

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

Институт Машиностроения, химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Современные технологические процессы изготовления деталей в машиностроении

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему **Технология наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых  
мельниц**

Обучающийся

**М.К. Бабаев**

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**к.т.н., доцент А.Г. Бочкарев**

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), И.О. Фамилия)

Консультанты

**канд. экон. наук, доцент О.М. Сярова**

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), И.О. Фамилия)

**канд. геогр. наук, доцент В.Д. Будко**

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

## Аннотация

Актуальность работы заключается в том, в процессе дробления, бил молотковой мельницы могут подвергаться к износу, за счет ударной нагрузки. Таким образом, для процесса восстановления била молотковой мельницы, используют методику наплавки стеллита на изношенную поверхность била, в толщину равной толщине износа. На основе этого, работа является актуальной, так как данная методика позволяет увеличить продолжительность использования била молотковой мельницы в дробильном процессе.

Объектом исследования является бил молотковых мельниц.

Предметом исследования является методика восстановления бил молотковых мельниц путем наплавки стеллита.

Цель работы: исследование и применение технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 основных глав, заключения, списка используемой литературы и приложений.

В введении автор устанавливает актуальность исследуемой темы выпускной квалификационной работы, с постановкой основной цели перед работой, и составляет перечень решаемых задач.

В первой главе автором проводится теоретическое исследование конструкции молотковых дробилок, теоретический анализ процесса ремонта.

Вторая глава является практической частью работы. В данном разделе автор производит практическое исследование применения технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц.

В третьей главе автор производит технико-экономическое обоснование применения технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц, с постановкой техники безопасности при проведении данной методики. В заключении автор излагает краткое итоговое содержание о проделанной работе.

## Содержание

Введение.....	4
1 Теоретический анализ темы исследования.....	6
1.1 Анализ конструкции молотковых дробилок.....	6
1.2 Теоретический анализ процесса ремонта молотковых дробилок...	10
2. Исследование процесса применяемой технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц.....	14
2.1 Поиск известных решений по теме работы.....	14
2.2 Анализ известных решений по теме выпускной квалификационной работы.....	17
2.3 Технический анализ конструкции било молотковой мельницы....	18
2.4 Технология наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц.....	21
3. Безопасность и экологичность технического объекта.....	29
3.1 Характеристика разработанного технического объекта.....	29
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений.....	30
3.3 Разработка мероприятий по минимизации действия профессиональных рисков.....	31
3.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.....	32
3.5 Мероприятия по безопасности окружающей среды.....	34
4. Оценка экономической эффективности. Анализ безопасности технического объекта.....	36
4.1 Оценка экономической эффективности.....	36
4.2 Анализ безопасности технического процесса восстановления детали путем наплавки стеллита.....	43
Заключение.....	45
Список используемой литературы и используемых источников.....	46

## Введение

Молотковая мельница, за счет использования била, эффективно выполняют функцию дробления материалов средней и мягкой плотности твердости (например, это может быть уголь, известняк и прочие природные породы подходящие под требования плотности твердости). В некоторых случаях такую технологию могут использовать для дробления пород с более плотной твердостью.

Важность этой операции обусловлена тем, «что ключевые компоненты молотковой дробилки, непосредственно контактирующие с измельчаемым материалом, подвергаются значительным ударным нагрузкам и абразивному износу. Кроме того, высокие скорости вращения требуют повышенной прочности материала для противостояния центробежным силам. Сталь 110Г13Л хорошо подходит для таких условий эксплуатации. В некоторых случаях молоты и ударные элементы изготавливаются из низкоуглеродистой стали и покрываются износостойким покрытием» [26].

Несмотря на эти меры, компоненты молотковой дробилки подвергаются значительному износу в процессе эксплуатации. Для продления срока их службы применяются такие конструктивные решения, как двойные рабочие поверхности и возможность переворачивания изношенных деталей. Полностью изношенные детали могут быть восстановлены путем нанесения слоя стеллита толщиной, соответствующей степени износа. Поэтому исследования, направленные на продление срока службы быстроизнашивающихся деталей осевых молотковых мельниц, имеют важное практическое значение.

Объектом исследования является бил молотковых мельниц.

Предметом исследования является методика восстановления бил молотковых мельниц путем наплавки стеллита.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в исследовании и применении технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- провести теоретическое исследование ООО "Газпром трансгаз Самара";
- провести анализ конструкции молотковых дробилок;
- провести теоретический анализ процесса ремонта молотковых дробилок;
- провести анализ известных решений по теме выпускной квалификационной работы;
- провести технический анализ конструкции било молотковой мельницы;
- исследовать технологию наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц;
- произвести технико-экономический расчет используемой технологии.

## 1. Теоретический анализ темы исследования

### 1.1 Анализ конструкции молотковых дробилок

«Молотковые дробилки бывают разных форм и размеров. Хотя каждая молотковая дробилка универсальна, многие заводы-производители дробилок изготавливают дробилки для узкого и специального дробления определенных материалов, а также для использования в определенных условиях и режимах» [15].

Принципиальные схемы дробильных мельниц отображены на рисунке 1.

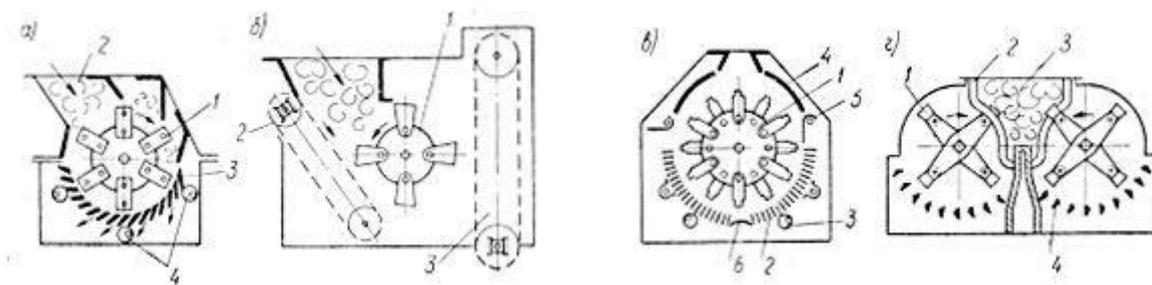


Рисунок 1 – Принципиальные схемы конструкции молотковых дробилок

На рисунке 1а показана схема молотковой дробилки с одним ротором. «Ротор с шарнирно закрепленными на нем молотками вращается на горизонтальной оси; Вращаясь, молоты с ударами измельчают материал, поступающий через грузовой люк. Измельченный материал подается вниз через щели в решетке. Радиальный зазор между молотками и решеткой можно регулировать с помощью эксцентриковых колец» [16].

На рисунке 1б показана схема дробилки с подвижной пластиной ротора. «Эти дробилки используются на цементных заводах и аналогичных предприятиях для дробления горных пород и сырья на слабых первичных стадиях. Куски материала, подаваемые в дробилку, дробятся ударами молотков ротора и отбрасываются на движущиеся пластины питателя. Удары

по пластинам еще больше измельчают материал. Зазор между ротором и питателем можно регулировать» [18].

«Дробилка имеет очистное устройство, представляющее собой устройство, состоящее из пластин, перемещающихся в вертикальной плоскости пространства. Конвейер удаляет прилипший к пластинам измельченный материал с помощью самого конвейера или с помощью скребка, установленного на задней стороне конвейера» [17].

Дробилки, конструкция которых включает подвижную не решетчатую плиту, оснащены автоматическими системами смазки конвейера.

На рисунке 1в представлена «конструктивная схема молотковой дробилки с реверсивным роторным приводом (реверсивная дробилка), состоящая из ротора и двух колосников с эксцентриковыми регулировочными устройствами для изменения разности хода молотков и колосников, а также двух отбойных плит, двух отключающих устройств и нижнего отключающего устройства. Конструкция дробилки симметрична, поэтому правая и левая стороны дробилки идентичны. Это сделано для того, чтобы в случае износа одной из рабочих поверхностей молотка можно было переместить ротор» [15].

На рисунке 1г представлена схема дробилки с двумя роторами для среднего и крупного дробления горных.

«Двухроторная многорядная дробилка имеет два ротора, расположенных горизонтально в пространстве и вращающихся навстречу друг другу по направлению движения. Молотки, подвешенные на шарнирах, довольно тяжелые, что позволяет им свободно проходить через зазоры между решетками, создавая предварительно камеру для дробления материалов» [27].

За счет больших габаритов молотковой мельницы, может происходить большая загрузка более крупными породами, и это экономит время в процессе дробления чем в мало вместных камерах дробильных мельниц.

Дробилка работает по такому принципу. «Для обработки материал поступает в камеру предварительного дробления, где молоты дробят материал таким образом, чтобы куски могли проходить между дробящими решетками.

После прохождения камеры окончательного дробления материал проходит через решетку и выходит из рабочей части дробилки» [5].

Примерная конструкция однороторной молотковой дробилки изображено на рисунке 2.

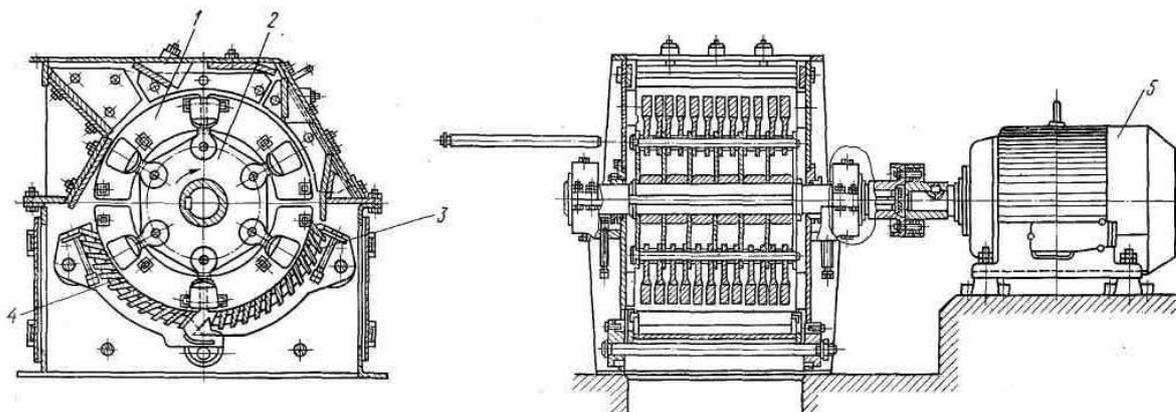


Рисунок 2 – Однороторная молотковая дробилка

Конструкция и принцип работы дробилки.

Дробилка имеет дисковый ротор, «состоящий из нескольких дисков, установленных на горизонтальной оси. Диски разделены втулками и закреплены на оси общей шпонкой. Молотки установлены на дисках с возможностью вращения. Каждый молоток имеет два отверстия, что позволяет ему вращаться в обратном направлении при износе одной из сторон, продлевая срок его службы» [24].

Вал ротора молотковой мельницы устанавливается в основание кольцевого подшипника, которые фиксируются на стенках корпуса установки. На конце вала ротора устанавливается приводной механизм, которые передает движения двигательной установки через ременное крепление или могут даже соединять вал ротора с моторной установкой напрямую через грубую связку деталей.

На нижней части конструкции молотковой дробилки устанавливается решетка, которая собирается из двух секций, соединяющих балкой. Зазор между установленной решеткой и зафиксированным ротором, можно

регулировать при помощи эксцентрикованными кольцами которые также фиксируются к стенке корпуса молотковой дробилки.

Компоненты ротора и молотков.

Сам «ротор представляет собой массивный металлический корпус, установленный на валу. Корпус ротора имеет симметрично расположенные пазы, в которые с помощью клиньев вставляются головки молотков. Ротор вращается на роликовых подшипниках, установленных на валу. На валу ротора установлен наклонный шкив для регулирования скорости вращения ротора» [34].

Элементы дефлектора и футеровки.

В корпусе измельчителя над молотками установлены «две дефлекторные пластины. Дно корпуса облицовано сменными пластинами, закрепленными клиньями для легкой замены. Дефлекторные пластины соединены с верхней и задней стенками корпуса посредством подпружиненных амортизаторов. При попадании неизмельченного объекта в измельчитель дефлекторные пластины отклоняются. После прохождения объекта собственный вес и сила упругости пружин возвращают их в исходное положение.

Зазор между рабочей поверхностью молотков и отражателем регулируется с помощью амортизаторов и тяг, что позволяет регулировать степень измельчения в соответствии с требованиями к конечному продукту» [15].

Процесс измельчения.

Материал подается в измельчитель через загрузочную воронку, прикрепленную к загрузочному отверстию. Из бункера материал по наклонной пластине поступает в первую камеру измельчения. Здесь измельченный молотками материал отбрасывается на отражатель, где подвергается дальнейшему измельчению. «Измельченные частицы материала проходят через зазор между ротором и верхним отражателем и

транспортируются во вторую камеру измельчения для дальнейшего измельчения» [11].

## **1.2 Теоретический анализ процесса ремонта молотковых дробилок**

«При работе молотковых дробилок тщательно проверяйте крепления колосниковой решетки и пластины якоря, проверяйте равномерность подачи материала на заготовку дробилки, так как неравномерная подача материала, например, влажная, приводит к перегрузкам дробилки или засорению ее решеток. При дроблении материалов, влажность которых не превышает 15% или имеет высокое содержание мелких фракций, следует чаще очищать решетку от засоров, а также обращать внимание на зазоры между молотковыми молотками и решеткой дробилки» [10].

Причины поломок молотковой мельницы «могут являться следующие:

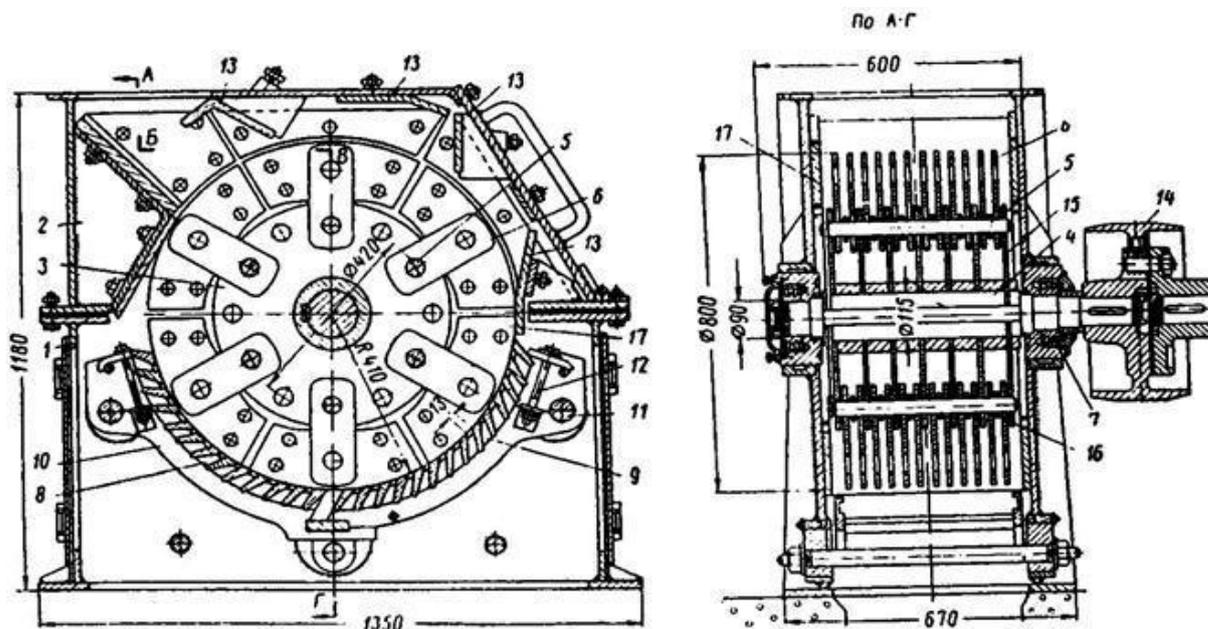
- нарушение баланса ротора вследствие большого износа молотков, установленных на роторе, приводящие к повышенной вибрации при работе дробилки;
- ослабление креплений колосниковых решеток, а также бронеплит;
- недостаток смазки подшипников в ходе работы вала ротора» [8].

«Плановое техническое обслуживание молотковой дробилки включает замену головок молотков или их полную замену на новые по мере износа молотков, замену колосниковых решеток, балансировку роторов, а также осмотр и ремонт всех узлов молотковой дробилки. Наиболее распространенными отходами молотковых мельниц являются молотки, решетки и футеровочные плиты» [4].

Дробилка (рисунок 3) имеет следующие ремонтируемые «узлы:

- ротор и все его составляющие: вал, промежуточные кольца подшипники качения, диски, оси молотков, пластины, молотки, шкив;

- разгрузочная решетка и все его составляющие: опорная балка дробилки, колосниковые решетки, болты креплений решеток);
- корпус (нижние и верхние части станины, плиты для футеровки)» [6].



«Состав конструкции (1 — нижняя часть корпуса; 2 — верхняя часть корпуса; 3 — ротор дробилки; 4 — вал ротора; 5 — оси молотков; 6 — билы молотков; 7 — подшипники качения; 8,9 — колосниковые разгрузочные решетки; 10 — опорные балки; 11 — оси опорных балок; 12 — болты, крепящие колосниковые решетки; 13 — футерованные плиты; 14 — шкив-муфта; 15 — диски ротора; 16 — промежуточные кольца и дистанционные шайбы; 17 — футерованная боковая бронеплита)» [6].

Рисунок 3 - Однороторная молотковая дробилка

Такие компоненты, как головка молота, диск, вал молота и подшипники, обычно подвержены высокому износу. «Регулировка ротора включает в себя втягивание вала ротора, распорной втулки и вала молота для достижения требуемых установочных или номинальных размеров. Решением проблемы износа молота является наплавка твёрдым сплавом, а диск восстанавливается механической обработкой на строгальном или фрезерном станке после электродуговой сварки. Молотки подлежат возврату, если обе стороны изношены. Перед установкой молотков поверхность подготавливают: очищают от грязи, продуктов, крошек и металла, шлифуют абразивными кругами и металлическими щетками до получения металлического блеска.

Поверхность формируется дуговой наплавкой постоянным или переменным током  $I_{св}=140 - 160$  А, воздействующим со всех сторон рабочей части молотка, первоначально электродом марки Э42, толщина наплавленного слоя не должна превышать 5 мм за один прием. При наплавке молота электродами типа Э42 рабочую поверхность молота затем наплавляют коррозионностойкими материалами: сталинитовыми (1,5-2 мм), хромированными или марганцевыми электродами марок Т-600, Т-620, Т-590. Твердость поверхностей сварных швов должна быть не менее 57-60 HRC» [1].

Конструкция загрузочной решетки, «подвергшейся сильному износу, была улучшена и восстановлена до рабочих размеров сваркой. Ремонт корпуса дробилки включает замену изношенных броневых листов на твердосплавные сварные швы, установку нового основания корпуса и, при необходимости, замену крепёжных болтов. Вращение колосников, арматуры и броневых листов осуществляется по тому же принципу, что и у молота» [16]. «При сборке дробильных молотов после планового технического обслуживания необходимо уделять большое внимание сборке и балансировке роторов, так как от правильности сборки и балансировки роторов зависит износ цапф вала и подшипников качения. Перед сборкой ротора молотки взвешиваются и маркируются по весу группами по четыре штуки для удобства сборки дробилки. Разница в весе не должна превышать 71 г. Все молотки весом менее 94% от среднего веса сварные, молотки весом выше нормы изготавливаются с использованием абразивных материалов. Для обеспечения правильной сборки ротора молотковой дробилки требуется статическая балансировка без молотка» [14].

## **2. Исследование процесса применяемой технологии наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц**

### **2.1 Поиск известных решений по теме выпускной квалификационной работы**

В процессе патентно-литературного исследования известных решений по восстановлению деталей бил молотковых мельниц, были взяты для исследования патенты и источники:

- RU 2 334 608 С2. Владелец патента: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тихоокеанский государственный университет" (RU) ООО НПП "ГЕФЕСТ" (RU). Автор: Вашковец Виктор Владимирович (RU).

Данный метод осуществляется следующим способом.

«Подготовленную к восстановлению деталь, например било молотковой мельницы, закрепляют вертикально, соединяют с источником тока и сверху устанавливают кокиль. На изношенную поверхность била кладут спрессованный брикет из термической смеси, например системы железо-алюминий в стехиометрическом соотношении (60% железной окалины, 25% алюминиевого порошка, 11% ферромарганца, 3% маршалита и 8% графита). Отдельно в индукционной печи готовят расплав наплавляемого металла. Далее ручным электродом создают дуговой разряд на брикете из термитной смеси и тем самым инициируют ее горение, после окончания которого заливают расплавленный металл. Положительное влияние на сплавление металлов оказывает применение флюсов (уменьшают угол смачивания, способствуют растеканию жидкого металла). Поэтому после извлечения электрода может быть засыпан флюс, например АМ-26 или АНШ-100, и после его полного расплавления, под воздействием тепла термитной смеси, заливают расплав» [19].

«Исследования опытных деталей, восстановленных предлагаемым способом, показали, что как по качеству наплавленного слоя, так и по прочности стыка они не уступают деталям, восстановленным по способу, описанному в прототипе» [20].

В итоге, при заливке горячим металлом, можно обеспечить восстановление утраченной своей физической конструкции деталей. Такой метод упрощает энергозатратность и трудозатратность в процессе восстановления деталей, и дает возможность обеспечить эффективное качество использования наплавки жидким металлом.

«Недостатком данного способа является низкое качество восстановления из-за недостаточно хорошего сплавления наплавленного слоя с поверхностью восстанавливаемой детали, а также невысокая производительность процесса из-за необходимости покрытия детали флюсом, отдельного подогрева кокиля и детали, сборки их в нагретом состоянии» [29].

– Изобретение «Стеллит» Элвудом Хейнсом в начале 1900-х годов.

Стеллит был изобретен Элвудом Хейнсом в начале 1900-х годов, первоначально как материал для изготовления столовых приборов, которые не оставляли бы пятен и не требовали постоянной чистки. «В 1907 году он получил патент на два конкретных сплава, а в 1912 году - на два родственных; получив эти четыре патента, он занялся производством своих металлических сплавов. В начале 1920-х годов, после значительного успеха во время Первой мировой войны в продаже режущего инструмента и быстрорежущих станков, изготовленных из стеллита, компания Хейнса была куплена Union Carbide, став ее "стеллитовым подразделением", и продолжила разработку других сплавов. В 1970 году компания была продана Cabot Corporation, а в 1985 году Cabot продала часть бизнеса Stellite. Торговая марка Stellite была приобретена Kennametal в 2012 году» [13].

– RU 2 021 105 38 5A Автор: Вячеслав Владимирович Мартынов, Дмитрий Вадимович Тарадай, Анатолий Васильевич Беляков,

Алексей Николаевич Горбачев, Светлана Анатольевна Амбражак,  
Борис Борисович Долгих (RU).

«Способ припайки износостойкой стеллитовой накладкой на входную кромку стальной рабочей паровой турбины, включающий предварительное формирование на спаиваемых поверхностях стеллитовой накладкой и рабочей покрыти методом электроискрового легирования, размещение между спаиваемыми поверхностями тугоплавкого припоя на основе серебра и против окислительного флюса с последующим нагревом до расплавления припоя, при этом прижимают стеллитовую накладку к рабочей детали до отверждения припоя после отключения нагрева, отличающийся тем, что покрытие на каждой из спаиваемых поверхностей формируют из чистого серебра с использованием серебряного прутка в качестве легирующего электрода, причем используют порошкообразный припой, который засыпают между спаиваемыми поверхностями в смеси с порошком противокислительного флюса, при этом указанное покрытие на каждой из спаиваемых поверхностей формируют толщиной 60-120 мкм» [3].

– RU 202 014 358 3А Автор: Фарид Араикович Шайхатдинов, Сергей Владимирович Назаренко, Алексей Николаевич Трапезников, Дмитрий Андреевич Сахаров, Юлия Михайловна Аверина, Виталий Владимирович Кузнецов (RU)

«Способ нанесения жаропрочного покрытия, имитирующего стеллит на основе Co-Cr-W, на поверхность нержавеющей стали, включающий электрохимическое нанесение покрытия и обезводороживающую обработку, отличающийся тем, что электрохимическое нанесение покрытия проводят из водно-диметилформамидного раствора с содержанием  $\text{CrCl}_3$  в концентрации 1,2-1,7 моль/л, хлорида кобальта в концентрации 0,005-0,01 моль/л и вольфрамата натрия в концентрации 0,01-0,05 моль/л при pH 1,2–2,0 и плотности тока 20-50 А/дм<sup>2</sup>, а обезводороживающую обработку проводят в градиентном режиме от начальной температуры 120±10°C до конечной

температуры  $220\pm 10^{\circ}\text{C}$  в течение трех часов, при этом для равномерного распределения тока применяют защитные экраны из полипропилена» [23].

Недостатком данной способа является, покрытия подвергаются высокотемпературной обработке при температуре  $700\pm 20^{\circ}\text{C}$  в течение 96 часов в условиях воздушной атмосферы.

## **2.2 Анализ известных решений по теме выпускной квалификационной работы**

В процессе анализа известных решений производится изучение современных методов восстановления деталей бил молотковых мельниц.

Известно, что «схема ручной дуговой наплавки штучными электродами является наиболее распространенным способом благодаря простоте и возможности наплавления любой формы детали. При этом способе используют электроды требуемого состава диаметром от 3 до 6 мм. Наплавку ведут короткой дугой на минимальном токе. Для повышения производительности можно применять наплавку пучком электродов и трехфазной дугой» [28].

«Основные достоинства метода:

- универсальность и гибкость при выполнении разнообразных наплавочных работ;
- простота и доступность оборудования и технологии» [21].

«Основные недостатки метода:

- низкая производительность;
- непостоянство качества наплавленного слоя; большое проплавление основного металла» [21].

В процессе анализа известных решений и также возникающих недостатков в процессе использования методики ручной дуговой наплавки, стоит провести модернизацию данной технологии, за счет замены ручного метода на автоматический с использованием стеллитного материала.

«Этим способом можно наплавлять плоские поверхности и тела вращения. Отличительной особенностью процесса является получение качественного наплавленного слоя, отличающегося хорошим внешним видом» [11].

Основные достоинства выбранного метода:

- «высокая устойчивость процесса в широком диапазоне плотностей тока (от 0,2 до 300 А/мм<sup>2</sup>), что позволяет использовать для наплавки как электродную проволоку диаметром менее 2 мм, так и электроды большого сечения (>35000 мм<sup>2</sup>);
- производительность, достигающая сотен килограммов наплавленного металла в час;
- возможность наплавки за один проход слоев большой толщины;
- возможность наплавки сталей и сплавов с повышенной склонностью к образованию трещин» [25].

### **2.3 Технический анализ конструкции било молотковой мельницы**

«Било молотковой мельницы, состоящее из основания с наплавленной ударной пластиной из износостойкого материала и двумя проушинами, отличающееся тем, что, с целью повышения его износостойкости, ударная пластина выполнена Г-образной с гладкой рабочей поверхностью и ребристой внутренней поверхностью с чередующимися пазами, выступами и фасками, аналогичными по форме и размерам пазам, выступам и фаскам основания и сформированными при наплавке износостойкого материала» [32].

Химические свойства материала, из которой изготавливается било молотковой мельницы.

Твердость износостойкого чугуна ИЧХ28Н2 – 560-580НВ.

«Химический состав чугуна ИЧХ28Н2:

- С углерод 2,5-3%;
- Mn марганец 0,5-1%;

- Cr хром 25-30%;
- Si кремний 0,7-1,4%;
- Ni никель 1,5-3%;
- S сера не более 0,08%;
- P фосфор не более 1,0%» [30]

«Чугун ЧХ28 применяется для изготовления деталей с высокой стойкостью против ударно-абразивного износа и истирания в мельницах, дробеструйных камерах (износостойкие футеровки, мелющие детали угле- и рудоразмельных мельниц)» [7].

Общий вид детали изображен на рисунке 4.

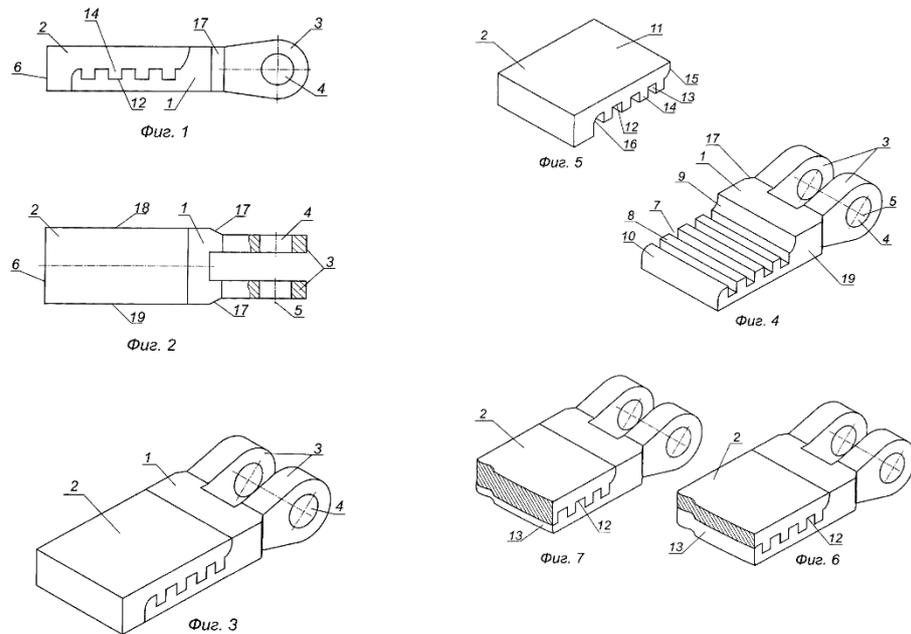


Рисунок 4 – Конструкция било молотковой мельницы

На Фиг. 1 изображено било молотковой мельницы, вид сбоку; на Фиг. 2 - то же, вид сверху; на Фиг. 3 - общий вид била в аксонометрии; на Фиг. 4 - то же без ударной пластины, на Фиг. 5 - ударная пластина в аксонометрии; на Фиг. 6 - било с изношенным до впадины ударной пластины торцом в аксонометрии; на Фиг. 7 - било с изношенным до выступа ударной пластины торцом в аксонометрии.

«Било молотковой мельницы состоит из основания 1 (Фиг. 1, 2) и Г-образной ударной пластины 2, сформированной наплавкой износостойкого материала. Основание 1 содержит две проушины 3 со сквозными отверстиями 4, ось 5 которых параллельна торцу 6 ударной пластины 2. Основание 1 выполнено переменного поперечного сечения с пазами 7 (Фиг. 1, 4), параллельными торцу 6 и оси 5. Выступы 8, образованные пазами 7, имеют прямоугольное поперечное сечение. Основание 1 снабжено вогнутой фаской 9 и выпуклой фаской 10, выполненными параллельно пазам 7» [5].

«Основание 1 выполнено из конструкционной стали, ударная пластина 2 выполнена из износостойкого материала наплавкой и заполнением пазов 7 основания 1 до уровня рабочей поверхности 11 (Фиг. 5). Рабочая поверхность 11 ударной пластины 2 гладкая, а внутренняя поверхность 12 выполнена ребристой и содержит пазы 13, выступы 14, фаски 15 и 16, которые сформированы при наплавке и аналогичны по форме и размерам пазам 7, выступам 8 и фаскам 9 и 10 основания 1» [5]. Переход от основания 1 к проушинам 3 осуществлен с помощью заплечиков 17 (Фиг. 2, 3, 4), выполненных наклонно относительно боковых поверхностей 18 и 19 основания 1 и проушин 3. «Ширина основания 1 больше ширины проушин 3. Било шарнирно крепится к билодержателю ротора молотковой мельницы с помощью пальца (на Фиг. не показан), установленного в отверстиях 4 проушин 3. Толщина торца 6 ударной пластины 2 равна толщине била» [5].

«Фаски 9 и 10 предназначены для снижения внутренних напряжений, возникающих при наплавке ударной пластины 2 к основанию 1 била» [32].

Оптимальным решением для достижения максимальной износостойкости без риска сколов «является нанесение износостойкого покрытия толщиной 5–12 мм на ударную пластину 2. Ребристое поперечное сечение этой пластины увеличивает общую площадь поверхности и, следовательно, количество наносимого износостойкого материала.

Било молотковой мельницы работает следующим образом. Била, установленные рядами по длине и диаметру ротора в шахматном порядке (на

Фиг.1 не показано), вращаясь с большой окружной скоростью, ударяют по падающим в камеру с меньшей скоростью частицам кускового материала, например, каменного угля и разбивают их на мелкие частицы. Частицы материала отлетают от била, ударяются об броневые щитки камеры измельчения мельницы, разрушаются, отскакивают и попадают под удар следующего или соседнего била» [32]. Основная масса материала разрушается торцом б и прилегающей к нему частью ударной пластины 2.

«Переход от основания 1 к проушинам 3 посредством наклонных заплечиков 17 (Фиг. 2, 3, 4) и меньшая ширина проушин 3 предотвращает попадание основного разрушаемого материала на поверхность шарнирного соединения и износ элементов узла крепления. Поверхность торца б, проходя на большой скорости слой частиц материала, испытывает со стороны частиц трение скольжения» [5].

В процессе износа боковой поверхности била, твердыми породами в процессе дробления, первоначальный износ сказывается за счет истачивания боковой поверхности по направлению ударной пластины. Однако по мере достижения выступа ударной пластины образуется более толстый слой износа, что замедляет скорость износа. Этот процесс значительно повышает износостойкость за счёт увеличения площади износа торцевой поверхности ударной пластины без изменения общей толщины ударника. Следовательно, увеличивается срок службы ударной пластины, ударника и молотковой дробилки. Ударник следует заменять после полного износа ударной пластины по всей длине.

#### **2.4 Технология наплавки стеллита при восстановлении бил молотковых мельниц**

Стеллит – «твердый сплав на кобальтовой основе, предназначенный для наплавки деталей машин и режущего инструмента с целью повышения их износостойкости. Был изобретен Элвудом Хейнсом в начале XX века.

Стеллит (англ. Stellite – фирменное название, от лат. stella – звезда) – это общее название группы литых наплавочных твёрдых сплавов на кобальтовой основе, содержащих хром, вольфрам, кремний и другие элементы. Стеллит характеризуется высокой твёрдостью (48 HRC), сохраняющейся при повышенных температурах (свыше 600°С), износостойкостью и коррозионной стойкостью» [35].

На российском рынке «предлагается стеллит иностранных компаний в виде прутков (круглых, ромбических, трапецеидальных) марок 1; 6; 12 и других диаметром 2,4; 3,2; 4; 5; 6,4; 8 мм длиной до 4-х метров. Отечественная промышленность выпускает твердые сплавы марок ВЗК и ВЗК-Р. Эти сплавы являются аналогами стеллитов марок соответственно 6 и 12 и наиболее близки к ним по химическому составу. Отечественные сплавы ПР – ВЗК и ПР – ВЗК-Р, выпускаются по ГОСТ 21449 – 75 “Прутки для наплавки. Технические условия” в виде прутков диаметром 6 и 8 мм и длиной 350; 400; 450; 500 мм» [22].

Химический состав прутков показан в таблице 1.

«Твердые сплавы ВЗК и ECoCr-C / W73001 позволяют получить плотные наплавки на лезвиях режущих инструментов без пороков. Твёрдость наплавленного слоя соответствует для ПР-ВЗК – HRCэ 41,5; ПР-ВЗК-Р – HRCэ 47,5. Они имеют почти такой же коэффициент линейного расширения, как и стали 9ХФ и 9ХФМ, и поэтому после наплавки в лезвиях не возникают внутренние напряжения. Кроме того, стеллиты ВЗК-Р и ВЗК хорошо затачиваются, обладают достаточно высокой износостойкостью при воздействии высоких температур, механических нагрузок, при влиянии химической среды. Предельная температура нагрева наплавки из стеллита ВЗК-Р – 800°, а ВЗК – 750°» [25].

Таблица 1 - Химический состав прутков по ГОСТ 21449-75, % по массе

Марки прутков	Основа	Углерод С	Хром Cr	Кремний Si	Марганец Mn	Никель Ni
ПР-ВЗК	Кобальт Со	1,0...1,3	28,0...32,0	2,0...2,7	-	0,5...2,0
ЕСоCr-С / W73001	Кобальт Со	1,6...2,0	28,0...32,0	1,2...1,5	0,3...0,6	0,1...2,0

Оснащение било стеллитом можно выполнять различными способами: наплавкой, сваркой, пайкой. «Выбор той или иной технологии зависит от возможностей, предпочтений предприятий, наличия на них соответствующего оборудования и экономических соображений» [2].

Методика наплавки заключается в процессе нанесения слоя металла на поврежденную поверхность за счет использования сварочного оборудования. Основные методы наплавки:

- «кислородно-ацетиленовая наплавка заключается в нанесении на предварительно подготовленную (без окалины, грязи, жира) поверхность лезвия слоя наплавки из прутка, который расплавляется в кислородно-ацетиленовом пламени (рисунок 5). Допустимая толщина наплавленного слоя – 3...5 мм;
- электродуговая наплавка с применением дополнительной обмазки электродов заключается в зажигании дуги между наплавляемым лезвием и электродом. Обмазка способствует стабилизации дуги и получению ровного слоя наплавки. Рекомендуемая толщина наплавки для прутков на основе кобальта (ВЗК, ВЗК-Р) до 10 мм. Увеличение толщины наплавляемого слоя снижает его прочность, повышает хрупкость» [32].

В данном случае для восстановления уплотнительной поверхности ударного бил молотковой мельницы используется электродуговая сварка. Этот процесс заключается в создании дуги между свариваемым лезвием и электродом с дополнительным покрытием. Для формирования износостойкого

слоя используется присадочный материал VZK Stellite диаметром 3 мм в среде аргона (W-- Ст+ в Ar) [12].

Ключевыми компонентами этого процесса являются неплавящийся вольфрамовый электрод, сварочная дуга, металл шва и основной металл, расплавленная ванна, присадочный пруток и защитный газ аргон [9].

Поддержание малой глубины проплавления необходимо для минимизации проплавления, что является ключевым требованием данного процесса.



Рисунок 5 – Внешний вид основы бил молотковой мельницы

Для начала нужно определить износ било. Делается это путем дефектации и замеров. «Поэтому:

$$a = 150 \text{ мм (рабочая поверхность)}$$

$$b = 25 \text{ мм (степень износа)}$$

Тогда площадь изношенной поверхности составляет

$$S_{\text{износа}} = 150 * 25 = 3750 \text{ мм}^2$$

Ширина изношенной уплотняющей поверхности

$$b = 100 \text{ мм}$$

Наплавка износостойкой поверхности производится W- Ст+ в Ar присадочным материалом марки ВЗК [36] стеллит d= 3 мм

Сечение прутка ВЗК стеллит

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 6.75 \text{ мм}^2$$

Высота наплавленного слоя

$$h = h_1 + \Delta h = 25 \text{ мм}$$

Режим наплавки выбирается исходя из плотности тока на вольфрамовом электроде при I – прямой полярности» [7]. Известно, что  $jw = 12 - 90 \text{ А/мм}^2$  допускается в горелках с водяным охлаждением. Для неизменного горения дуги  $Iw = 100 \text{ А}$ . При сварке W<sup>-</sup> Ст<sup>+</sup> в Ar статическая ВАХ дуги имеет вид как показано на рисунке 6.

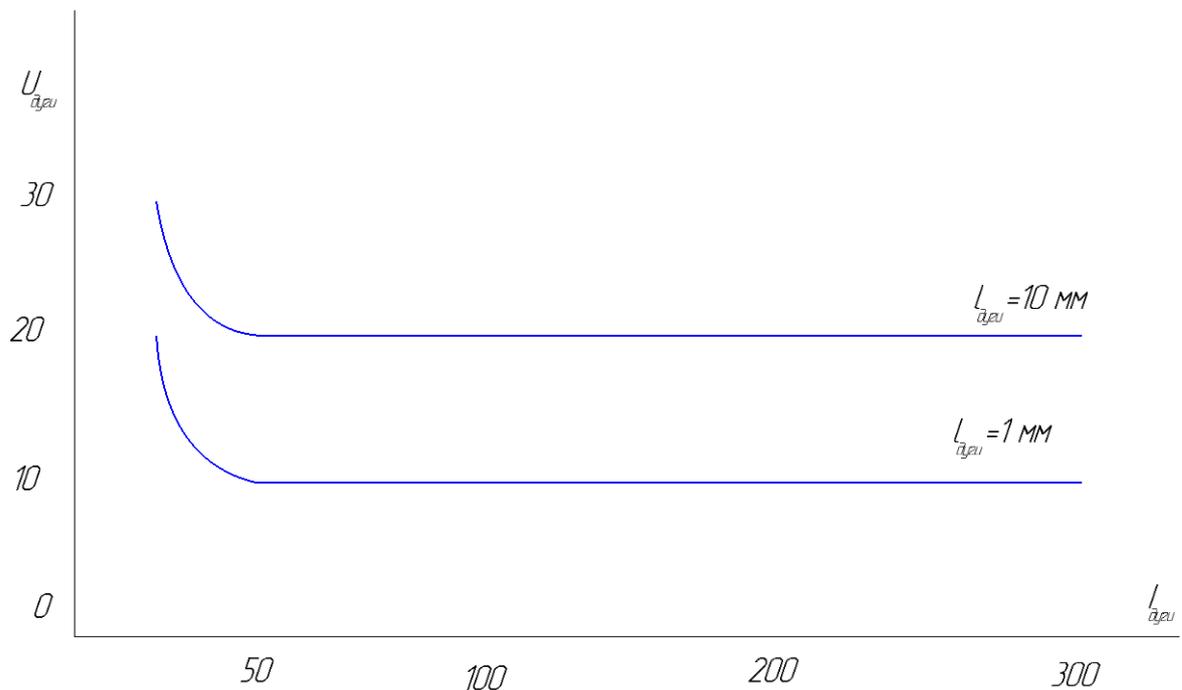


Рисунок 6 – Воль-амперная характеристика дуги

Напряжение дуги ( $U_{arc}$ ) варьируется от 10 до 20 В, длина дуги ( $l_{arc}$ ) — от 1 до 10 мм, после чего дуга гасится. Поскольку идеальная длина дуги для сварки присадочным металлом составляет 6 мм, напряжение дуги в данном случае находится в диапазоне от 13 до 14 В.

Для стабилизации системы «U-D» в зависимости от длины дуги используется внешняя вольт-амперная характеристика (ВАХ) с крутым наклоном (рисунок 7). Это гарантирует отсутствие колебаний длины дуги при постоянном токе ( $\Delta I = 0$ ). Расход аргона (Ar) при сварке W-Cst+ устанавливается в диапазоне от 7 до 8 л/мин.

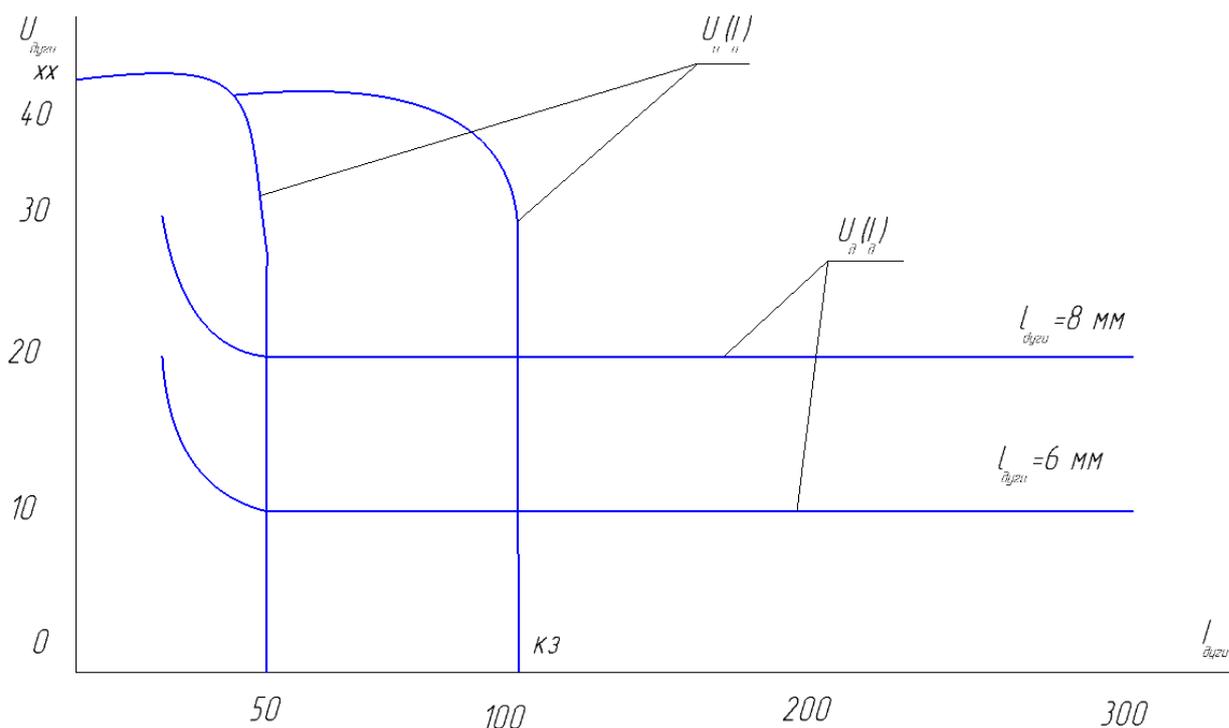


Рисунок 7 - Внешняя вольтамперная характеристика

Исходя из расчетов, следует что:

- $I_{д} = 100 \text{ А}$  – сила сварочного тока при наплавке;
- $U_{д} = 22 \text{ В}$  – напряжение дуги;
- $Q_{Ar} = 8 \text{ л/мин}$  – расход аргона при процессе;
- $d_{пр} = 25 \text{ мм}$  – диаметр присадки;
- $d_{э} = 3 \text{ мм}$  – диаметр электрода из вольфрама;
- число слоев наплавленного металла = 7;
- число проходов = 15;
- $h = 25 \text{ мм}$  – высота наплавки;

Результат процесса наплавки находится на рисунке 8.



Рисунок 8 – Результат наплавки стеллита

Способ нанесения покрытия: Обработка поверхности выполняется электродуговым методом с использованием специально покрытого электрода. Процесс начинается с создания дуги между сварочным элементом (лезвием) и электродом. Для кобальтовых прутков (ВЗК, ECoCr-C/W73001) оптимальная толщина обработки поверхности составляет до 10 мм. Превышение этой толщины может привести к снижению прочности покрытия и повышению хрупкости [27]. Оборудование и материалы:

- Сварочный аппарат: SVAROG TECH MIG 350.
- Электрод: ECoCr-C/W73001.

Послетермическая обработка стеллитом: Термообработка производится после нанесения стеллитового покрытия. Детали помещают в печь при температуре не менее 500 °С, нагревают до 950–970 °С и выдерживают в течение  $2 \pm 0,5$  часа [22]. Охлаждение производится в печи или до температуры ниже 300 °С, после чего детали охлаждают на воздухе.

### 3. Безопасность и экологичность технического объекта

#### 3.1 Характеристика разработанного технического объекта

Для проведения разработанного технического мероприятия по восстановлению била молотковой мельницы путем наплавления стеллита, будет проводиться на производственном участке (рисунок 9). Используемое оборудование для наплавления стеллита, обозначено под №8.

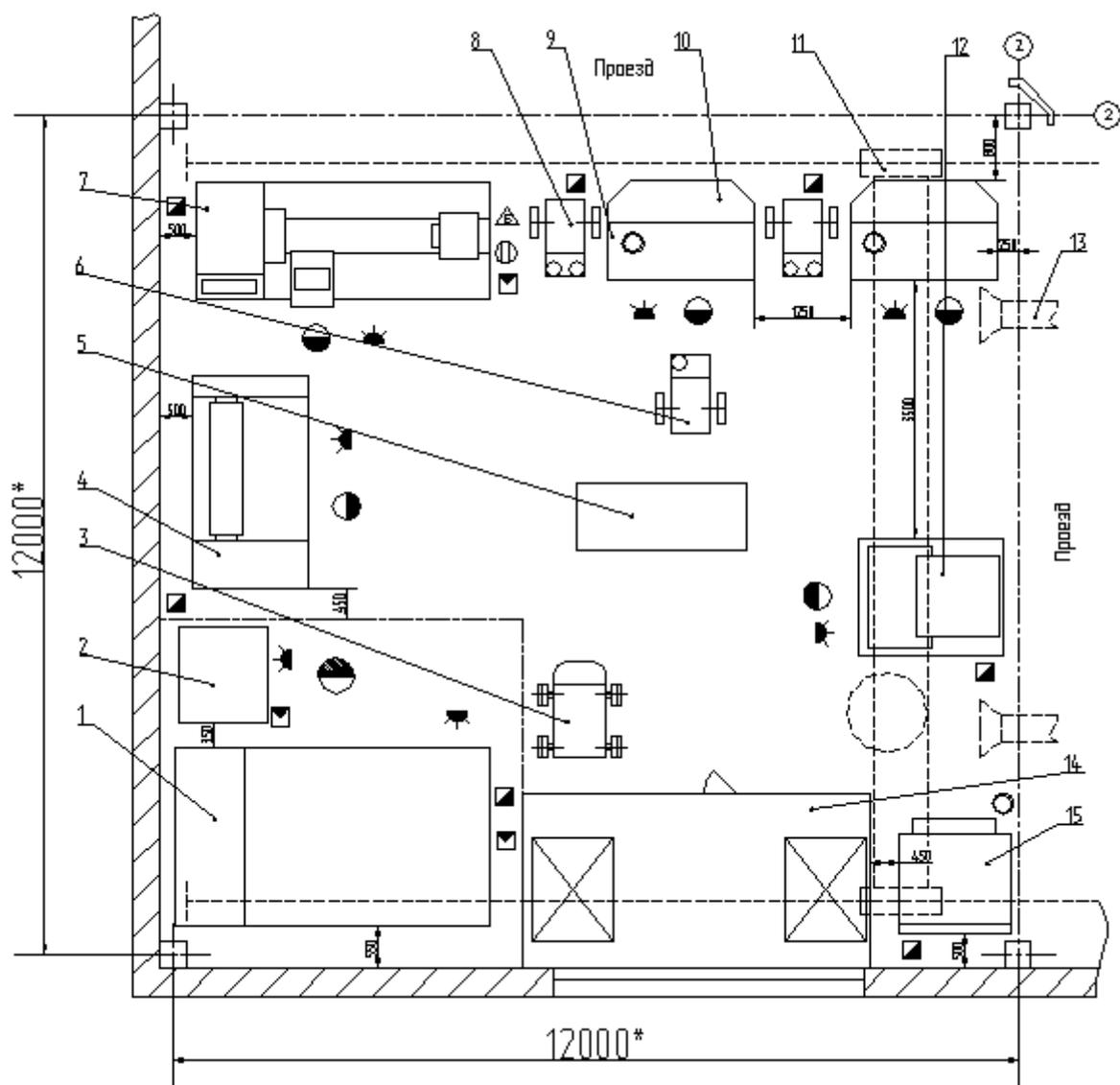


Рисунок 9 – Участок для проведения наплавки

Составим технологический паспорт объекта и сведем в общую таблицу

2.

Таблица 2 – Технологический паспорт

Внедряемый процесс	Операции внедряемого техпроцесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
Наплавка	Входной контроль	Контролер основного производства	Лупа 4х, УШС-3	Ветошь
	Дефектация	Контролер основного производства	Штангенциркуль	Дефектация
	Наплавка	сварщик изделий из тугоплавких металлов,	Сварочный аппарат, СВАРОГ ТЕСН MIG 350.	Материал марки ВЗК стеллит d=3 мм
	Выходной контроль	Контролер основного производства	Лупа 4х, УШС-3, щетка металлическая	Выходной контроль

### 3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Для решения выявленных проблем в процессе сварочного восстановления изношенных деталей молотковой мельницы, которые были выявлены в разделе №1 выполненной работы, мною было предложено провести введения автоматизированного метода нанесения стеллита на поврежденную поверхность била молотковой мельницы. Все потенциальные негативные производственные проблемы, связанные с данным

технологическим предложением, систематически обобщены и представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификация негативных производственных факторов

Выполняемые работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
Входной контроль	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Била
Дефектация	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Била
Наплавка	Повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Сварочный аппарат, СВАРОГ ТЕСН MIG 350, Материал марки ВЗК стеллит d= 3 мм
Выходной контроль	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки.	Била

### **3.3 Разработка мероприятий по минимизации действия профессиональных рисков**

Все существующие и планируемые меры по устранению недостатков, отмеченных в Таблице 3, обобщены в Таблице 4.

Стандартные отчеты, такие как вводные или базовые отчеты, обязательные для всех компаний без исключения [35], не рассматривались.

Таблица 4 – Коллективные и индивидуальные средства защиты от негативных факторов производственного участка

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Коллективные средства защиты от действия негативных факторов	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
Острые кромки	Информирующие об опасности плакаты и надписи.	Спецодежда
Движущиеся детали оборудования и наплавляемые детали	Ограждения от проникновения в опасную зону работников. Информационные плакаты и надписи.	Спецодежда
Мелкодисперсные частицы и вредные газы на участке сварки	Устройства, обеспечивающие удаление загрязненного воздуха и поступление чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
Повышенная температура оборудования и воздуха участка	Устройства, обеспечивающие удаление нагретого воздуха и поступление воздуха извне	Спецодежда
Повышенное напряжение	Заземление оборудования находящегося под напряжением. Периодический контроль состояния изоляции.	Спецодежда
Световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда

### 3.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Меры пожарной безопасности, принимаемые на производственных объектах, направлены на минимизацию рисков для жизни и здоровья работников и обеспечение сохранности имущества предприятия в случае возникновения пожара [33].

Учитывая классификацию пожаров по типу горючих материалов и особенности производственной среды, потенциальные пожары можно отнести к пожарам класса Е, характеризующимся горением электрически заряженных

веществ и материалов. В таблице 5 представлены основные и вторичные опасности, связанные с этим классом пожаров.

Таблица 5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок наплавки	СВАРОГ TECH MIG 350	Горение веществ и материалов под напряжением электрического тока E	а) пламя, искры; б) тепловой поток; в) высокая температура окружающей среды; г) опасные продукты горения; д) уменьшение содержания кислорода при горении; е) дым препятствует нормальной видимости.	Из-за высокой температуры при возгорании возможно повреждение изоляции электрическим током.

Для обеспечения пожарной безопасности в зоне применения технического предложения (уровень пожарной опасности E) должны быть реализованы технические противопожарные мероприятия, направленные на предотвращение ущерба персоналу и имуществу.

Информация о средствах массовой информации, расположенных на производственной территории, представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Технические средства

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарно автоматизи	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Специализированные расчеты (вызываются)	Нет необходимости	Нет необходимости	Пожарный кран на колонне 2-2.	План эвакуации на колонне 2- 2	Ведро конусное, лом, лопата штыковая

Также необходимы организационные меры, обеспечивающие полную защиту работников и активов компании. Перечень мер, используемых для поддержания производства, приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Мероприятия организационного характера

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Наплавка бил	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Мероприятия по безопасности окружающей среды

Составим сводную таблицу мероприятий по исключению негативного воздействия на окружающую среду (таблица 8).

Таблица 8 – Мероприятия

Наименование технического объекта	Наплавка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Монтаж фильтров в систему вентиляции участка для нейтрализации выделяемых при горении сварочной дуги продуктов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования производственных отходов в соответствующие емкости.

Для защиты работников от воздействия вредных и опасных производственных факторов используются стандартные промышленные средства защиты: защитная одежда, маски, системы вентиляции и заземления [36].

Значительное внимание уделяется пожарной безопасности объекта и реализуемых технологических процессов, в частности, анализу потенциальных причин возникновения пожаров.

Продланное исследование в третьем разделе данной работы, дало понять, что применяемые различные меры промышленной безопасности и охраны труда в процессе технического восстановления била молотковой мельницы, все нормы учитываются, вплоть с применением СИЗ для рабочего штата в процессе проведения технических восстановительных работ. Но также было выявлено, что в процессе анализа экологической оценки было выявлено, что износ боковой поверхности била молотковой мельницы, может привести к поломке оборудования дробления и может сказаться негативным образом на атмосферы за счет выброса пыльного облака.

#### 4. Оценка экономической эффективности. Анализ безопасности технического объекта

##### 4.1 Оценка экономической эффективности

Составим сводную таблицу исходных данных (таблица 9).

Таблица 9 – Исходные данные

Наименование показателя	Расчетное обозначение	Ед. измерения	Значение
Принятое число рабочих смен	Ксм	-	1
Значение нормы амортизационных отчислений	На	%	21,5
Разряд сварщика	Р.р.	-	5
Значение часовой ставки работника	Сч	р/час	95,29
Величина коэффициента доли отчислений на сбор з/п	Кдоп	%	12
Величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88
Величина коэффициента, определяющего долю отчислений на обеспечение социальных нужд	Ксн	%	30
Величина коэффициента, определяющего долю затрат на амортизационные отчисления на площади	На.пл.	%	5
Принятое значение стоимости эксплуатации производственных площадей	Сзксп	(р/м <sup>2</sup> )/год	4500
Цена приобретения производственных площадей	Цпл	р/м <sup>2</sup>	30000
Суммарная площадь, занимаемая оборудованием для обеспечения соответствующей технологии	S	м <sup>2</sup>	30
Величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов	Кт-з	%	5
Величина коэффициента, определяющего долю затраты на осуществление монтажа и демонтажа оборудования	Кмонт Кдем	%	5

Продолжение таблицы 9

Наименование показателя	Расчетное обозначение	Ед. измерения	Значение
Величина рыночной стоимости технологического оборудования для обеспечения соответствующей технологии	Цоб	тыс.руб.	560
Величина коэффициента, определяющего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3
Задаваемое значение потребляемой мощности технологического оборудования	Муст	кВт	5
Принятое значение стоимость электрической энергии для обеспечения соответствующей технологии	Цэ-э	р/кВт	3,02
Величина коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,2
Величина коэффициента полезного действия	КПД	-	0,7
Величина коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33
Величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,72
Величина коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,97
Время	t маш	час	0,2

Для начала произведем расчет годового фонда затрат времени:

$$F_H = (D_p * T_{см} - D_{п} * T_{п}) * C, \quad (1)$$

«где

$T_{см}$  – продолжительность в часах рабочей смены;

$D_p$  – суммарное для одного года число рабочих дней;

$D_{п}$  – суммарное для одного гола число предпраздничных дней;

$T_{п}$  – предполагаемые потери рабочего в часах времени от предпраздничных дней;

$C$  – принятое число рабочих смен» [18].

$$F_{н} = (D_{р} * T_{см} - D_{п} * T_{п}) * C = (277 * 8 - 7 * 1) * 1 = 2\,209 \text{ (часов)}$$

«Произведем расчет эффективного фонда времени

$$F_{э} = F_{н} * \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (2)$$

где

$B$  – величина плановых потерь рабочего времени» [18].

$$F_{э} = F_{н} * \left(1 - \frac{B}{100}\right) = 2\,209 * \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2\,054 \text{ (часов)}$$

«Определим время затрат на технологический процесс восстановления детали.

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (3)$$

где

$t_{шт}$  – общий объём времени, затрачиваемого работающим персоналом на операции базовой и проектной технологии;

$t_{маш}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом основные технологические операции базовой и проектной технологии;

$t_{всп}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на подготовительные операции по базовой и проектной технологии, составляющие 10% от  $t_{маш}$ ;

$t_{обсл}$  – объём времени, затрачиваемы рабочим персоналом на проведение обслуживания, текущего и мелкого ремонта оборудования, составляющие 5%  $t_{маш}$ ;

$t_{OTL}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение потребностей в личном отдыхе, составляющий 5%  $t_{МАШ}$ ;

$t_{П-3}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение подготовительно – заключительных операций, составляющий 1%  $t_{МАШ}$ » [18].

$$\begin{aligned} t_{шт} &= t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-3} \\ &= 0,2 * (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,242 \text{ (час)} \end{aligned}$$

«Произведем расчет годовой программы проводимого объема работ по восстановлению била молотковой мельницы.

$$П_{Г} = \frac{F_{э}}{t_{шт}}, \quad (4)$$

где

$F_{э}$  – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

$t_{шт}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного наплавления» [18].

$$П_{Г} = \frac{F_{э}}{t_{шт}} = \frac{2054}{0,242} = 8\,487 \text{ (ед. в год)}$$

Для дальнейшего расчета будем использовать значение равным 1000 единиц за 1 год.

«Расчет оборудования для технологического процесса восстановления детали.

$$n_{расч} = \frac{t_{шт} * П_{Г}}{F_{э} * K_{вн}}, \quad (5)$$

где

$t_{шт}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного наплавления;

$П_{Г}$  – принятая годовая программа;

$F_{э}$  – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

К<sub>вн</sub> – значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы» [18].

$$n_{\text{расч}} = \frac{t_{\text{шт}} * P_{\Gamma}}{F_{\text{э}} * K_{\text{вн}}} = \frac{0,242 * 1000}{2054 * 1,2} = 0,1$$

При полученном значении, оптимально использовать по 1 единицы технологического оборудования при проведении технического восстановления бил молотковой мельницы путем наплавления стеллита.

«Расчет коэффициента загрузки оборудования.

$$K_{\text{з}} = \frac{n_{\text{расч}}}{n_{\text{пр}}}, \quad (6)$$

где

$n_{\text{расч}}$  – рассчитанное количество оборудования;

$n_{\text{пр}}$  – принятое количество оборудования» [18].

$$K_{\text{з}} = \frac{n_{\text{расч}}}{n_{\text{пр}}} = \frac{0,1}{1} = 0,1$$

«Расчет затрат на используемые материалы.

$$M = C_{\text{м}} * N_{\text{р}} * K_{\text{тз}}, \quad (7)$$

где

$C_{\text{м}}$  – рыночная стоимость соответствующего сварочного материала;

$K_{\text{т-з}}$  – величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов» [18].

$$M = C_{\text{м}} * N_{\text{р}} * K_{\text{тз}} = 410 * 0,8 * 1,05 + 90 * 0,7 * 1,05 = 410,55 \text{ (руб.)}$$

«Расчет ФЗП.

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} * C_{\text{ч}} * K_{\text{д}}, \quad (8)$$

где

$C_{\text{ч}}$  – принятая тарифная ставка;

$K_d$  – величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате» [18].

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} * C_{\text{ч}} * K_d = 0,242 * 95,29 * 1,88 = 43,35 \text{ (тыс. руб)}$$

«Расчет дополнительной ЗП.

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} * Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

где

$K_{\text{доп}}$  – величина коэффициента, определяющего долю отчислений на дополнительную заработную плату» [18].

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} * Z_{\text{осн}} = \frac{12}{100} * 43,35 = 5,20 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$\Phi ЗП = 43,35 + 5,20 = 48,55 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет отчислений на соц. Нужды

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП * \frac{K_{\text{сн}}}{100}, \quad (10)$$

где

$K_{\text{сн}}$  – величина коэффициента, определяющего долю затрат на обеспечение социальных нужд» [18].

$$O_{\text{сн}} = \Phi ЗП * \frac{K_{\text{сн}}}{100} = 48,55 * \frac{30}{100} = 14,57 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет затрат на эксплуатацию оборудования

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э-э}}, \quad (11)$$

где

$A_{\text{об}}$  – амортизация оборудования;

$P_{\text{э-э}}$  – размер затрат на электрическую энергию» [18].

«Расчет амортизации оборудования

$$A_{об} = \frac{(Ц_{об} * На * t_{маш})}{F_э * 100}, \quad (12)$$

где

$Ц_{об}$  – рыночная стоимость оборудования для реализации технологии восстановления;

$На$  – норма амортизации технологического оборудования для реализации технологии восстановления» [18].

$$A_{об} = \frac{(Ц_{об} * На * t_{маш})}{F_э * 100} = \frac{560000 * 0,2 * 21,5 * 1}{2054 * 100} = 11,72 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет расходов на электроэнергию

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} * t_{маш} * Ц_{э-э}}{КПД}, \quad (13)$$

где

$M_{уст}$  – мощность оборудования для реализации технологии восстановления;

$Ц_{э-э}$  – стоимость электрической энергии при реализации технологии восстановления;

$КПД$  – значение коэффициента полезного действия оборудования для реализации технологии восстановления» [18].

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} * t_{маш} * Ц_{э-э}}{КПД} = \frac{5,0 * 3,02 * 0,2 * 1}{0,7} = 4,31 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$З_{об} = A_{об} + P_{э-э} = 11,72 + 4,31 = 16,03 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет затрат на содержание помещения

$$З_{пл} = P_{пл} + A_{пл}, \quad (14)$$

где

$P_{пл}$  – размер расходов на эксплуатацию и содержание площадей;

$A_{пл}$  – амортизация площадей» [18].

«Расчет расходов на содержание

$$P_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{экспл}} * S * t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}}}, \quad (15)$$

где

$C_{\text{ЭКСПЛ}}$  – затраты на содержание площадей;

$S$  – площадь, занимаемая оборудованием» [18].

$$P_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{экспл}} * S * t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}}} = \frac{4500 * 30 * 0,2}{2054} = 13,15 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет расходов на амортизацию помещения

$$A_{\text{пл}} = \frac{\Pi_{\text{пл}} * \text{На}_{\text{пл}} * S * t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}} * 100}, \quad (16)$$

где

$\text{На}_{\text{пл}}$  – норма амортизации площади;

$\Pi_{\text{пл}}$  – стоимость приобретения площадей» [18].

$$A_{\text{пл}} = \frac{\Pi_{\text{пл}} * \text{На}_{\text{пл}} * S * t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}} * 100} = \frac{30000 * 30 * 0,2 * 21}{2054 * 100} = 18,40 \text{ (тыс. руб.)}$$

$$Z_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} + A_{\text{пл}} = 13,15 + 18,4 = 31,55 \text{ (тыс. руб.)}$$

«Расчет технологической себестоимости

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi\text{ЗП} + \text{Осс} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{пл}}$$

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi\text{ЗП} + \text{Осс} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{пл}}$$

$$= 410,55 + 48,55 + 14,57 + 16,03 + 31,55 = 521,25 \text{ (руб.)}$$

«Расчет цеховой себестоимости

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} * K_{\text{цех}}, \quad (17)$$

где

$K_{\text{ЦЕХ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при реализации технологии восстановления детали» [18].

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} * K_{\text{цех}} = 521,25 + 43,35 * 1,72 = 595,81 \text{ (руб.)}$$

## «Расчет капитальных затрат

$$K_{\text{ообщб}} = K_{\text{обб}} = n * C_{\text{обб}} * K_{\text{зб}}, \quad (18)$$

где

$K_{\text{з}}$  – величина коэффициента, определяющего долю загрузки технологического оборудования;

$C_{\text{ОБ.Б.}}$  – размер в рублях остаточной стоимости оборудования, определяемый согласно сроку службы;

$n$  – принятое количество единиц оборудования для выполнения заданной производственной программы по базовой технологии.

$$C_{\text{обб}} = C_{\text{перв}} - \left( C_{\text{перв}} * T_{\text{сл}} * \frac{H_a}{100} \right), \quad (19)$$

где  $C_{\text{ПЕРВ}}$  – рыночная стоимость в рублях приобретения технологического оборудования для реализации технологии;

$T_{\text{СЛ}}$  – срок службы в годах оборудования для реализации технологии на начало внедрения предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений;

$H_a$  – норма амортизации в процентах оборудования для реализации технологического процесса» [18].

$$\begin{aligned} C_{\text{обб}} &= C_{\text{перв}} - \left( C_{\text{перв}} * T_{\text{сл}} * \frac{H_a}{100} \right) = 240000 - \left( 240000 * 2.5 * \frac{21}{100} \right) \\ &= 114\,000 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

$$K_{\text{ообщб}} = K_{\text{обб}} = n * C_{\text{обб}} * K_{\text{зб}} = 1 * 114\,000 * 0,2 = 22\,800 \text{ (руб)}$$

«Расчет общих капитальных затрат на технологический процесс

$$K_{\text{общпр}} = K_{\text{обпр}} + K_{\text{плнпр}} + K_{\text{соппр}}, \quad (20)$$

где

КОБПР – принятая величина капитальных вложений в технологическое оборудование;

КПЛ – принятая величина капитальных вложений в площади;

КСОП – принятая величина сопутствующих капитальных вложений» [18].

$$K_{\text{обпр}} = C_{\text{обпр}} * K_{\text{тз}} + K_{\text{зпр}}$$

$$K_{\text{обпр}} = C_{\text{обпр}} * K_{\text{тз}} + K_{\text{зпр}} = 1 * 560\,000 * 1,05 * 0,1 = 58\,800 \text{ (руб)}$$

«Расчет окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\Delta_{\text{уг}}}$$

$$\Delta_{\text{уг}} = (950,76 - 681,21) * 1000 = 269\,550 \text{ (руб)}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\Delta_{\text{уг}}} = \frac{54400}{269550} = 0,2$$

«Расчет годовой экономической эффективности

$$\Delta_{\text{г}} = \Delta_{\text{уг}} - E_{\text{н}} * K_{\text{доп}}$$

$$\Delta_{\text{г}} = \Delta_{\text{уг}} - E_{\text{н}} * K_{\text{доп}} = 269\,550 - 0,33 * 54\,400 = 251\,598 \text{ (руб)}$$

С учетом проведенных расчетов, годовой экономический эффект составил 251,5 тыс. руб.

Финансовые затраты на технологический процесс восстановления детали окупятся примерно за 0,2 (года).

Таким образом технологический процесс восстановления била молотковых мельниц путем наплавления стеллита является экономически выгодным.

## **4.2 Анализ безопасности технического процесса восстановления детали путем наплавления стеллита**

В анализе безопасности, целесообразно будет использовать правила прописанные в нормативно-правовых актах по безопасности использования сварочного оборудования в процессе технического восстановления производственных деталей:

- «использование соответствующей защитной экипировки: работники должны надевать защитную маску, перчатки, защитную одежду и обувь, а также защитные очки для предотвращения возможных травм и ожогов;
- проверка оборудования и инструментов: перед началом работы необходимо проверить сварочный аппарат, газовую горелку и другое оборудование на наличие повреждений и правильности подключения;
- подготовка рабочей зоны: перед началом работы необходимо очистить рабочую зону от легко воспламеняемых материалов и организовать эффективную вентиляцию для предотвращения возможности возгорания или отравления газами;
- соблюдение правил пожарной безопасности: на рабочем месте должны быть установлены средства пожаротушения и обученный персонал должен знать, как использовать эти средства;
- соблюдение правил электробезопасности: работники должны знать, как правильно обращаться со сварочным аппаратом и другими электрическими устройствами, а также как правильно заземлять оборудование» [26].

Соблюдение этих основных норм безопасности при сварке и обработке поверхностей может значительно снизить риск травматизма и несчастных случаев на рабочем месте. Более того, правильное применение мер безопасности может способствовать повышению производительности труда.

## Заключение

Молотковая мельница, за счет использования била, эффективно выполняют функцию дробления материалов средней и мягкой плотности твердости (например, это может быть уголь, известняк и прочие природные породы подходящие под требования плотности твердости). В некоторых случаях такую технологию могут использовать для дробления пород с более плотной твердостью.

В процессе эксплуатации, когда слой износа на конце отбойной плиты изнашивается до состояния вмятины, поперечная защита плиты ослабевает. Это ускоряет износ как самой отбойной плиты, так и воздуходувки. Несмотря на увеличение поверхности износа на конце отбойной плиты, общая толщина воздуходувки остаётся неизменной. Как ни парадоксально, этот процесс повышает износостойкость отбойной плиты, продлевая срок службы как воздуходувки, так и молотковой дробилки в целом.

Изношенные детали восстанавливаются специальным сплавом, повышающим твёрдость поверхности молотка. Изношенные диски затем восстанавливаются с помощью электрической дуги, а затем обрабатываются на строгальном или фрезерном станке.

Для практического восстановления использовался стеллит. Это твердый сплав на кобальтовой основе, предназначенный для наплавки деталей машин и режущего инструмента с целью повышения их износостойкости

После проведения процесса наплавки стеллита, проводится термическая обработка. Для этого проводится загрузка в печь при температуре не ниже 500 °С; нагрев до температуры (950 - 970) °С, выдержка при температуре (2 ± 0,5) ч; охлаждение с печью или до температуры не выше 300 °С, далее на воздухе. При обнаружении дефектов в наплавленном металле после окончательной термообработки необходимость повторной термообработки.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Виртуальный справочник сварщика [электронный ресурс]: Порошковая проволока ПП-АН-105 / <http://svarka-info.com/> (электронный текст) Режим доступа: URL. – <http://svarkainfo.com/content/%D0%BF%D0%BF-%D0%B0%D0%BD105> (дата обращения: 27.05.2025).
2. Гини Э.Ч. Технология литейного производства : Специальные виды литья : учебник для студ. высш. учеб. заведений. / э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин : под ред. В.А. Рыбкина. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
3. ГОСТ 15164-78. Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Взамен ГОСТ 15164-78. Введён 1980-01-01. Москва. Издательство стандартов. – 19 с.
4. ГОСТ 26101-84. Проволока порошковая наплавочная. Технические условия. Взамен ГОСТ 5.1491-72. Введён 1986-01-01. – Москва. Издательство стандартов. – 24 с.
5. ГОСТ 26104-89. Средства измерений электронные. Технические требования в части безопасности. Методы испытаний. Введён 1990-07-01. – Москва. Издательство стандартов. 39 с.
6. ГОСТ 26271-84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия. Введён 1987-01-01. – Москва. Издательство стандартов. – 20 с.
7. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединение сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Взамен ГОСТ 5264- 69. Введён 1981-07-01. – Москва. Издательство стандартов. 35 с.
8. ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Введён 2004-07-01. – Москва. Издательство стандартов. 169 с.

9. ГОСТ 7871-75. Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. Введён 1978-01-01. – Москва. Издательство стандартов. 14 с.
10. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. Взамен ГОСТ 9454-60. Введён 1979-01-01 – Москва: Издательство стандартов. 26 с.
11. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые. Металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. [Текст]. – Введён 1976-01-01. Переиздан 1988-05-01. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам. Москвв: Изд-во стандартов, 1994 – 25 с.
12. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. Введён 1990-01-01. – Москва. Издательство стандартов. 36 с. —
13. Метёлкин, П. В. Оценка экономической эффективности: учебно-методическое пособие / П. В. Метёлкин, В. П. Третьяк, С. А. Ротенберг. — Москва : РУТ (МИИТ), 2021. — 18 с.
14. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учеб. Пособие по дисциплинам «Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов» и «Основы восстановления деталей и ремонт автомобилей» / В.В. Ельцов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 176 с.
15. Заплетников, И. Н. Расчет и конструирование оборудования в отрасли : учебное пособие / И. Н. Заплетников, А. В. Гордиенко. — Донецк : ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2024. — 335 с.
16. Зельниченко А.Т., В.Н. Липодаев Технологии, Материалы, Оборудование. Каталог Весна-лето 2005. Сварка, Резка, Наплавка, Пайка, Нанесение покрытий ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. Киев. 2005 – 255 с.
17. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением : учебное пособие для СПО / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 164 с.

18. Ковтунов А.И. Аргодуговая наплавка сплавами на основе системы железо-алюминий: монография [Текст] / А.И. Ковтунов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014 – 140 с.
19. Ковтунов А.И. Кузин А.В. Бочкарёв А.Г. Технология изготовления и свойства молотков молотковых дробилок [Текст]. / А.И. Ковтунов. – Сборник статей. Волгоград. МЦИИ «Омега сайнс» 2017. – 347 с
20. Ковтунов, А.И. Физико-химическая кинетика взаимодействия алюминия со сталью при формировании металла шва с заданными свойствами: дисс. док. тех. наук/ А.И. Ковтунов. – Тольятти, 2011. – 357 с.
21. Козловский, С. Н. Сварочные технологии : учебное пособие для СПО / С. Н. Козловский. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 416 с.
22. Колачёв Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст] / Б.А. Колачёв, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, 2005. – 432 с.
23. Королев, А. П. Металловедение : учебное пособие / А. П. Королев, Д. М. Мордасов. — Тамбов : ТГТУ, 2024. — 142 с. — ISBN 978-5-8265-2802-0.
24. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. : Под.общ.ред, В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение. 1989. – 640 с.
25. Материаловедение и металловедение сварки : учебник / В. Н. Гадалов, В. Р. Петренко, С. В. Сафонов [и др.]. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 308 с.
26. Металловедение : учебно-методическое пособие / Е. И. Тронза, С. А. Тюрина, Г. Ю. Дальская, Г. А. Юдин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2022. — 40 с.
27. Навроцкий А.Г. Сварочный работы. Все виды сварки: Практическое руководство. – М.: РИПОЛ КЛАССИК, 2003. – 192 с.

28. Носов, Г. А. Аппараты для измельчения, классификации, смешения и транспортировки порошкообразных материалов : учебное пособие / Г. А. Носов, М. Е. Уваров. — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 59 с.
29. Основы проектирования ремонтных предприятий [электронный ресурс]: Ремонт молотковых дробилок / <http://studopedia.ru> (электронный текст) Режим доступа: URL. — [http://studopedia.ru/9\\_43958\\_remont-molotkovihdrobilok.html](http://studopedia.ru/9_43958_remont-molotkovihdrobilok.html) (дата обращения: 27.05.2025).
30. Павлова Т.С. Неупругость сплавов на основе интерметаллида Fe<sub>3</sub>Al [текст]: дис. канд. тех. наук / Т.С. Павлова. — Тула, 2008. -130 с.
31. Самойлова, Л. Н. Технологические процессы в машиностроении. Лабораторный практикум : учебное пособие для СПО / Л. Н. Самойлова, Г. Ю. Юрьева, А. В. Гирн. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 156 с.
32. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т./Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. — М.: Машиностроение. 1978 — Т.1/Под.ред. Н.А. Ольшанского. 1978. 504 с.
33. Фоминых В.П., Яковлев А.П. Ручная дуговая сварка: Учебник для сред. ПТУ. — 7-е изд., испр. и доп. — Высш. шк., 1986. — 288 с.
34. Чулкова, И. Л. Измельчение строительных материалов (механические процессы и аппараты) : учебно-методическое пособие / И. Л. Чулкова. — 2-е изд., испр. и доп. — Омск : СибАДИ, 2024. — 91 с.
35. Эксплуатация и обслуживание кормоприготовительного оборудования животноводческих и комбикормовых предприятий / И. В. Атанов, И. В. Капустин, Е. В. Кулаев, Д. И. Грицай. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 116 с.
36. Электрошлаковая сварка и наплавка [Текст] / Под ред. Б.Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.,