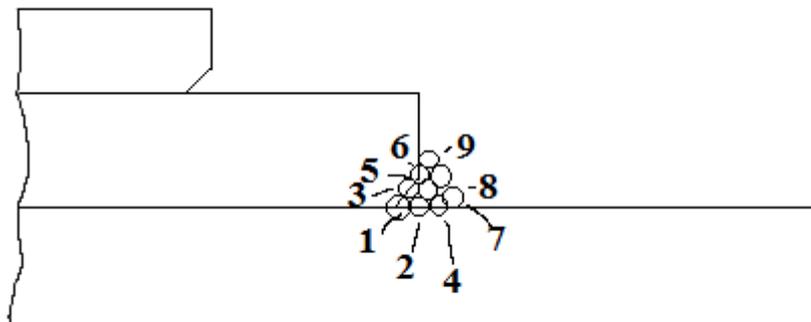


Рисунок 11 – Порядок наложения сварных швов

После сварки зачищаются площадки вдоль швов с 2х сторон до знака  $Ra=2.5$ , на ширину 150-200мм для контроля УЗК. Наносится контактная смазка на поверхность контроля. После контроля смазка удаляется скребком, а поверхность протирается насухо ветошью. Зачищается с обратной стороны шва площадки шириной 50-60мм от неровностей, брызг до знака  $Ra=40$ . Производится УЗК сварных швов.

Контроль необходим для проверки сварного шва на какие-либо дефекты. В шве могут присутствовать непровары, включения шлака, трещины.

Таким образом, применив сварку порошковой проволокой при изготовлении крышки мельницы планируется повысить производительность труда и качество сварных соединений. Планируется данный технологический процесс применить на ОАО «ТЯЖМАШ», так как завод располагает современным сварочным оборудованием и данный технологический процесс можно внедрить без затрат на приобретение нового оборудования.

## 4 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта

Технологический процесс производства крышки мельницы разделяется на последовательно выполняемые виды операций (заготовительные, сборочные, сварочные, вспомогательные, контрольные и отделочные). Каждая из них имеет перечень выполняемых работ, оборудования и материалов, которые приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Технологический паспорт технического объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство	Материалы, вещества
1	2	3	4	5	6
1	Заготовительные операции	Разметка	Операции выполняет один рабочий (заготовщик)	Разметочный циркуль	Сталь 09Г2С
2		Резка		Воздушно-плазменная резка УВНР-200, резак, защитная маска	Сталь 09Г2С, керамическое сопло
3		Зачистка		Эксцентриковая шлифмашина Makita	Абразивный диск, лепестковый диск, ветошь, перчатки

Продолжение таблицы 11

4	Сборочные операции	Сборка с прихваткой	Аттестованный сварщик 3-го разряда	Сварочный выпрямитель ВДУ-506С, ПДШМ-500, маска	Самозащитная проволока ПП-АН8, молоток, краги сварочные
5	Сварочные операции	Сварка			
6	Вспомогательные операции	Сверление отверстий	Один квалифицированный рабочий	Радиально-сверлильный станок Proma RV-32	Защитные очки, сверла, СОЖ, штангенциркуль
7	Контрольные операции	Ультразвуковой контроль		Ультразвуковой дефектоскоп А1214 ЭКСПЕРТ	Синтетическое масло, ветошь
8	Отделочные операции	Покрытие грунтом, эмалью и лаком	Один или несколько рабочих	Пельверизатор, компрессор	Грунт ГФ-021, эмаль ХВ-16Р, лак БТ-577, респиратор, перчатки

#### 4.2 Идентификация профессиональных рисков

Руководствуясь ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», выяснили опасный или вредный производственный фактор для каждой технологической операции. Физический вредный фактор отвечает за повышенную запыленность или загазованность воздуха, наличие на изделиях острых кромок или заусенцев, повышенный уровень шума, вибрации, статического электричества и других факторов. Химические опасные производственные факторы подразделяются на токсические, раздражающие, влияющие на органы дыхания, кожные покровы и слизистые оболочки [17].

Таблица 12 – Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Вид выполняемых работ	Опасный или вредный фактор	Источник опасного или вредного фактора
1	Резка, работа с плазменной резкой	Физический (повышенная яркость света, уровень шума, пульсация светового потока), химический (влияющий на органы дыхания и слизистые оболочки)	Воздушно-плазменная резка УВПП-200
2	Зачистка, работа с шлифмашиной	Физический (наличие острых кромок, подвижных механизмов)	Эксцентриковая шлифмашина Makita

3	Сборка с прихваткой и сварка	Физический (повышенный уровень шума, пульсация светового потока) , химический (влияющий на органы дыхания и слизистые оболочки)	Сварочный выпрямитель ВДУ-506С, самозащитная проволока ПП-АН8,
4	Сверление отверстий	Физический (высокий уровень шума, подвижные части оборудования)	Радиально-сверлильный станок Прома RV-32
5	Покрытие эмалью, грунтом и лаком	Физический (повышенный уровень шума), химический (наличие токсичных веществ, влияющих на органы дыхания и слизистые оболочки)	Пары грунта ГФ-021, эмали ХВ-16Р и лака БТ-577

## 4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 13 - Организационно-технические методы и технические средства (технические устройства) устранения (снижения) негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов

№ п/п	Опасный производственный фактор	Методы и технические средства защиты, снижения или устранения опасного производственного фактора	Средства защиты
1	Физический (острые кромки, заусенцы, пульсация светового потока, пламя и искры)	Работников должны обеспечивать специальной одеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты (очки, маски, перчатки, головные уборы и другое)	Рабочее место должно быть хорошо освещено. Освещение разделяют на два вида в зависимости от источника света: естественное и искусственное. Перед началом работы сварщик обязан удостовериться в надежности заземления оборудования и провести его наладку.
2	Химический	Работников должны обеспечивать специальной одеждой, обувью и другими средствами индивидуальной защиты (очки, маски, перчатки, головные уборы и другое)	При работе с лакокрасочными покрытиями необходим такой элемент защиты, как респиратор. Рабочий должен следить за его состоянием и сроком годности. Работа без индивидуальных средств защиты запрещается. Вдыхание паров или продуктов горения при сварке негативно сказывается на здоровье. Попадание агрессивных веществ на кожу может вызвать аллергическую реакцию или раздражение и зуд. [20]

## 4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Таблица 14 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Плазменная резка	УВПр-200	D	Пламя и искры, снижение видимости в дыму, тепловой поток	Замыкание напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества;
2	Сварочные операции	ПДШМ-500, ВДУ-506С	D	Пламя и искры, снижение видимости в дыму, тепловой поток,	Замыкание напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; негативные термические и химические воздействия, используемых при тушении пожара веществ
3	Отделочные операции	Эмаль ХВ-16Р, лак БТ-577	B	Высокая концентрация токсичных продуктов горения; снижение видимости в дыму	При сгорании токсичных материалов и жидкостей, выделяющиеся пары и вещества попадают в атмосферу

Таблица 15 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Порошковые огнетушители, ящик с песком	Порошковые огнетушители	Пожарные краны, спринклерное пожаротушение	Извещатель ТВР-2	Шкафчик пожарный, спринклерное пожаротушение	Противогазы, респираторы	Стенд с топором, ведром, лопатой, молотком. Ящик с песком	Извещатель ТВР-2

Таблица 16 – Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс, используемое оборудование в составе технического объекта	Виды реализуемых организационных мероприятий	Нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности
Плазменная резка, воздушно-плазменная резка УВПр-200	Регулярное оглашение рабочим техники безопасности, плановая проверка исправности оборудования,	ФЗ-123 Федеральный закон технический регламент «О требованиях пожарной безопасности»
Сварка, полуавтомат ПДШМ-500, сварочный выпрямитель ВДУ-506С	проверка работоспособности системы пожаротушения, проверка срока годности	ГОСТ Р 12.3.047-2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования.

Отделочные операции, эмаль ХВ-16Р, лак БТ-577	огнетушителей и других средств пожаротушения. Контроль соблюдения техники безопасности.	«ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»
---	---	--

#### 4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Таблица 17 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Технологический процесс	Оборудование, установки и другие составляющие технологического объекта	Негативное воздействие на атмосферу	Негативное воздействие на гидросферу	Негативное экологическое воздействие на литосферу
Плазменная резка	УВПП-200	Аэрозоли, пыль	Не используется	Мусор после резки утилизируется
Сварка	Полуавтомат ПДШМ-500, сварочный выпрямитель ВДУ-506С	Продукты горения электродной проволоки	Не используется	Огарки, сажа, шлак, упаковки от проволоки утилизируются, почва не загрязняется

Таблица 18 – Разработанные мероприятия по снижению негативного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Сварка, плазменная резка
Операция по снижению негативного антропогенного влияния на атмосферу	Установка дополнительной или замена устаревшей вытяжки над рабочим местом
Операция по снижению негативного антропогенного влияния на гидросферу	Вода не используется
Операция по снижению негативного антропогенного влияния на литосферу	Отходы утилизируются, металл отправляется на переплавку

#### 4.6 Заключение по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса сварки крышки мельницы, перечислены виды выполняемых работ, операций, производственного оборудования, технических устройств, применяемых материалов и веществ (таблица 11).

В таблице 12 перечислены профессиональные риски, которым подвержены рабочие, выполняющие технологические операции создания крышки мельницы. Для всех видов работ выявлены физические и химические вредные факторы: пульсация светового потока, повышенная яркость света, высокий уровень шума, наличие острых кромок, раскаленного металла, подвижных механизмов агрегатов, токсичных веществ, влияющих на органы дыхания с слизистые оболочки. Приведены средства снижения профессиональных рисков (таблица 13).

Сварочной операции и плазменной резке был присвоен класс пожара D. Отделочные операции (покрытие изделия лаком и эмалью) получили класс пожароопасности B. Приведены опасные факторы пожара, такие как пламя, искры, тепловой поток, задымленность и другие. Так же выявлены

сопутствующие проявления факторов пожара (таблица 14). Для каждого вредного производственного фактора разработаны методы и технические средства защиты работников от пожара (таблица 13). Описаны пожаротушения: первичные, мобильные, стационарные, автоматические, пожарный инструмент и другие (таблица 15). Разработаны средства и мероприятия для обеспечения пожарной безопасности (таблица 16).

В таблице 17 проведена идентификация экологических факторов производства, влияющих на окружающую среду (мусор, огарки, сажа, шлак, аэрозоли и другие). Разработаны методы снижения негативного антропогенного влияния технического объекта на окружающую среду (таблица 18).

## 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА

В данном разделе произведен экономический анализ двух способов сварки: ручной дуговой и механизированной сварки порошковой проволокой.

Таблица 19 - Краткая характеристика способов сварки

Базовый вариант	Проектный вариант
<p>Ручная дуговая сварка покрытым электродом. Способ становится все менее актуальным. Главным недостатком ручной дуговой сварки является низкая скорость сварки, что приводит к низкой производительности. Большой расход электродов, так как остаются огарки.</p>	<p>Механизированная сварка порошковой проволокой. Экономически выгодный способ сварки, так как во время сварки порошковая проволока используется максимально эффективно. Сварка самозащитной проволокой обеспечивает качественный шов и увеличивает производительность за счет высокой скорости подачи проволоки.</p>

Таблица 20 - Исходные данные по проекту

№	Наименование показателей	Базовый вариант	Проектный вариант
1	Цена стали 09Г2С	~44 руб./кг	~44 руб./кг
2	Цена 1 кг: - электродов Э-42А УОНИ 13/45 - порошковой проволоки ПП-АН8	~95 руб./кг -	- ~115 руб./кг
3	Цена сварочного оборудования: - сварочный выпрямитель ТДМ-503 У2 - выпрямитель ВДУ-506С - механизм подачи проволоки ПДШМ-500	~25000 руб. - -	- ~96000 руб. ~6600 руб.

## 5.1 Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические операции

Время на изготовление одной детали рассчитывается по формуле:

$$t_{шт} = t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} , \quad (6)$$

$$t_{шт} = 696 + 118 + 35 + 55 + 35 = 939 \text{ мин} = 15,7 \text{ ч.}, \text{ Баз.}$$

$$t_{шт} = 480 + 62 + 24 + 38 + 24 = 628 \text{ мин} = 10,5 \text{ ч.} \quad \text{Пр.}$$

$t_0 = t_M$  – основное время. Конкретно для сварки – это время горения дуги;

$t_в$  – вспомогательное время,  $t_в = 5\text{--}25\%$  от  $t_0$ , для РДС больше, так как требуется постоянная замена электрода;

$t_{отл}$  – время на отдых  $t_{отл} = 5\%$  от  $t_0$ ;

$t_{обсл}$  – время уборки сварочного поста  $t_{обсл} = 8\%$  от  $t_0$ ;

$t_{н.п}$  – время для непредвиденных перерывов.

$$t_0 = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}} , \quad (7)$$

$$t_0 = \frac{60 * 20 * 87}{100 * 9} = 696 \text{ мин} = 11,6 \text{ ч.},$$

$$t_0 = \frac{60 * 18 * 87}{120 * 9} = 480 \text{ мин} = 8 \text{ ч.}$$

где:  $M_{напл.мет.}$  – масса наплавляемого металла на одно изделие

$L_{ш}$  – общая длина швов на одно изделие

$I_{св}$  – сила сварочного тока, А;

$\alpha_{напл}$  – коэффициент наплавки, 9 Г/А\*час.

## 5.2 Капитальные вложения в оборудование

Общие капитальные вложения в оборудование:

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{соп}, \quad (8)$$

$$K_{общ} = 23750 + 105500 = 129250 \text{ руб.},$$

$$K_{общ} = 66300 + 93300 = 159600 \text{ руб.}$$

Прямые капитальные вложения рассчитываются для двух способов сварки:

$$K_{пр} = \Sigma Ц_{об} * k_з, \quad (9)$$

$$K_{пр} = 25000 * 0,95 = 23750 \text{ руб.},$$

$$K_{пр} = 102000 * 0,65 = 66300 \text{ руб.}$$

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

$k_з$  – коэффициент загрузки оборудования.

Количество оборудования, которое необходимо для выполнения принятой годовой программы изготовления крышки мельницы рассчитывается по формуле № 10 (получившееся значение округлить до целого числа) [21]:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} * t_{шт}}{\Phi_{эф} * 60}, \quad (10)$$

$$n_{об.расчетн} = \frac{460 * 939}{3705 * 60} = 1,9,$$

$$n_{об.расчетн} = \frac{460 * 628}{3705 * 60} = 1,3,$$

$$n_{об.прин.} = 2.$$

Фонд времени работы сварочного оборудования:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.н}), \quad (11)$$

$$\Phi_{\text{эф}} = (365 - 100 - 18) * 8 * 2 * (1 - 0,06) = 3705.$$

Коэффициент загрузки сварочного оборудования:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}}, \quad (12)$$

$$k_3 = \frac{1,9}{2} = 0,95,$$

$$k_3 = \frac{1,3}{2} = 0,65.$$

Сопутствующие капитальные вложения:

$$K_{\text{сop}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}}, \quad (13)$$

$$K_{\text{сop}} = 5000 + 5000 + 95500 = 105500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{сop}} = 20400 + 20400 + 58500 = 93300 \text{ руб.}$$

Следующим этапом рассчитываются затраты на монтаж, демонтаж и на производственные площади под новое оборудование:

$$K_{\text{монт}} = 25000 * 0,2 = 5000 \text{ руб.}, \quad (14)$$

$$K_{\text{монт}} = 102000 * 0,2 = 20400 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{дем}} = 25000 * 0,2 = 5000 \text{ руб.}, \quad (15)$$

$$K_{\text{дем}} = 102000 * 0,2 = 20400 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{площ}} = 30 * 1000 * 3 * 0,95 = 95000 \text{ руб.}, \quad (16)$$

$$K_{\text{площ}} = 30 * 1000 * 3 * 0,65 = 58500 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на единицу изделия:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}}, \quad (17)$$

$$K_{\text{уд}} = \frac{129250}{460} = 281 \text{ руб.},$$

$$K_{y\partial} = \frac{159600}{460} = 345 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения:

$$K_{\partial on} = K_{\text{проект}} - K_{\text{баз}}, \quad (18)$$

$$K_{\partial on} = 159600 - 129250 = 30350 \text{ руб.}$$

### 5.3 Расчет себестоимости сравниваемых вариантов сварки

Общие затраты на материалы считаются путем складывания затрат на основной материал и присадочный:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}, \quad (19)$$

$$ЗМ = 28237 + 1900 = 30137 \text{ руб.},$$

$$ЗМ = 28237 + 2070 = 30307 \text{ руб.}$$

Затраты на основной материал:

$$ЗМ_{\text{осн}} = 573 \cdot 44 \cdot 1,12 = 28237 \text{ руб.}, \quad (20)$$

$$ЗМ_{\text{осн}} = 573 \cdot 44 \cdot 1,12 = 28237 \text{ руб.}$$

Затраты на электроды и сварочную проволоку высчитывается исходя из их стоимости за килограмм и нормы расхода на изделие:

$$ЗМ_{\text{эл.}(np)} = H_{\text{эл.}(np)} \cdot Ц_{\text{эл.}(np)}, \quad (21)$$

$$ЗМ_{\text{эл.}(np)} = 20 \cdot 95 = 1900 \text{ руб.},$$

$$ЗМ_{\text{эл.}(np)} = 18 \cdot 115 = 2070 \text{ руб.}$$

Для РДС используется сварочный выпрямитель ТДМ-503 У2

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_{\text{о}}}{\eta} \cdot Ц_{\text{э-э}}, \quad (22)$$

$$З_{\text{э-э}} = \frac{2,3 \cdot 11,6}{0,85} \cdot 1,6 = 0,8 \cdot 60 = 48 \text{ руб.}$$

где  $P_{об} = I_{св} \times U_{д} = 100 \times 23 = 2,3$  – полезная мощность ТДМ-503 У2, кВт;

Для механизированной сварки сварочный выпрямитель ВДУ-506С:

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta} \cdot C_{э-э}, \quad (23)$$

$$Z_{э-э} = \frac{3 \cdot 8}{0,9} \cdot 1,6 = 0,71 \cdot 60 = 42,6 \text{ руб.}$$

где  $P_{об} = I_{св} \times U_{д} = 120 \times 25 = 3$  – полезная мощность ВДУ-506С, кВт;

Затраты на содержание и эксплуатацию стандартного и нестандартного оборудования:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{т.р}, \quad (24)$$

$$Z_{об} = 11,3 + 2,2 = 13,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{об} = 5,1 + 6,2 = 11,3 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования:

$$A_{об.} = \frac{C_{об} \cdot N_{а об} \cdot t_{ум}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100}, \quad (23)$$

$$A_{об.} = \frac{25000 \cdot 18 \cdot 939}{3705 \cdot 60 \cdot 100} = 11,3 \text{ руб.},$$

$$A_{об.} = \frac{102000 \cdot 18 \cdot 628}{3705 \cdot 60 \cdot 100} = 5,1 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования:

$$P_{т.р} = \frac{C_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100}, \quad (24)$$

$$P_{т.р} = \frac{25000 \cdot 35 \cdot 0,95}{3705 \cdot 100} = 2,2 \text{ руб.},$$

$$P_{т.р} = \frac{102000 \cdot 35 \cdot 0,65}{3705 \cdot 100} = 6,2 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$Z_{\text{площ}} = \frac{C_{\text{площ}} * S_{\text{площ}} * Ha_{\text{площ}} * t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} * 100 * 60}, \quad (25)$$

$$Z_{\text{площ}} = \frac{1000 * 30 * 2 * 939}{3705 * 100 * 60} = 2,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{площ}} = \frac{1000 * 30 * 2 * 628}{3705 * 100 * 60} = 1,7 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы высчитывается по формуле:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}}, \quad (26)$$

$$\Phi ЗП = 1318 + 158 = 1476 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП = 882 + 105 = 987 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата рабочих:

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} * t_{\text{шт}} * k_{\text{зпл}}, \quad (27)$$

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = 60 * 15,7 * 1,4 = 1318 \text{ руб.},$$

$$ЗПЛ_{\text{осн}} = 60 * 10,5 * 1,4 = 882 \text{ руб.},$$

$$k_{\text{зпл}} = k_{\text{нр}} * k_{\text{вн}} * k_{\text{у}} * k_{\text{нф}} * k_{\text{н}} = 1,4.$$

Дополнительная заработная плата рабочих:

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{д}}}{100} * ЗПЛ_{\text{осн}}, \quad (28)$$

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{12}{100} * 1318 = 158 \text{ руб.},$$

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{12}{100} * 882 = 105 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$O_{\text{с.н.}} = \frac{H_{\text{соц}} * \Phi ЗП}{100}, \quad (29)$$

$$O_{\text{с.н.}} = \frac{30 * 1476}{100} = 442 \text{ руб.},$$

$$O_{с.н.} = \frac{30 \cdot 987}{100} = 296 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость изделия:

$$C_{тех} = 3M + 3_{п.ф} + 3_{э-э} + 3_{инстр} + 3_{площ} + \Phi 3П + O_{с.н.}, \quad (30)$$

$$C_{тех} = 30137 + 1900 + 48 + 13,5 + 2,5 + 1476 + 442 = 34016,5 \text{ руб.},$$

$$C_{тех} = 30307 + 2070 + 42 + 11,3 + 1,7 + 987 + 296 = 33713,3 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость изделия:

$$C_{цех} = C_{тех} + P_{цех}, \quad (31)$$

$$C_{цех} = 34016,5 + 3295 = 37311,5 \text{ руб.},$$

$$C_{цех} = 33713,3 + 2205 = 35918 \text{ руб.}$$

Цеховые (общепроизводственные) расходы:

$$P_{цех} = k_{цех} \cdot 3ПЛ_{осн.}, \quad (32)$$

$$P_{цех} = 2,5 \cdot 1318 = 3295 \text{ руб.},$$

$$P_{цех} = 2,5 \cdot 882 = 2205 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость изделия:

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав}, \quad (33)$$

$$C_{зав} = 37311,5 + 2372,4 = 39683,9 \text{ руб.},$$

$$C_{зав} = 35918,3 + 1587,6 = 37505,9 \text{ руб.}$$

Заводские (общехозяйственные) расходы:

$$P_{зав} = k_{зав} * 3ПЛ_{осн.}, \quad (34)$$

$$P_{зав} = 1,8 * 1318 = 2372,4 \text{ руб.},$$

$$P_{зав} = 1,8 * 882 = 1587,6 \text{ руб.}$$

Полная себестоимость изделия

$$C_{полн} = C_{зав} + P_{вн}, \quad (35)$$

$$C_{полн} = 39683,9 + 1984,2 = 41668,1 \text{ руб.},$$

$$C_{полн} = 37505,9 + 1875,3 = 39381,2 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы:

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{зав}, \quad (36)$$

$$P_{вн} = 0,05 \cdot 39683,9 = 1984,2 \text{ руб.},$$

$$P_{вн} = 0,05 \cdot 37505,9 = 1875,3 \text{ руб.}$$

Таблица 21 - Калькуляция себестоимости изделия

Статьи затрат	Базовый вариант	Проектный вариант
Материалы основные	30137	30307
Материалы вспомогательные	1900	2070
Электроэнергия	48	42,7
Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	13,5	11,3
Затраты на содержание занимаемой под оборудование площади	2,5	1,7
Основная заработная плата	1318	882
Дополнительная заработная плата	158	105
Отчисления на социальное страхование	442	296
Технологическая себестоимость	34016,6	33713,3

Цеховая себестоимость	37311,5	35918,3
Заводская себестоимость	39683,9	37505,9
Заводские расходы	2372,4	1587,6
Внепроизводственные расходы	1984,2	1875,3
Полная себестоимость	41668,1	39381,2

#### 5.4 Расчет экономической эффективности проекта

Ожидаемая прибыль от снижения себестоимости изготовления изделия:

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{у.г.} = \left( C_{полн.}^{баз} - C_{полн.}^{проект} \right) \cdot N_{пр}, \quad (37)$$

$$Pr_{ож.} = \mathcal{E}_{у.г.} = (41668,1 - 39381,2) \cdot 460 = 1051974 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль рассчитываем по формуле:

$$H_{пр} = Pr_{ож} \cdot k_{нал}, \quad (38)$$

$$H_{пр} = 1051974 \cdot 0,24 = 252473,8 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль, ожидаемая от снижения себестоимости продукции, рассчитывается по формуле:

$$Pr_{чист} = Pr_{ож} - H_{пр}, \quad (39)$$

$$Pr_{чист} = 1051974 - 252473,8 = 799500,2 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения в технологический процесс нового оборудования, определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_2 = [41668,1 + 0,33 \cdot 281] - [39381,2 + 0,33 \cdot 345] \cdot 460 = 1042222 \text{ руб.} \quad (40)$$

Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается, так как выполняется неравенство:

$$K_{уд}^{баз} < K_{уд}^{проект},$$

$$T_{ок} = \frac{K_{общ}^{проект}}{Pr_{чист}} \text{ (лет)}, \quad (41)$$

$$T_{ок} = \frac{345}{799500} \approx 0,5 \text{ года}$$

Расчетный срок окупаемости округляем до ближайшего бóльшего числа и получаем принятый срок окупаемости, который в дальнейшем будем рассматривать как горизонт расчета. В нашем случае срок окупаемости равен половине года, что является очень хорошим показателем. Эта цифра будет считаться «горизонтом расчета».

Величину экономии можно определить при помощи коэффициента сравнительной экономической эффективности.

Данный коэффициент является величиной обратной сроку окупаемости капитальных вложений:

$$E_{cp} = \frac{1}{T_{ок}}, \quad (42)$$

$$E_{cp} = \frac{1}{0,01} = 100$$

Неравенство  $E_{cp} > E_n$  выполняется, значит внедряемое мероприятие эффективно.

### 5.5 Расчет повышения производительности труда

Снижение трудоёмкости изготовления изделия:

$$\Delta t_{ум} = \frac{939 - 628}{939} * 100\% = 33\% \quad (43)$$

Снижение трудоемкости достигается за счет внедрения более производительного способа сварки.

Повышение производительности труда:

$$\Delta\Pi_T = \frac{100*33}{100-33} = 42\% \quad (44)$$

Подводя итог можно утверждать, что предлагаемый способ сварки крышки мельницы повысит производительность труда на 42 % и снизит трудоемкость на 33 %.

Необходимо ввести минимальные капитальные вложения в размере 30.350 рублей для внедрения проектной технологии сварки. Так как производительность увеличится, то срок окупаемости вложений составит 6 месяцев. Годовой экономический эффект предположительно составит 1.042.222 рублей. Рекомендуется внедрить разработанный технологический процесс на ОАО «ТЯЖМАШ»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав базовый технологический процесс сварки крышки мельницы можно сделать заключение, что главный его недостаток – это низкая производительность. Это обуславливается низким уровнем автоматизации и механизации сварочного процесса.

В выпускной работе рекомендовано заменить ручную дуговую сварку на механизированную сварку порошковой проволокой.

Произведен выбор оборудования и сварочной проволоки. Рекомендуется использовать сварочный выпрямитель ВДУ-506С и полуавтомат ПДШМ-500. Проволока ПП-АН, диаметром 3 мм, наиболее близка к химическому составу основного металла, поэтому выбор остановлен на ней.

В разработанном и экономически обоснованном технологическом процессе описывается механизированная сварка и ее режимы. Применение механизированной сварки позволяет повысить производительность труда. Следовательно, можно сделать вывод, что цель работы достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин В. Г. Марочник сталей и сплавов / А. В. Волосникова, С. А. Вяткин // — М.: Машиностроение, - 1989 — С. 640.
2. Козулин М.Г. Производство сварных конструкций / М. Г. Козулин // Учебное пособие к дипломному проектированию – Тольятти: ТолПИ - 1991 – С. 77
3. Козулин М. Г. Технология сварочного производства и ремонта металлоконструкций / М. Г. Козулин // – Тольятти: ТГУ 2002 – С.77, С. 131 - 133, С. 222 - 240.
4. Егоров А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ для бакалавриата и специалитета: учебно-методическое пособие по выполнению дипломного проекта / А. Г. Егоров, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова. –Тольятти: ТГУ, 2011. – С. 8 – 87.
5. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: Учебно-методическое пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 150 700.62 «Машиностроение»/ А. С. Климов. – Тольятти: ТГУ, 2014 – 52 с.
6. Виноградов В. С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В. С. Виноградов // М.: Высшая школа; Изд. центр «Академия» - 1997 – С. 319.
7. Глизматенко Д. Л. Сварка и резка металлов / Д. Л. Глизматенко // М.: Высшая школа - 1976. С. 448.
8. ГОСТ 26271-84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. М.: Издательство стандартов. Москва - 1987 – С. 14.
9. Короткова Г.М. Технологические возможности источников питания для дуговой сварки ОАО «Электромеханика» / Г. М. Короткова // Сб.

- трудов, посвященный 75-летию ОАО «Электромеханика». – Ржев - 2014 - С. 69 - 71.
10. Рябов А. О. Регистрация электрических параметров при дуговой сварке /О. А. Рябов, Г.М. Короткова // Студенческие дни науки в ТГУ, Ч.1: Тольятти: Изд-во ТГУ - 2013 – С.73 - 77.
  11. Сато К. Современные источники питания для дуговой сварки с низким разбрызгиванием. / К. Сато // Технология сварки, 2008 - №2. – С. 60 - 65.
  12. Козулин М. Г. Технология изготовления сварных конструкций: учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов спец. 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» / М.Г. Козулин. // Тольятти: ТГУ, 2008 – С. 91 - 92.
  13. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением: учеб. пособие для вузов / В. А. Щекин. // Изд. 2-е, перераб. - Ростов н/Д.: Феникс, 2009 – С. 345.
  14. Гитлевич А. Д. Механизация и автоматизация сварочного производства / А. Д. Гитлевич, А. А. Этитоф // М.: Машиностроение, 1987 – С. 280.
  15. Чванов А. В. Оценка сварочных свойств источников питания для сварки плавящимся электродом в CO<sub>2</sub> / Н. И. Щелкова, Д. А. Семистенов, Г. М. Короткова // Студенческие дни науки в ТГУ: Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015 – С. 33 - 36.
  16. Семистенов Д. А. Исследование эксплуатационных характеристик инвертора «Форсаж-302» при механизированной сварке / Д. А. Семистенов, Г. М. Короткова // Сварочное производство, 2012 - №4. – С. 42.
  17. Евсеев В. О. Безопасность жизнедеятельности: учебник / В. О. Евсеев, Е. И. Холостова, О. Г. Прохорова. - Москва: Дашков и К°, 2013 – С. 456.

18. Валова В. Д. (Копылова). Экология: учебник / В. Д. Валова. // - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Дашков и К°, 2013 – С. 359.
19. Собурь С. В. Огнезащита материалов и конструкций: учеб.-справ. пособие / С. В. Собурь. // - Москва: ПожКнига, 2014 – С. 256 – 259.
20. Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». / Л. Н. Горина // Уч.- методическое пособие. - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016 – С. 25.
21. Краснопевцева И. В, Методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Организация производства и менеджмент» / И. В. Краснопевцева // - Тольятти: изд-во ТГУ, 2013 – С. 23.
22. Farson D. Metal Arc Initiation in Gas Metal Arc welding. / D. Farson, C. Conrardy, J. Talkington // Welding Journal. 1988 № 8. - P. 315-321
23. Soderstrom E. J. Metal Transfer during GMAW with Thin Electrodes and Ar-CO<sub>2</sub> Shielding Gas Mixture / E. J. Sorestrom, P. F. Mendez // Welding Journal. 2008. № 5. - P. 124-133
24. Lesnevich A. Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal – arc welding. Part 2. Control of metal transfer / A. Lesnevich // Welding Journal. 1958, Vol. 37. – No. 9. - P. 418 – 425.
25. Needham G.C. Puls controlled welding arcs / G.C. Needham // British Welding J. 65, N4. - P. 191 – 197.
26. Essers W.G. Some aspects of the penetration mechanism in metal – inert – gas (MIG) welding. Paper 2. Arc. physics and metal pool behavior. / W.G. Essers, Walter R. // International Conference. – London, 1979, Preprints, Adington, 1979. - P. 289 – 300.