

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)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки)

«Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических материалов»

(направленность, (профиль)/специализация)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Исследование процессов и разработка технологий восстановления
молотковых дробилок»

Студент

А.В. Кузин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.В. Ельцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель магистерской
программы

д.т.н., доцент А. И. Ковтунов

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

(личная подпись)

«__» _____ 20__ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор Ельцов В.В.

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

(личная подпись)

«__» _____ 20__ г.

Тольятти 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Способы повышения срока службы молотковых дробилок	6
1.1 Конструкция молотковых дробилок	9
1.2 Ремонт молотковых дробилок	16
1.2.1 Ремонт ротора	18
1.2.2 Ремонт разгрузочной решётки	19
1.3 Проблемы сварки и наплавки деталей из стали Гадфильда (110Г13Л)	20
1.4 Анализ способов восстановительной сварки и наплавки бил молотков молотковой дробилки	22
1.4.1 Сварка покрытыми электродами	22
1.4.2 Сварка в среде защитных газов	23
1.4.3 Сварка порошковой проволокой	25
1.4.4 Электрошлаковая сварка	29
1.5 Оборудование и материалы, используемое для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок	29
1.5.1 Оборудование, используемое для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок	29
1.5.2 Материалы, используемые для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок	31
1.5.2.1 Electroды ОЗЛ-19.	31
1.5.2.2 Electroды НИИ-48Г	34
1.5.2.3 Electroды ОМГ-Н	35
1.5.2.4 Electroды Т-590	37
1.5.2.5 Порошковая проволока ПП-АН-105	39
1.5.2.6 Порошковая проволока для сварки (наплавки) ВЕЛТЕК-Н210	40
1.6 Задачи исследовательской работы	42

2	Методика исследований процессов формирования и свойств комбинированных молотковых дробилок	43
2.1	Методика исследований процессов формирования комбинированных молотковых дробилок	43
2.2	Методика исследования химического состава наплавленных покрытий	46
2.3	Методика исследования механических свойств комбинированных молотковых дробилок	48
2.4	Методика исследования эксплуатационных свойств наплавленных покрытий	49
2.5	Методика исследования эксплуатационных свойств методом испытаний на ударную вязкость (механические свойства)	51
2.6	Методика исследования влияния термической обработки на механические и эксплуатационные свойства молотков	56
3	Исследований процессов формирования и свойств комбинированных молотковых дробилок	59
3.1	Исследований процессов формирования комбинированных молотковых дробилок	59
3.2	Исследования химического состава слоев комбинированных молотков	64
3.3	Исследование механических свойств наплавленных покрытий и износостойких материалов	71
3.3.1	Исследование механических свойств наплавленных покрытий	71
3.3.2	Исследование механических свойств износостойких материалов	73
3.4	Исследования эксплуатационных свойств методом испытаний на ударную вязкость	74
3.5	Износостойкость при абразивном изнашивании	78
3.5.1	Износостойкость при абразивном изнашивании	78

	износостойкого материала	
3.5.2	Износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного слоя	79
4	Технологический процесс изготовления комбинированных молотков молотковых дробилок	80
4.1	Литьё основы билы по технологии завода-изготовителя	80
4.2	Изготовление износостойкой пластины	86
4.3	Технология сварки пластины с биллой	87
4.4	Наплавка износостойкого слоя	88
4.5	Термическая обработка комбинированных молотков	89
	Заключение	90
	Список используемых материалов	91

ВВЕДЕНИЕ

Молотковые дробилки используются для дробления пород мягкой и средней прочности например, известняк, мел, сухие глины, каменный уголь и подобные им материалы, а также для последующего и повторного дробления известняка и мергелей средней и высокой степени прочности. Они также ограниченно применяются для дробления особо прочных пород.

В качестве материала для молотков используется марганцовистая сталь (110Г13Л). Детали из марганцовистых сталей служат в течение долгого времени, но и они в конечном итоге изнашиваются, в этом и заключается основная проблема молотков молотковых дробилок [1].

Марганцовистая сталь 110Г13Л является очень дорогим материалом и молотки, изготовленные из нее, практически не ремонтируются. Поэтому предлагается для дробления мягких пород заменить цельный молоток на комбинированный. Основание предложено изготавливать из недорогих низколегированных сталей с высокими пластическими свойствами, рабочую часть изготавливать из среднеуглеродистых сталей с высокой твердостью после закалки. Для повышения срока службы молотка на поверхность рабочей части предложено наплавлять интерметаллидные слой на основе сплавов системы железо-алюминий с высокой износостойкостью и низкой стоимостью [2-4].

1 Способы повышения срока службы молотковых дробилок

Молотковые дробилки используются при дроблении пород мягкой и средней прочности например, известняк, мел, сухие глины, каменный уголь и подобные им материалы, а также для последующего и повторного дробления известняка и мергелей средней и высокой степени прочности. Они также ограниченно применяются для дробления особо прочных пород.

Для измельчения вязких, липких материалов и пород, а также материалов, содержание влаги которых превышает 15% используются молотковые дробилки другого конструктивного исполнения. Для материалов влажных, липких или содержащих в своём составе глину, то есть материалов, в дробилках, колосниковые решетки которых забиваются, применяют молотковые дробилки с подвижной плитой.

Раздробление пород в молотковой дробилке происходит за счёт вращающихся с высокой скоростью молотков и их ударами по кускам перерабатываемого материала и ударами перерабатываемых в дробилке кусков друг об друга; ударами породы о дробящие футеровочные плиты, на которые она отбрасывается с помощью молотков; между молотками и плитами для дробления; между молотками и колосниковой решетки дробилки. Наиболее эффективным методом дробления кусков материала является удары бил молотков по породе на лету.

Молотковые дробилки классифицируются по конструктивным признакам, такие как количество валов и роторов, по способу крепления молотков к ротору, по расположению молотков на роторе и по направлению вращения ротора.

По количеству валов и роторов: дробилки с одним валом (одновальные или однороторные), у которых диски с молотками насаживаются на один вал, который располагается горизонтально; дробилки с двумя валами (двухвальные или двух-роторные), у которых молотки располагаются

горизонтально, параллельно расположены на валах, вращающихся навстречу друг другу.

По способу крепления молотков с ротором: дробилки с подвешенными на шарнирах молотками — молотковые дробилки, применяемые для крупного, среднего и мелкого дробления пород мягкой и средней прочности; дробилки, молотки (билы) которых жестко закреплены, применяемые для мелкого дробления мягких пород, а также для помола мела, гипса и прочих подобных вещей; в таком случае такие молотковые дробилки называются молотковые мельницы.

По расположению молотков в роторе: однорядные, когда молотки, в количестве от трёх до шести штук, расположены в одной плоскости вращения; многорядные, когда молотки располагаются в несколько рядов по всей длине ротора.

По направлению вращения ротора: нереверсивные, вращения которых возможно лишь в одну сторону и реверсивные, с возможностью вращения в различные стороны после переключения. В реверсивных дробилках ротор вращается в обе стороны, что позволяет использовать рабочие поверхности молотков (без перестановки их на 180°). Молотки, в таких дробилках служат в два раза дольше без остановки производства.

Российские машиностроительные заводы имеют возможности и производственные мощности изготавливать молотковые дробилки без колосниковых решёток и с колосниковыми решетками.

Конструктивные размеры молотковых дробилок определяются диаметром окружности, которую описывают концы молотков, и длиной ротора. Привод ротора осуществляет вращательное движение от электродвигателя, соединенного с помощью плоской ременной передачи или через муфту.

Молотковые дробилки имеют следующие достоинства: простота и компактность конструкции, высокая надёжность конструкции, малый вес дробилки, непрерывность работы, высокая производительность, высокая

степень измельчения продукта. Молотковые дробилки, имеющие колосниковую решетку, не могут выдавать куски, размер которых превышает ширину щели между колосниками дробилки, т. е. имеют встроенный, неподвижный грохот, что эффективно отличает их от других подобных машин для дробления пород, таких как щековые, конусные и валковые дробилки.

Недостатками молотковых дробилок являются: быстрый износ поверхностей молотков, особенно при дроблении абразивных материалов; при переработке материалов влажность которых превышает 15% колосниковые решетки забиваются; при попадании в дробилку предметов, которые невозможно раздробить есть вероятность возникновения аварийной ситуации.

При дроблении прочного материала и в больших количествах применяются молотковые дробилки с большим весом молотков и с повышенными скоростями вращения роторов, а при мелком — дробилки с более легким весом молотков. Количество молотков может быть повышено.

В обычных случаях молотки изготавливают из углеродистых сталей с последующими операциями наплавки рабочих поверхностей твердых сплавов. Молотки дробилок, предназначение которых является в дроблении материалов с повышенной твёрдостью, изготавливают литыми из марганцовистой стали 110Г13Л, её также называют сталь Гадфильда. Конструкция молотков дробилок симметрична, так что их можно переставлять после большого износа одной из рабочих её поверхностей на другую, то есть перевернуть.

Скорость вращения ротора молотковых дробилок с молотками зависит от прочности и твёрдости дробимого материала и степени измельчения пород, в обычных случаях она равняется от 25 до 55м/сек. При дроблении особо прочного материала, состоящего из крупных кусков с большей степенью измельчения пород, скорости ротора должны быть выше данных значений.

Молотковые дробилки являются быстроходными машинами, поэтому их роторы, чтобы избежать лишних динамических нагрузок и неуравновешенности, появления дисбаланса при вращении роторов должны быть подвергнуты тщательной балансировке. Из-за больших инерционных усилий, во время работы, возникающих в роторе дробилки, молотковые дробилки чаще всего выходят из строя по причине износа подшипниковых соединений или больших динамических нагрузок в дробилке. Вследствие этого, быстроходные молотковые дробилки даже при небольшом значении эксцентриситета возникают при работе значительные центробежные силы, в результате чего просходит биение ротора, а затем происходит разрушение подшипников ротора. Степень измельчения в дробилках с одним ротором 10—15мм, в дробилках с двумя роторами доходит до 30—40мм.

В основном молотковые дробилки изготавливают с ротором диаметр которого от 500 до 2000мм. Длина ротора в таких случаях принимается равной от 0,65 до 1,5 его диаметра. Частота оборотов ротора в минуту колеблется для дробилок с одним ротором в пределах от 500 до 1500 оборотов в минуту, для дробилок с двумя роторами эти значения ниже – от 200 до 300 оборотов в минуту.

1.1 Конструкция молотковых дробилок

Молотковые дробилки различаются огромным конструкционным разнообразием.

Невзирая на универсальность каждой из молотковых дробилок, многочисленные заводы по изготовлению дробилок производят дробилки для узкого и специального дробления определенных материалов и работы в определенных условиях и режимах.

На рисунке 1.1 представлены принципиальные схемы, молотковые дробилки которых чаще остальных используются для дробления различных материалов.

На рисунке 1.1а представлена схема молотковой дробилки с одним ротором без функции реверса с облегченными билами молотков. На горизонтальном валу вращается ротор с шарнирно закрепленными к нему билами молотков, которые при вращении ударами дробят поступающие через загрузочный люк материал. Раздробленный материал через щели колосниковой решетки подается вниз. Радиальный зазор между молотками и колосниковой решеткой имеет возможность регулироваться с помощью эксцентриковых колец.

На рисунке 1.1б представлена схема дробилки с одним ротором, имеющим подвижную плиту – незамазывающаяся дробилка. Эти дробилки применяются на цементных заводах и им подобных для дробления пород и сырья небольшой прочности на первичных стадиях. Куски материала, подающегося в дробилку разбиваются ударами молотков ротора и отбрасываются на подвижные плиты питателя. При ударе о его пластины материал дополнительно размельчается. Зазор между ротором и питателем возможно регулировать.

В дробилке существует очистное устройство, представляющее собой конвейер из пластин, движущихся в вертикальной плоскости пространства. Налипающие на пластины конвейера куски измельченного материала отбрасываются самим конвейером или же с помощью скребка, установленным на обратной стороне конвейера.

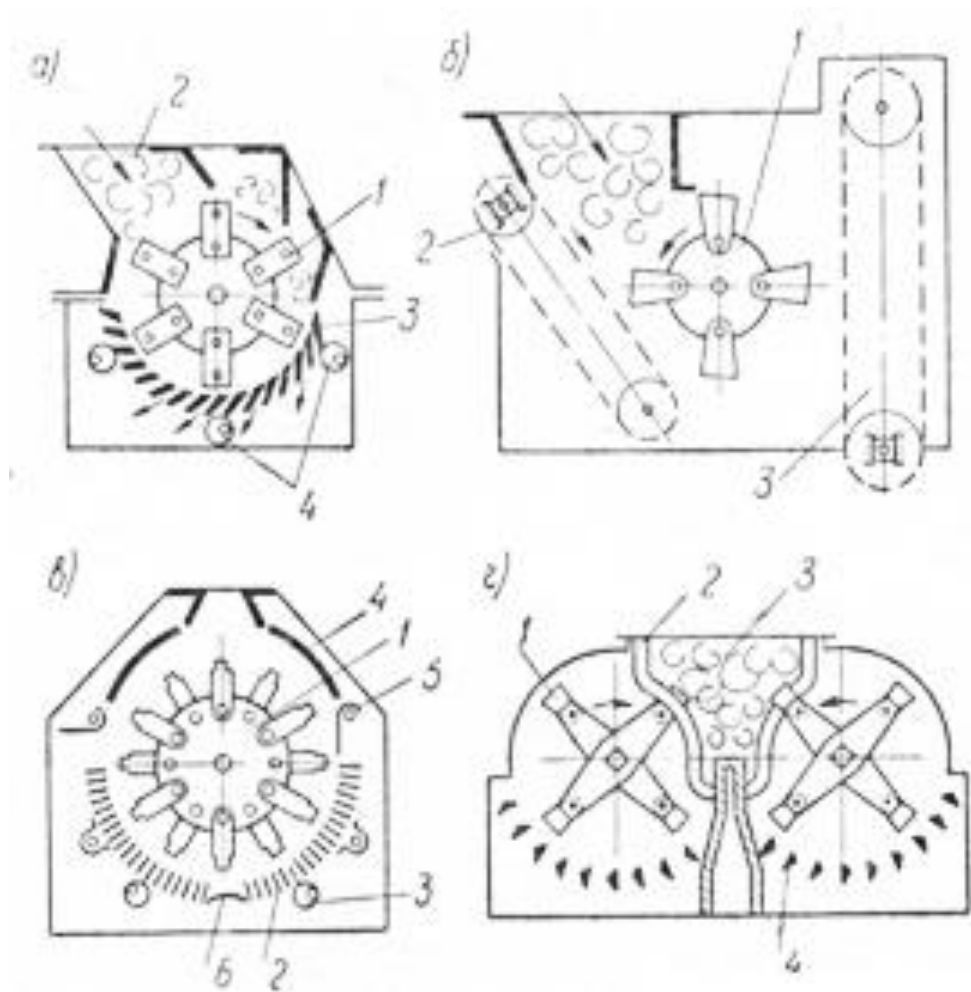


Рисунок 1.1 – Принципиальные схемы конструкций молотковых дробилок

Дробилки, в конструкциях которых, имеется подвижная плита не имеют колосниковой решетки и снабжены автоматическими системами смазки конвейера.

На рисунке 1.1в представлена конструктивная схема молотковой дробилки с возможностью реверса ротора (реверсивная дробилка), которая состоит из ротора и двух колосниковых решеток с эксцентриковыми регулируемыми устройствами изменения зазора между молотками и колосниками, также имеется две отбойные плиты, два перекрывающих устройства и нижнее перекрывающее устройство. Конструкция дробилки симметрична, то есть правая и левая стороны дробилки одинаковые. Это сделано для того, чтобы при износе одной рабочей поверхности молотка, ротору передается движение в обратную сторону.

На рисунке 1.1г приведена схема дробилки с двумя роторами для среднего и крупного дробления пород и материалов средней величины прочности, которая применяется в основном при производстве цемента.

Многорядная дробилка с двумя роторами имеет два горизонтально расположенных в пространстве ротора, вращающихся по ходу движения к друг другу. Молотки, подвешенные на шарнирах, специально имеют большой вес и свободно проходят в зазоры между колосниками, образуя камеру для предварительного дробления материалов.

В такую камеру, благодаря её большим размерам и тяжелым молоткам дробилки, можно загружать куски большего размера и получать высокую степень дробления и измельчения материалов. Дробилка работает по следующему принципу. Материал для обработки поступает в камеру предварительного дробления, где молотки измельчают материал до размеров, при которых куски могут проходить между колосниками дробилки. После того, как материал проходит камеру окончательного дробления материал далее проходит через решётку колосниковую и выгружается из рабочей части дробилки.

На рисунке 1.2 показана конструкция молотковой дробилки с одним ротором без реверса роторов с легкими билами молотков для мелкого дробления мягких и хрупких материалов.

Ротор дробилки является дисковым, диски закрепляются на горизонтальном валу с помощью общей шпонкой и отделяются втулками друг от друга. На дисках с помощью шарниров била молотков. В молотках сделано по два отверстия, поэтому, когда один конец молотка достигнет максимального износа, его можно развернуть и продолжить работу.

Вал ротора вращается на подшипниках, которые смонтированы в стенки корпуса дробилки. На выступающих концах вала ротора устанавливается комбинированная муфта — это шкив для привода дробилки через ременную передачу или для соединения вала ротора непосредственно с валом электродвигателя.

Колосниковая решётка, располагающаяся в нижней части дробилки состоит из передней и задней колосниковой решётки, которые представляют собой колосники трапецеидального сечения, закреплённого двумя балками.

Величина радиального зазора между движущимся ротором и колосниковой решёткой регулируется с помощью поворота эксцентриковых колец, которые устанавливаются в стенках корпуса дробилки.

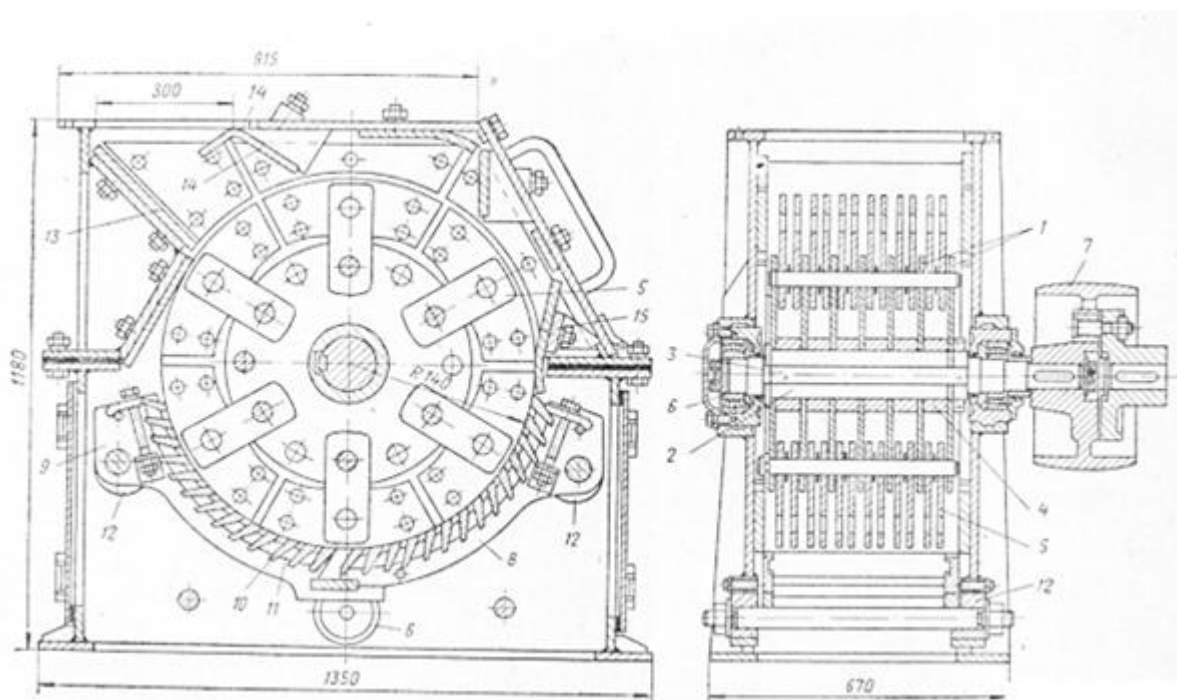


Рисунок 1.2 – Однороторная молотковая дробилка

Ротор дробилки состоящий из массивного стального корпуса, который насаживается на вал. В корпусе ротора симметрично располагаются фигурные пазы, в которые монтируются при помощи специальных клиньев била молотков. Ротор вращается на роликовых подшипниках, которые устанавливаются на валу ротора. На валу ротора располагаются сменные шкивы для обеспечения нескольких скоростей вращения ротора.

В верхней части молотковой дробилки, на корпусе подвешивают две отражательные плиты, нижнюю часть которых футеруют при помощи сменных пластин. Футеровка имеет клиновое крепление сменных пластин. Отражающие плиты с помощью тяг соединяются с пружинными амортизаторами, которые располагаются на верхней и задней стенках

корпуса дробилок. При попадании предметов, которые нельзя раздробить, отражательные плиты производят отклонение в сторону стенок; в рабочее положение они возвратятся под действием собственной тяжести и усилия, приложенного пружинами.

С помощью амортизаторов и тяг в зависимости от требуемого размера конечного продукта регулируется зазор между рабочей частью билы и отражательной плитой.

К загрузочному окну корпуса в месте, где эксплуатируется дробилка крепится загрузочная воронка, по которой происходит загрузка материала с пластинчатого питателя по наклонной плите в камеру дробления. Здесь он билами разбивается на мелкие фракции и отбрасывается в сторону отражательной плиты, где дополнительно происходит его дробление. Материал подвергшийся дроблению и отдельные его куски через щель между ротором и верхней отражающей плитой попадают во вторую камеру дробления, где происходит дополнительное дробление и измельчение.

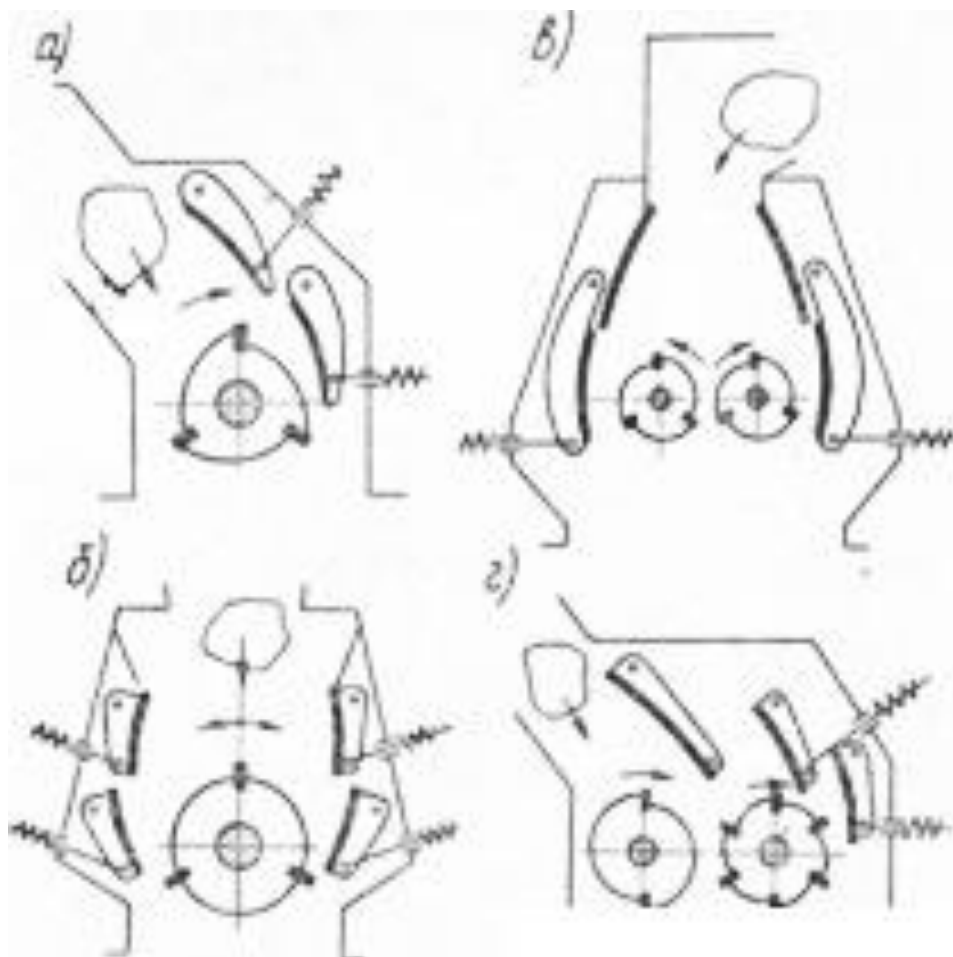


Рисунок 1.3 – Принципиальные схемы конструкций роторных дробилок
 а — нереверсивная дробилка с одним ротором; б —реверсивная дробилка с одним ротором; в — дробилка с двумя роторами с параллельным методом дробления; г — Дробилка с двусм роторами с последовательным методом дробления

Готовый продукт подаётся через зазор между ротором и второй отражательной плитой в воронку под дробилкой на разгрузочный транспортер.

Привод ротора дробилки осуществляется посредством клиноременной передачи от электродвигателя.

Для отсоса пыли из дробилки, которая образуется в процессе дробления, устанавливается устройство аспирации.

1.2 Ремонт молотковых дробилок

Во время эксплуатации молотковых дробилок следует тщательно проверять крепления колосников и броневых плит, следить за равномерностью подачи материала в рабочую зону дробилки, так как неравномерная подача материала, как и подача влажного материала, вызывает перегрузки в работе дробилки или забивание решеток дробилки. При дроблении материала влажность которых не превышает 15% или имеют большое содержание мелких фракций, требуется периодически очищать колосниковую решетку от засорения, а также проверять зазоры между билами молотков и колосниковыми решетками дробилки.

Основными причинами поломок молотковых дробилок 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.

Во время текущих ремонтов молотковой дробилки билы молотков разворачивают другой стороной или полностью заменяют на новые, в зависимости от износа молотков, а также восстанавливают колосниковые решетки, производят балансировку роторов, проверяют и регулируют все узлы молотковой дробилки. Наиболее изнашивающимися деталями молотковых дробилок являются молотки, колосниковые решетки и плиты для футеровки.

Дробилка (рис. 1.4) имеет следующие ремонтируемые узлы:

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

2) разгрузочная решетка и все его составляющие: опорная балка дробилки, колосниковые решетки, болты креплений решеток);

3) корпус (нижние и верхние части станины, плиты для футеровки).

Дробилку следует разбирать в следующей строгой последовательности: отключение электропитания, снятие ограждений, демонтаж шкив-муфты и электродвигателя, отворачивание болтов корпуса дробилки, снятие верхней части корпуса с помощью подъемно-транспортных средств и укладывание в отведенное место. После этого следует промывание внутренней части дробилки вместе с ротором водой из шланга. Далее следует демонтаж подшипников вала ротора и самого ротора, для чего производят строповку вала: с помощью подъемно-транспортных средств поднимают ротор и затем укладывают его на место хранения. Затем следует осмотр дробилки и проверка состояния отбойных бронеплит, колосниковых решеток, подшипников, вала, осей опорных балок, плит для футеровки. Перед разборкой колосниковых решеток вначале производят снятие опорных балок, затем, отворачивают болты крепления колосниковых решеток, производят их изъятие. Съем отбойных бронеплит является заключительной операцией.

При капитальном ремонте дробилок полностью заменяют ротор в сборе, а также колосниковые и броневые плиты.

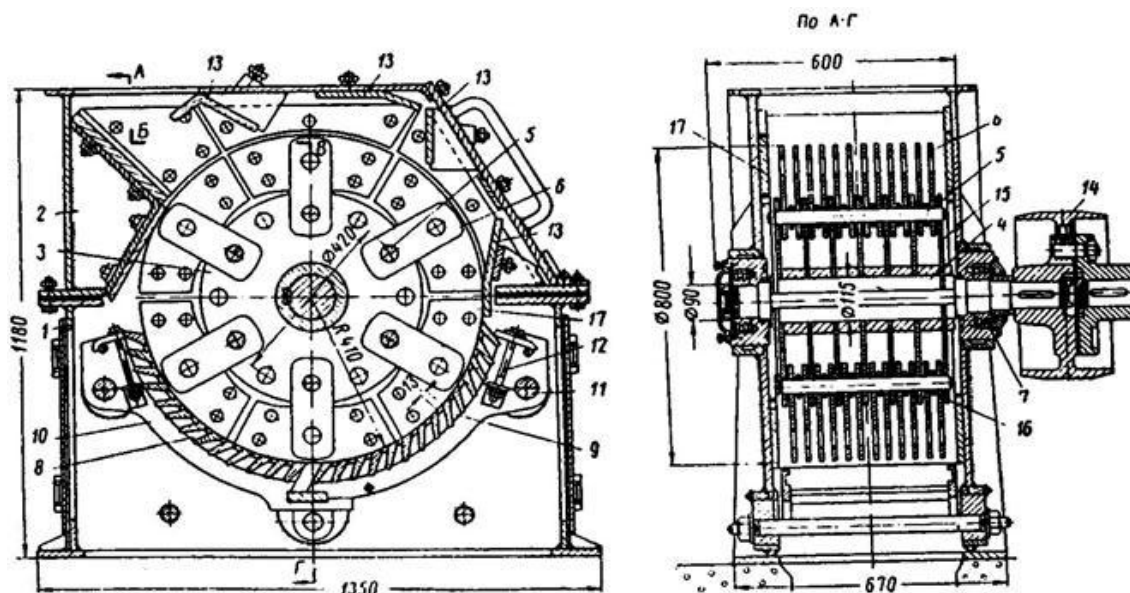


Рисунок 1.4 –Омногорядная молотковая дробилка с одним ротором:
 1 — нижняя часть корпуса; 2 — верхняя часть корпуса; 3 — ротор дробилки; 4 — вал ротора; 5 — оси молотков; 6 — билы молотков; 7 — подшипники качения; 8,9 — колосниковые разгрузочные решетки; 10 — опорные балки; 11 — оси опорных балок; 12 — болты, крепящие колосниковые решетки; 13 — футерованные плиты; 14 — шкив-муфта; 15 — диски ротора; 16 — промежуточные кольца и дистанционные шайбы; 17— футерованная боковая бронеплита

1.2.1 Ремонт роторов

Детали, которые быстрее всех изнашиваются являются быстроизнашивающимися, такими деталями являются билы молотков, диски, оси молотка и подшипник. Во время ремонта роторов производят восстановление вала ротора, доводят до ремонтного или номинального размера, а также распорные втулки и оси молотков.

Изношенные молотки восстанавливают с помощью наплавки сплавов с повышенной твёрдостью, изношенные диски — электродуговым

способом наплавки с последующей обработкой на строгальном или фрезерном станках. Молотки подлежат восстановлению, когда обе его стороны изнашиваются. Перед наплавкой молотков производят подготовку поверхности: очищают от грязи и продуктов, коррозии, зачищают до металла пескоструйной обработкой, абразивными кругами, металлическими щетками до металлического блеска. Наплавку производят дуговыми способами наплавки, в котором используются постоянный или переменный токи $I_{св}=140 - 160$ А со всех сторон рабочей части молотка первоначально электродом типа Э42, толщина наплавленного слоя не должна превышать 5 мм за один проход. После наплавки молотка электродами типа Э42, рабочую поверхность молотка далее наплавливают износостойкими материалами: сталинитом (1,5—2 мм), хромистыми или марганцовистыми электродами марок Т-600, Т-620, Т-590. Твердость наплавленных поверхностей молотка должна быть не менее 57-60 HRC.

1.2.2 Ремонт разгрузочной решетки

В данном узле деталями с быстрым износом являются колосниковые решетки, которые восстанавливают наплавкой до рабочих размеров. При ремонте корпусов дробилок восстанавливают бронеплиты наплавкой твердых сплавов, основания корпуса, а также заменяют крепёжные болты на новые в случае надобности. Восстановление колосников, броневых и футеровочных плит производят по тому же принципу, что и молотки.

При сборке молотковых дробилок после текущего ремонта особое внимание уделяют сборке роторов и их балансированию, так как от качества сборки и балансировки роторов зависит износ шеек вала и подшипников качения. До сборки ротора молотки проходят взвешивание и маркировку по весу на четыре группы для упрощения способа сборки дробилки. Разница в весе не должна превышать 71 г. Все молотки, вес

которых составляет меньше 94% от среднего веса, наплавляют, а молотки, вес которых превышает нормальные значения обрабатываются с помощью абразивных материалов. Для того чтобы проверить правильность сборки ротора молотковой дробилки, необходимо провести статическую балансировку без молотков [5].

1.3 Проблемы сварки и наплавки деталей из стали Гадфильда (110Г13Л)

Сталь Гадфильда — сталь, имеющая высокое значение сопротивления износу (истиранию) при больших давлениях и ударных нагрузках, также для этой стали характерны высокие значения пластичности.

Сталь Гадфильда была предложена в 1882 году английским металлургом Р. Гадфильдом. Обозначение марки стали в соответствии с ГОСТ 977-88 — 110Г13Л. Сталь Гадфильда имеет свойство сильно наклёпываться при ударных нагрузках.

Из неё изготавливают траки гусениц для танков, тракторов, машин, а также щёки дробилок, рельсовые крестовины, стрелочные переводы, которые работают в условиях ударных нагрузок и абразивного износа. Отливки из стали редко подвергаются дополнительной обработке, так как она плохо обрабатывается резанием из-за наклёпа поверхности в процессе резания [1].

Назначение:

корпусы вихревой и шаровой мельниц, щеки и конусы у дробилок, зубья и передние стенки ковшей экскаваторов, железнодорожные крестовины и др. Тяжело нагруженные детали, работающие под действием статических и высоких динамических нагрузок и от которых требуется высокая износостойкость [1].

Таблица 1.1 – Химический состав стали Гадфильда (110Г13Л) [1]

(Si) Кремний	0,79-1.0%
(Mn) Марганец	11.5-15.0%
(Cu) Медь	0.30%

(Ni) Никель	1.0%
(S) Сера	0.05%
(C) Углерод	0.9-1.4%
(P) Фосфор	0.12%
(Cr) Хром	1.0%

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 110Г13Л [1]

$t_{\text{испытания}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/м ²	НВ
Отливки сечением 30 мм. Закалка 1050-1100 ^o С, вода.						
+20	360-380	654-830	34-53	34-43	260-350	186-229
-20	360-380	654-830	34-53	34-43	240-320	186-229
-40	360-380	654-830	34-53	34-43	220-300	186-229
-60	360-380	654-830	34-53	34-43	190-300	186-229
-80	360-380	654-830	34-53	34-43	90-210	186-229

Таблица 1.3 – Технологические свойства стали 110Г13Л [1]

Свариваемость	не применяется для сварных конструкций.
Обрабатываемость резанием при НВ 229	$K_{\text{ч тв.спл.}} = 0,25$.
Склонность к отпускной способности	не склонна
Флокеночувствительность	не чувствительна

Таблица 1.4 – Литейные свойства стали 110Г13Л [1]

Температура кристаллизации, ^o С	1350-1370
Линейная усадка, %	2.6-2.7
Коэффициент трещиностойчивости, Кт.у.	0.4
Коэффициент жидкотекучести, Кж.т.	0.8
Коэффициент образования усадочной раковины, Ку.р.	1.7

1.2 Анализ способов восстановительной сварки и наплавки бил молотков молотковой дробилки

Билы молотков молотковых дробилок восстанавливают следующими способами:

- Сварка покрытыми электродами;
- Сварка в среде защитных газов;
- Сварка порошковой проволокой;
- Электрошлаковая сварка.

1.4.1 Сварка покрытыми электродами

Ручная дуговая сварка – способ сварки, который использует покрытый обмазкой металлический электрод. Является наиболее старинным и универсальным методом дуговой сварки.

Общепринятые обозначения

РДС – ручная дуговая сварка;

MMAW – ручная металлическая дуговая сварка;

SMAW – металлическая дуговая сварка в защитной атмосфере;

E – международный символ ручной дуговой сварки.

Технология РДС:

Для образования и поддержания электрической дуги от электрода к свариваемому изделию (Рисунок 1.5) от источника питания подводится сварочный ток (переменный или постоянный).

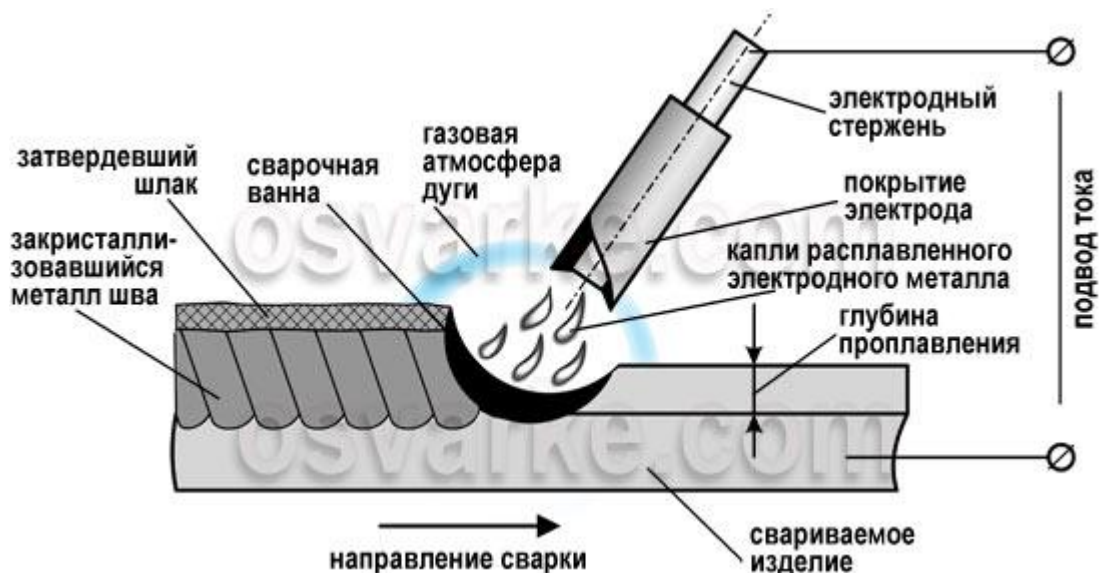


Рисунок 1.5 – Ручная дуговая сварка

При условии, когда положительный заряд источника питания (анод) присоединен к изделию, то это означает, что ручная дуговая сварка (РДС) производится при прямой полярности. При условии, когда на изделии отрицательный заряд источника питания, то полярность является обратной.

Когда горит дуга между электродом и изделием, то расплавляется металлический стержень электрода, его обмазка и металл изделия.

Электродный металл в виде капель, покрытых слоем шлака, переходит в сварочную ванну, где происходит смешивание с основным металлом, а расплавленный шлак выходит на поверхность из-за разницы плотностей металла и шлака [7].

1.4.2 Сварка в среде защитных газов

При сварке в защитных газах в сварочную зону дуги через специальное сопло непрерывно подается защитный газ. Теплота дуги расплавляет основной металл и если сварку выполняют плавящимся электродом, расплавляет и электродную проволоку. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует сварочный шов. При сварке в среде

защитных газов неплавящимся электродом, электрод не расплавляется, а его расход вызван лишь испарением металла или частичного оплавления при повышенных допустимых сварочных токах. Образование шва происходит за счет расплавления кромок основного металла изделия или дополнительного присадочного металла, который подают в зону сварки. В качестве защитных газов применяют инертные газы, такие как аргон Ar и гелий He и активные (углекислый газ CO₂, водород H₂, кислород O₂ и азот N газы, а также их смеси (Ar+He, Ar+CO₂, Ar+O₂, CO₂+O₂ и др.). По отношению к электродной проволоке защитный газ может подаваться центрально или сбоку. Сбоку газ подают сильным напором с большим расходом для сварки плавящимся электродом, когда при центральной защите надежность газовой защиты нарушается из-за обдува газа подвижным воздухом при ветре.

Сквозняки при сварке, сдувают струю защитного газа, из-за этого могут резко ухудшиться качество сварного соединения. В некоторых случаях, особенно при сварке W-электродом, для получения необходимых технологических свойств дуги и с целью экономии дорогих инертных газов используют защиту с помощью двух концентрических потоков защитного газа.

Для сварки тугоплавкого и активного металлов, часто выполняемых вольфрамовым электродом, для улучшения защиты расплавленного металла от возможного попадания в зону сварки воздуха используют специализированные камеры, такой метод называется сваркой в контролируемой атмосфере. Небольшие детали помещают в специальные камеры из них откачивают воздух для создания вакуума до 10⁻⁴ мм.рт.ст. и заполняют инертными газами повышенной чистоты. Сварку выполняют вручную или автоматически с помощью дистанционного управления.

Для сварки в контролируемой атмосфере крупногабаритных изделий используют обитаемые камеры объём которых достигает 450м³. Сварщик находится внутри камеры в специальном костюме с индивидуальным запасом кислорода для дыхания. Инертный газ, заполняющий камеру,

регулярно очищают и частично изменяют на новый. Для доступа специалиста в камеру с контролируемой атмосферой и передачи материалов имеется шлюзовая система. При крупногабаритных изделиях используют переносную камеру из полиэтилена, устанавливаемую на поверхность изделий. После продувки и заполнения защитным газом, таким же, что и в камере, сварку выполняют вручную или автоматизированным способом.

1.4.3 Сварка порошковой проволокой

Принцип сварки порошковой проволоки конструктивно не отличается от сварки в защитных газах, кроме отсутствия защитного газа.

Во время сварки порошковой проволокой в сварочную ванну подается трубчатая проволока с флюсом внутри. Проволока выступает в качестве материала наплавления, а флюс защищает сварочную ванну от окружающего воздуха. Защитный газ при этом может требоваться или не требоваться [8].

1.4.4 Электрошлаковая сварка

Принцип электрошлаковой сварки основан на выделении теплоты при прохождении электрического тока через расплавленный флюс, электросопротивление которого превышает в несколько раз электросопротивление свариваемого металла.

Плавление сварочных проволок и свариваемых кромок металла происходит за счет тепла появившимся благодаря расплавлению флюса.

Для сварки в вертикальных положениях стыковые соединения без скоса кромок собирают с обязательным технологическим зазором в 25—30мм. Вдоль оси свариваемого стыка с обеих сторон перемещаются медные водоохлаждаемые ползуны. Они соединены со сварочными аппаратами. Со стороны, противоположной аппарату, вместо ползуна можно установить съемную медную подкладку. Сварочная проволока или лента направляется в

зазор между свариваемыми кромками, для этого она специально изгибается токоподводящим мундштуком так, чтобы в зоне сварки ее ось в каждую секунду сварки совпадала с осью сварного стыка.

Флюс в зону сварки подаётся из бункера по трубе малыми порциями. Плавление сварочных проволок, основного металла изделий и сварочного флюса происходит в замкнутом пространстве ванны. Шов является основанием этой ванны сварного соединения во время сварки, стенками ванны являются кромки свариваемых изделий и формообразующие ползуны, а крышей является слой расплавленного флюса, который переходит в шлак.

Между формообразующим устройством, ползуном и расплавленным металлом располагается тонкий слой шлака, который защищает в течении сварки его от атмосферы и воздуха. Сварочный ток, проходящий по сварочной проволоке и кромкам свариваемого металла, нагревает шлаковую ванну и поддерживает в ней высокую электропроводность и высокую температуру, достаточную для расплавления металла и должна быть постоянным.

Постоянство температуры шлаковой ванны обеспечивает стабильность процесса сварки под флюсом. Расплавленный металл изделий и присадочной проволоки оседают на дне шлаковой ванны, образуя тем самым расплавленную ванну. Сварочная ванна быстрее всего остывает ближе к медным ползунам и образует сварное соединение, соединяющее свариваемые кромки изделия.

Медные ползуны охлаждаются при помощи проточной воды, которая подходит к ним с помощью шлангов. Подача сварочных проволок в зону сварки и перемещение ползунов осуществляется специально оборудованным сварочным аппаратом. В ходе сварки аппарат поднимается вверх, а вместе с ним и уровень шлаковой и металлической ванны, которые должны сохраняться постоянными по отношению к медным ползунам.

В тех случаях, когда уровень сварочной шлаковой и металлической ванны поднимается быстрее, нежели перемещаются медные ползуны, то

может произойти переливание шлака и расплавленного металла через края ползунов. Если же ползуны будут подниматься быстрее уровня ванны, то произойдет вытекание жидкого металла из под ползунов. Уровень шлаковой и металлических ванн будет сохраняться постоянным при одинаковых скоростях перемещения сварочного аппарата с ползунами и подачей сварочной проволоки, а также при одинаковом зазоре между свариваемыми кромками на всём протяжении процесса сварки. При колебаниях зазора неизбежно изменение уровня сварочной ванны.

Изменение уровня металлической ванны приводит к изменению глубины шлаковой, верх которой находится на уровне верхней кромки ползуна, а низ — ограничивается верхней поверхностью расплавленного металла. От глубины шлаковой ванны в значительной степени зависит устойчивость и характер процесса сварки, а также качество шва. Для сохранения постоянного уровня сварочной ванны, сварочные аппараты для электрошлаковой сварки комплектуются схемой автоматического регулирования и поддержания уровня сварочной металлической и шлаковой ванны.

При электрошлаковой сварке металлическая ванна образуется за счет сварочных проволок, пластин, толстых стержней, плавкого мундштука и металла свариваемого изделия. В зависимости от того, какой из перечисляемых материалов служит электродом, различают четыре способа электрошлаковой сварки.

1. Электрошлаковая сварка одной или несколькими сварочными проволоками является наиболее распространенным способом. По схеме можно сваривать металлы толщиной до 50—60 мм. При большей толщине мундштуку сварочной проволоки придают колебательные движения от ползуна к ползуну, увеличивают сечение сварочной проволоки или увеличивают количество проволок. Проволокой можно сваривать металл толщиной от 20 до 600 мм любой длины.

2. Электрошлаковая сварка одной или несколькими присадочными пластинами или стержнями круглого, квадратного или других сечений. Такой метод применяется главным образом при значительных толщинах свариваемых изделий и длине швов не более 1—1,5 м. При таком способе сварки сварочный аппарат не будет иметь сварочных мундштуков и механизма для подачи сварочных проволок. Пластина, которая служит электродом, закрепляется в сварочном аппарате, который будет опускаться вниз по мере плавления электродной пластины. Преимуществами данного способа будут являться: простота конструкции сварочного аппарата; простота техники сварки; возможность применения пластин или стержней из материалов, обычно из которых невозможно или весьма трудно изготавливать сварочную проволоку, к примеру, чугуна.

3. Электрошлаковая сварка (ЭШС) плавким мундштуком представляет собой совокупность предыдущих методов. При данном способе расплавляемой пластиной служит мундштук, имеющий такую же форму, как и поперечное сечение свариваемых изделий. В мундштуке имеются канальчики, через которые подаются сварочные проволоки. Если при сварке предыдущими методами пластина и стержень опускаются в шлаковую ванну по мере плавления проволок, то плавкий мундштук закреплен неподвижно в зазорах между свариваемыми кромками изделия. Шов состоит из кромок свариваемого изделия, мундштука и сварочных проволок внутри мундштука. Плавкий мундштук, служит для направления сварочных проволок, подвода к ним сварочного тока, а также в качестве присадочного металла, изготавливают обычно из пластин, стержней и трубок, в которых создаются каналы для прохода сварочной проволоки. Сечение плавкого мундштука составляет от 10 до 50% сечения зазора между деталями свариваемых изделий. Образование металлических и шлаковых ванн в начале сварки производится за счет расплавления сварочных проволок и только после всего этого, как шлаковая ванна достигает нижнего края плавкого мундштука, тот также начинает процесс плавления и начинает принимать участие в процессе

сварки изделия. Электрошлаковая сварка плавким мундштуком целесообразно применять при сварке изделий, которые имеют сложное поперечное сечение шва и малую протяжённость шва.

4. Стыковая электрошлаковая сварка (контактно-шлаковая) отличается от предыдущих тем, что металлическая ванна образуется за счет оплавления торцов свариваемых деталей, т. е. без применения присадочного металла. При прохождении тока через шлаковую ванну торцы свариваемых деталей оплавляются. После образования над нижней деталью металлической ванны детали сближают, шлак при этом выжимается из зазора между ними. Сварочный ток выключают после сближения деталей или до начала сближения [9].

1.5 Материалы и оборудование, используемое для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок

1.5.1 Оборудование, используемое для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок

Для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок такими способами сварки, как сварка покрытыми электродами, сварка в среде защитных газов и сварка порошковой проволокой могут использоваться различные сварочные аппараты, поддерживающие данные способы сварки.

Для восстановительной наплавки бил молотков молотковых дробилок электрошлаковым способом существует специализированная установка для наплавки бил У-877М.

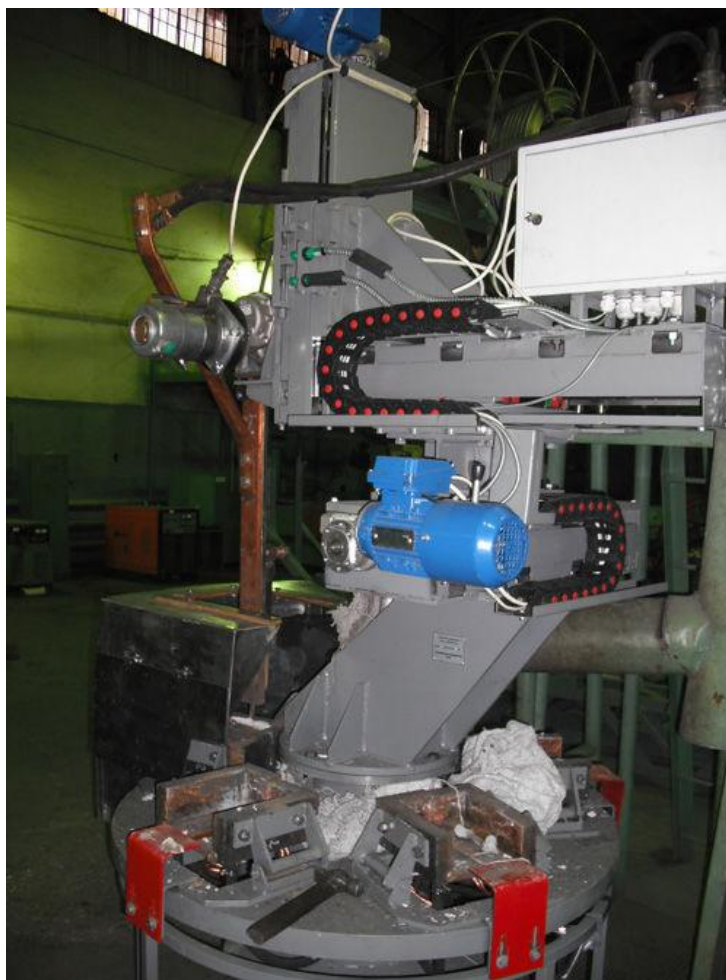


Рисунок 1.6 – Установка для наплавки бил У-877М

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ:

Установка для наплавки бил У-877М изготовлена с применением современных механизмов сервотехники и электронных систем автоматизации.

Установка для наплавки бил У-877М состоит из поворотного стола, на котором закреплен механизм перемещения наплавочной головки в трех координатах и механизм подачи ленты. На поворотном столе также закреплены 5 водоохлаждаемых кокилей через 72° , в которых зажаты билы. Подвод холодной воды для охлаждения бил и отвод ее осуществляется через неповоротную часть стола при помощи уплотнений [10].

Управление установкой для наплавки бил У-877М осуществляется с пульта, который расположен рядом с установкой, электрооборудование размещается в отдельном шкафу. Цикл наплавки полностью автоматизирован. Наплавка осуществляется по заданной программе. Функция оператора сводится к установке бил в кристаллизаторе и выгрузка уже наплавленных бил [10].

Техническая характеристика установки для наплавки бил У-877М

1. Режимы наплавки – постоянный ток обратной полярности
2. Сила тока при наплавке приблизительно, $I=1499$ А
3. Номинальное напряжение при наплавке, $U=31-40$ В
4. Скорость подачи электрода, $V_{пп}=121-201$ м/час
5. Скорость возвратно-поступательного движения, $V_{в-п.д}= 59-91$ м/час
6. Скорость перемещения электрода, $V_{п}=69-111$ м/час
7. Шаг наплавки, $x=13-21$ мм
8. Высота подъема наплавочной головки, $h=401$ мм
9. Величина возвратно-поступательного движения, $z=211$ мм
10. Величина перемещения электрода, $y=211$ мм
11. Расход воды для охлаждения пластин (при $P=1,5 \dots 2,0$ атм), $Q=205$ л/мин
12. Время наплавки одной билы, $t=7$ мин
13. Размер электродной ленты, $h \times b = 20 \times 4$ мм
14. Производительность 60шт/смену
15. Габаритные размеры 2050x1205x1395 мм [10].

1.5.2 Материалы, используемые для сварки и наплавки молотков молотковых дробилок

1.5.2.1 Электроды ОЗЛ-19.

Сварка высокомарганцовистой стали марки 110Г13Л.

Заварка дефектов литья из стали 110Г13Л. Сварка разнородных сталей.

Тип наплавляемого металла 10Х23Н12Г

Марка: ОЗЛ - 19

Назначение: для сварки высокомарганцовистых сталей, легированных сталей, специализированных сталей

Марки свариваемых сталей: 110Г13л, 30Хгса

Классификация: Плавящийся электрод.

Тип покрытия: Рутилово-основное

Род сварочного тока: постоянный обратной полярности

Положение свариваемых швов: горизонтальное, нижнее, вертикальное снизу вверх.

Описание: электроды данной марки имеют предназначение для сварки, наплавки и заварки дефектов, образованных в процессе литья конструкций из стали с высоким содержанием марганца, стали Гадфильда марки 110Г13Л, а также сварка этой стали с другими сталями, в том числе с легированными, к примеру 30ХГСА и углеродистыми типа Ст35 (сварка специализированных сталей).

Электроды ОЗЛ-19 обеспечивают получение сварных соединений с повышенными сопротивляемостями к образованиям горячих трещин за счет малых проплавлений толщин основного металла при сварке.

Металл шва обладает стойкостью к МКК при испытаниях по методу АМУ по ГОСТ 6032-89 без провоцирующего отпуска и с жаростойкостью до температуры 1000°C. Среднее содержание ферритной фазы в наплавленном металле не превышает 5%.

Технологические особенности сварки

Сварка после обязательной прокали: 190-210°C; 1 ч [7].

Таблица 1.5 – Значение сварочного тока [6]

Диаметр	Нижнее	Верхнее	Потолочное
3,0	70-80 А	60-70 А	60-70 А

4,0	110-130 А	100-120 А	100-120 А
-----	-----------	-----------	-----------

Таблица 1.6 – Механические свойства металла шва [6]

Показатель	Значение
Временное сопротивление, МПа	650
Относительное удлинение, %	33
Ударная вязкость, Дж/см ²	140
Предел текучести, МПа	410

Таблица 1.7 – Химический состав наплавленного металла [6]

Химический элемент	Не более, %
С (углерод)	0,09
Mn (марганец)	1,4
Si (кремний)	0,43
Ni (Никель)	13,2
Cr (Хром)	23,4
S (Сера)	0,011
P (Фосфор)	0,022

Характеристика плавления: Коэффициент наплавки - 12,5 г/А·ч.

Производительность наплавки (для диаметра 4,0 мм) - 1,5 кг/ч.

Расход электродов на 1 кг наплавленного металла - 1,7 кг.

Условное обозначение электрода/проволоки: ГОСТ: ГОСТ 9466-75, ТУ 14-4-560 - 74, ISO: E23.12S20

Условное обозначение:

ОЗЛ-19 -Ø-ВД

Е-2070-РБ20

1.5.2.2 Электроды НИИ-48Г

Сварка низколегированной и высокомарганцевистой стали марки 110Г13Л.

Заварка дефектов литья из стали 110Г13Л. Сварка разнородных сталей.

Тип наплавляемого металла Э-10Х20Н9Г6С

Марка: НИИ - 48Г

Назначение: для сварки Низколегированных сталей, Высокомарганцевистых сталей, Хромоникелевых сталей

Марки свариваемых сталей: 110Г13Л

Классификация: Плавящийся электрод

Стержень электрода изготовлен из: Св-08х21н10гб по гост 2246-70

Тип покрытия: Основное

Род сварочного тока: постоянный обратной полярности

Положение свариваемых швов: горизонтальное, нижнее, потолочное, вертикальное сверху вниз, вертикальное снизу-вверх

Описание: Предназначаются для сварки ответственных конструкций из низколегированных и специализированных сталей, а также высокомарганцевистых сталей типа 110Г13Л, а также сварка таких сталей с хромоникелевыми аустенитными сталями.

Электроды НИИ-48Г обеспечивают получение металла шва с достаточной жаростойкостью до температуры 800°С

Технологические особенности сварки

Сварка после обязательной проковки: 200°С; 1 ч [6].

Таблица 1.8 – Значение сварочного тока

Диаметр	Нижнее	Верхнее	Потолочное
3,0	100–130 А	90–120 А	90–120 А
4,0	140–180 А	130–160 А	130–160 А
5,0	190–200 А	170–180 А	

Таблица 1.9 – Механические свойства металла шва [6]

Показатель	Значение
Временное сопротивление, МПа	580
Относительное удлинение, %	39
Ударная вязкость, Дж/см ²	150
Предел текучести, МПа	

Таблица 1.10 – Химический состав наплавленного металла [6]

Химический элемент	Не более, %
С (углерод)	0,10
Mn (марганец)	5,9
Si (кремний)	0,60
Ni (Никель)	9,7
Cu (Медь)	
Fe (Железо)	
Ti (Титан)	
Cr (Хром)	19,6
Mo (Молибден)	
S (Сера)	0,012
P (Фосфор)	0,018

Характеристика плавления: Коэффициент наплавки - 11,5 г/А·ч.

Производительность наплавки (для диаметра 4,0 мм) - 1,9 кг/ч. Расход электродов на 1 кг наплавленного металла - 1,7 кг.

Условное обозначение электрода/проволоки: ГОСТ: ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10052-75, ISO: E18.8MnB20, AWS: E209-15,

Условное обозначение:

Э-10Х20Н9Г6С-НИИ-48Г-Ø-ВС

Е-0050-Б20

1.5.2.3 Электроды ОМГ-Н

Предназначены для наплавки изнашиваемых участков и заварки дефектов литья железнодорожных крестовин и других деталей из стали с высоким содержанием марганца, марки 110Г13Л.

Марка: ОМГ – Н

Назначение: для сварки Высокомарганцовистых сталей

Марки свариваемых сталей: 110Г13л

Классификация: Плавящийся электрод

Тип покрытия: Основное

Род сварочного тока: переменный, постоянный обратной полярности

Положение свариваемых швов: нижнее

Описание: Предназначены для наплавки изнашиваемых участков и заварки дефектов литья железнодорожных крестовин и других деталей из стали с высоким содержанием марганца, марки 110Г13Л.

Наплавку производят при минимально возможном разогреве деталей.

Обязательная прокалка перед сваркой: 160-200°C; 1 ч [12].

Таблица 1.11 – Значение сварочного тока

Диаметр	Нижнее
4,0	120-140 А
5,0	160-180 А

Таблица 1.12 – Химический состав наплавленного металла [12]

Химический элемент	Не более, %
С (углерод)	0,7
Mn (марганец)	0,7
Si (кремний)	0,25
Ni (Никель)	2,6
Cr (Хром)	11,3
S (Сера)	0,020
P (Фосфор)	0,013

Характеристика плавления: Коэффициент наплавки - 8,5 г/А·ч.

Производительность наплавки (для диаметра 4,0 мм) - 1,1 кг/ч.

Расход электродов на 1 кг наплавленного металла - 1,5 кг.

Условное обозначение электрода/проволоки: ГОСТ: ГОСТ 9466-75,
ГОСТ 10051-75,

Условное обозначение:

Э-65Х11НЗ-ОМГ-Н-Ø-НД

Е-300/33-1-Б40

1.5.2.4 Электроды Т-590 [6].

предназначены для наплавки узлов и деталей, которые работают в условиях абразивного износа наплавленного слоя с умеренными ударными нагрузками.

Марка: Т - 590

Классификация: Плавящийся электрод

Стержень электрода изготовлен из: Св-08, св-08а по гост 2246-70

Тип покрытия: Специальное

Род сварочного тока: переменный, постоянный прямой полярности

Положение свариваемых швов: нижнее

Описание: электроды Т-590 предназначаются для наплавки деталей, которые работают в условиях абразивного износа с умеренными ударными нагрузками[6].

Электроды Т-590 позволяют обеспечить получение наплавленного слоя металла с высокими значениями износостойкости в условиях изнашивания с помощью абразивного материала. Наплавленный слой металла имеет склонность образовывать микротрещины, которые впрочем, не снижают, основные эксплуатационные свойства, такие как стойкость и характеристики наплавленных деталей [6].

Технологические особенности наплавки электродов Т-590
Во избежании выкрашивания наплавленного слоя е рекомендуется производить наплавку стальных деталей более чем в два-три слоя, а изделий

из чугуна – не более чем в один слой. Для наплавки слоя большой толщины нижние слои наплавляются электродами других марок, схожими с маркой основного металла.

Обязательная прокалка перед наплавкой: 180-200°C; 2 ч [6].

Таблица 1.13 – Химический состав наплавленного металла:

Химический элемент	Не более, %
C (углерод)	3,2
Mn (марганец)	1,2
Si (кремний)	2,2
Ni (Никель)	
Cu (Медь)	
Fe (Железо)	
Ti (Титан)	
Cr (Хром)	25,0
Mo (Молибден)	
S (Сера)	
P (Фосфор)	
B (Бор)	1,0

Характеристика плавления: Коэффициент наплавки - 9,0 г/А· ч.
Производительность наплавки (для диаметра 4,0 мм) - 1,9 кг/ч. Расход электродов на 1 кг наплавленного металла - 1,4 кг.

Условное обозначение электрода/проволоки: ГОСТ: ГОСТ 9466-75, ГОСТ 10051-75,

Условное обозначение:

Э-320Х25С2ГР-Т-590-Ø-НГ

Е-750/61-1-П42

1.5.2.5 Порошковая проволока ПП-АН-105 [8]

Порошковая проволока ПП-АН-105 производится по ГОСТ 26101-84

Диаметр: 1,6-3,0 мм

Защита: самозащитная

Конструкция: трубчатая, внахлест

Общая характеристика:

Самозащитная порошковая проволока марки ПП-АН105 предназначается для автоматической и механизированной сварки и наплавки дугой износостойкого слоя на детали, которые испытывают сильные ударные нагрузки. Рекомендуется наплавлять в нижнем положении на постоянных токах на обратной полярности.

Сварочные и технологические свойства порошковой проволоки ПП-АН-105:

Расход проволоки на 1 кг наплавленного металла, кг - 1,1-1,15

Твердость наплавленного металла - после наплавки HB 160-240

после наклепа HRC 42-50

Таблица 1.14 – Рекомендуемые режимы наплавки

Диаметр проволоки, мм	Ток, А	Напряжение, В	Скорость наплавки
1,6 - 1,8	140 - 250	24 - 27	10 - 15
2,0 - 2,2	180 - 280	25 - 28	15 - 20
2,4 - 2,6	200 - 350	26 - 29	20 - 25
2,8 - 3,0	250 - 380	26 - 30	25 - 30

Свойства наплавленного металла

Наплавленный металл отличается повышенной пластичностью и вязкостью. В состоянии наклепа обладает повышенной износостойкостью в условиях, когда износ характеризуется наличием сильными ударными нагрузками или высокими контактными давлениями.

Технологические особенности

Не допускается перегрев наплавленного изделия. При многослойной наплавке обязательна проковка наплавленного слоя.

Применение:

Наплавка железнодорожных крестовин, деталей дробильно-размольного оборудования, восстановление размеров и исправление пороков литых деталей из стали 110Г13Л.

Страна производитель: Украина

Диаметр: 1,6 - 3,0 мм

1.5.2.6 Порошковая проволока для сварки (наплавки)

ВЕЛТЕК-Н210 [11]

Типичные механические свойства металла шва

Тип наплавленного металла (система легирования) Нп-20Г20Х10Т

Таблица 1.15 – Характеристики порошковой проволоки

Тип сердечника	карбонатно-флюоритный
Конструкция	трубчатая
Диаметр, мм	2,6-3,0
Защита	самозащитная CO ₂
Сварочный ток	= +

Порошковая проволока ВЕЛТЕК Н210 предназначена для заварки дефектов литых стали 110Г13Л и механизированной сварки разнородных соединений (20Л+110Г13Л, 35Л+110Г13Л).

Твердость: после наплавки 190-220 НВ, после наклепа 340-400 НВ.

- Состав сердечника обеспечивает устойчивый процесс наплавки, хорошее формирование валика, отсутствие пор и трещин при однослойной и многослойной наплавке. Легкая отделимость шлаковой корки в разделке кромок.

- Сопротивление ударному износу – высокое.

- Сопротивление абразивному износу – умеренное.
- Коррозионная стойкость – повышенная
- Механическая обработка - шлифованием.

Таблица 1.16 – Химический состав порошковой проволоки

C	0,1-0,2
Mn	19-21
Si	0,2-04
Cr	8-10
Ti	0,1-0,2

Таблица 1.17 – механические характеристики наплавленного металла

- предел прочности σ_B , МПа	660
- условный предел текучести σ_T , МПа	380
- относительное удлинение δ , %	28
- ударная вязкость (KCV) Дж/см ² при +20°C	130

Таблица 1.18 – значения сварочного тока и положения при сварке

Диаметр, мм	2,6	3.0
I _{св} , А	200-300	250-350
Уд, В	24-28	24-28
Положения при сварке	Нижнее, верхнее, потолочное	

1.6 Задачи исследовательской работы

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

Разработать методику исследования процессов формирования комбинированных молотков молотковых дробилок.

Исследование процессов формирования комбинированных молотков молотковых дробилок.

Разработка технологического процесса изготовления комбинированных молотков молотковых дробилок.

2 Методика исследований процессов формирования и свойств комбинированных молотковых дробилок

2.1 Методика исследований процессов формирования комбинированных молотковых дробилок

«Исследования процессов наплавки осуществляются при помощи специально сконструированной установки, которая состоит из рамы с направляющими рельсами, механизмом позиционирования горелки, оборудования для подачи присадочной проволоки и источника питания для сварки» (рис. 2.1) [13]. «Данная установка позволяет обеспечить возможность ввода в сварочную ванну 1 или 2 проволок присадочного материала» [13].

«Передвижение по осям установки осуществлялось с помощью шагового двигателя при зацеплении зубчатой рейки, установленной на оси, и зубчатой шестерни, установленной на валу двигателя» [13]. «Управление шаговыми двигателями осуществляется благодаря специализированным приводам, которые собраны в едином блоке управления, который состоит из программируемого контроллера SMC-3, программируемого блока управления SMSD-3,0 и блока питания» [13].

«Механизм позиционирования даёт возможность регулировать сварочную дугу, в частности её дугу, а также угол ввода присадочных проволок и высоту ввода присадочных проволок» [13].

«Для наплавки использовали сварочную горелку AUT-TIG 400W фирмы Abicor-Bensel» [13].

Для регулировки положения сварочной горелки применялся механизм, который состоит из специально разработанного исполнительного механизма линейного перемещения, который имеет низкий люфт передвижения. Он также имеет рабочий ход 150 мм. «К данному механизму крепится кронштейн для регулировки положения сварочной горелки с двумя осями

свободы, которая позволяет в процессе подготовки к наплавке деталей выставлять длину дуги при сварке и положение горелки относительно точек ввода присадочных проволок» [13].

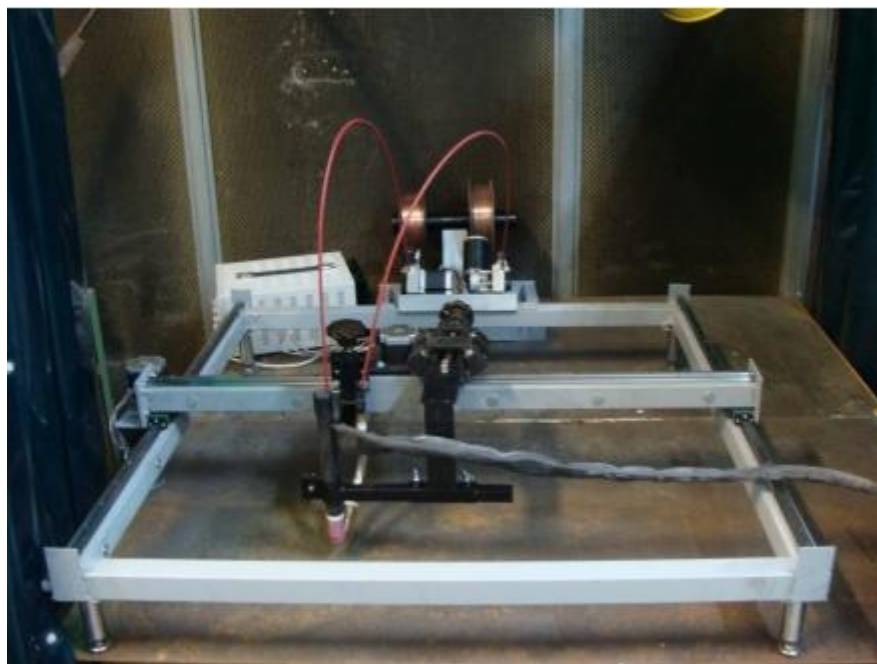


Рисунок 2.1 Установка для автоматической аргонодуговой наплавки

«Оборудование для подачи присадочных проволок состояло из подающего сварочную проволоку, механизма соединенного с двигателем постоянного тока 45402BVE фирмы TVi industries GmbH. Применение подающего механизма с шаговым двигателем позволяет снижать стабильно-минимальную скорость подачи до 0м/мин и иметь рабочий диапазон скоростей подачи при сварке 0-1м/мин, что является необходимым для введения легирующих элементов в состав наплавленного металла в минимально необходимом количестве» [13].

«В качестве источника питания использовали универсальный сварочный источник Migatronik BDH 550» [13].

«Для наплавки применялись образцы из стали 40X размером 120x60x20мм» [13].

«Для наплавки также применялась сварочная проволока из алюминия Св-А5 по ГОСТ 7871-75» [13].

«Режимы наплавки варьировались в широких пределах. Сила тока 270А. Напряжение 15,5 В. Скорость наплавки 0,15 м/мин. Скорость подачи проволоки варьировалась в пределах 0,5-3,0 м/мин. Все режимы наплавки устанавливались с помощью блока настройки сварочного источника и подающего механизма» [13].

«При наплавке на сталь 40Х алюминиевая проволока подавалась в хвостовую часть сварочной ванны» [13].

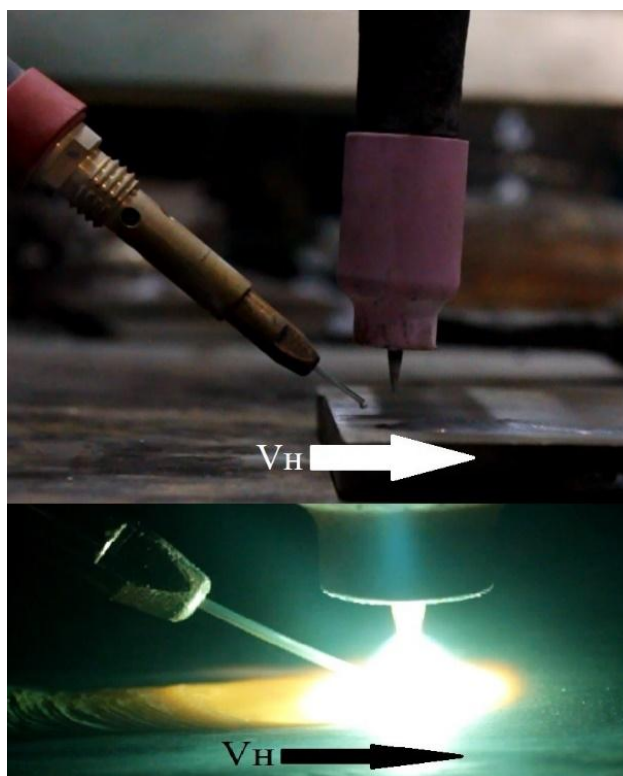


Рисунок 2.2 – Схема подачи присадочной проволоки

Сила сварочного тока $I_{св}$ и напряжение U_d контролировались в процессе наплавки регистратором MRF-02M фирмы TELMA.

«Геометрические размеры наплавленных валиков измеряли штангенциркулем ШЦ-1 со значением отсчёта по нониусу 0,1 мм и универсальным шаблоном сварщика УШС-3. Измерения проводились непосредственно на образцах (ширина шва и величина усиления) и макрошлифах (глубина проплавления). Образцы шлифовали и травили 20% раствором азотной кислоты» [13].

2.2 Методика исследования химического состава наплавленных покрытий

«Анализ химического состава проводился методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) основанной на регистрации различных типов сигналов, которые генерируются в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом. Вторичные, отраженные и электроны, рентгеновское излучение и другие типы сигналов несут информацию о структуре, фазовом и химическом составе образца» [13].

«Высокая разрешающая способность, большая глубина фокуса в сочетании с наглядностью изображения, простотой подготовки образцов и объектов исследования, широкие возможности элементного анализа при использовании различных систем регистрации рентгеновского излучения (волнодисперсионные (WDS) или энергодисперсионные (EDS) системы) позволяют успешно использовать метод растровой электронной микроскопии в материаловедческих исследованиях для изучения структуры и элементного состава покрытий, поверхностей химического взаимодействия, отложений» [13].

«Рентгеноспектральный анализ проводился на территории ПАО «АВТОВАЗ» на сканирующем электронном микроскопе LEO 1455 VP (ZEISS, Germany) а также рентгеновский энергетический спектрометр INCA Energy-300 и рентгеновский волновой спектрометр INCA Wave-500 и в условиях ФГУП НИАР на комплексе, в который входили автоэмиссионный растровый микроскоп со сверхвысоким разрешением Zeiss SUPRA 55 VP, энергодисперсионный спектрометр Inca Energy 350, волновой спектрометр Inca Wave 500 и система регистрации с дополнительной функцией анализа дифракций отраженных электронов HKL EBSD Premium System» [13].

Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения наплавленных слоёв алюминидов железа,

проволокой Св-А5 на пластину из Ст40Х. Они заливались эпоксидной смолой (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Образцы для исследования химического состава методом РЭМ в эпоксидной смоле

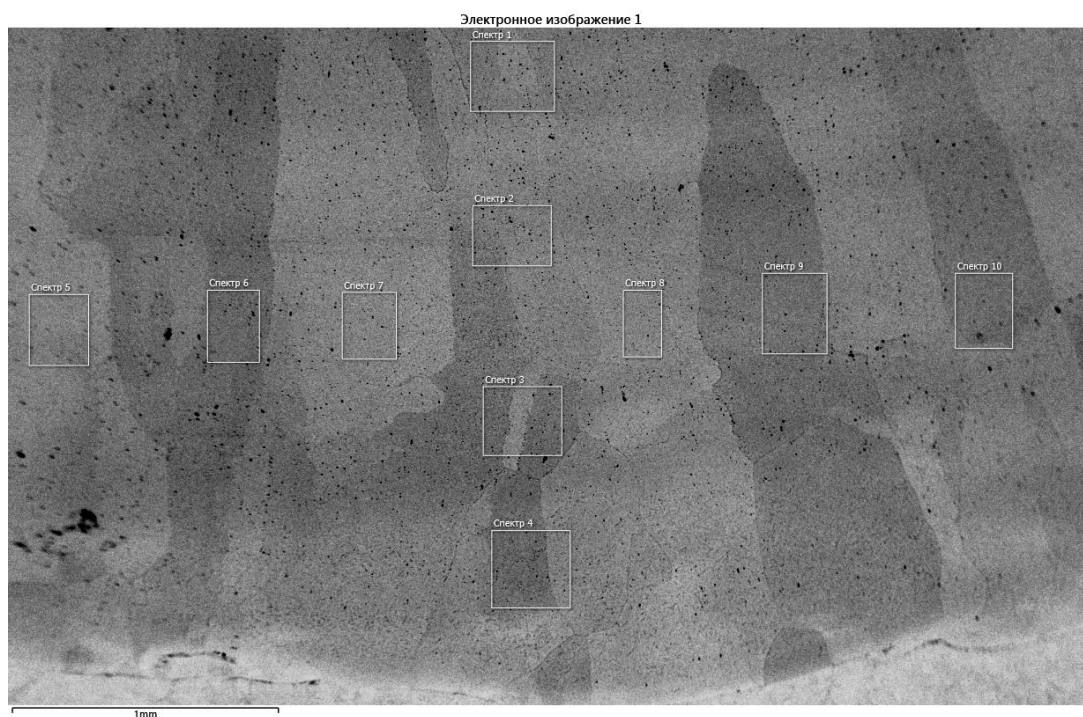


Рисунок 2.4 – Схема выбора точек для исследования методом РЭМ

2.3 Методика исследования механических свойств наплавленных покрытий

Твердость наплавленного алюминид железа определяется методом измерения по шкалам Роквелла и Виккерса с использованием в качестве индентора алмазного конуса. По шкале HRC и HV. Данный метод основывается проникновением твердого наконечника индентора в испытываемый материал и измеряется глубина проникновения индентора. Для измерения твердости использовался универсальный твердомер HBRV – 187.5 (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Твердомер универсальный HBRV–187.5

2.4 Методика исследования эксплуатационных свойств наплавленных покрытий

«Износостойкость наплавленных покрытий при абразивном изнашивании определяется способностью наплавленного слоя противостоять внедрению в него абразивных частиц» [13]. Абразивный износ исследовался на подготовленных образцах, поверхность которых состояла из наплавленного покрытия алюминид железа. Размер изнашиваемой поверхности составляет 10,0x5,0 мм для образцов, которые проверяли стойкость наплавленного слоя к абразивному изнашиванию. Для исследования износостойкости при абразивном изнашивании при добавлении термической обработки в технологический цикл изготовления были использованы образцы 10,0x10,0мм. Чтобы узнать степень износа подготавливались образцы из основного

металла (Сталь20 и Сталь40Х) аналогичного размера изнашиваемой поверхности – 10,0х5,0 мм.

«Для исследования износостойкости применялась экспериментальная установка, позволяющая обеспечить стабильную нагрузку на исследуемый образец (рисунок 2.6)» [13].

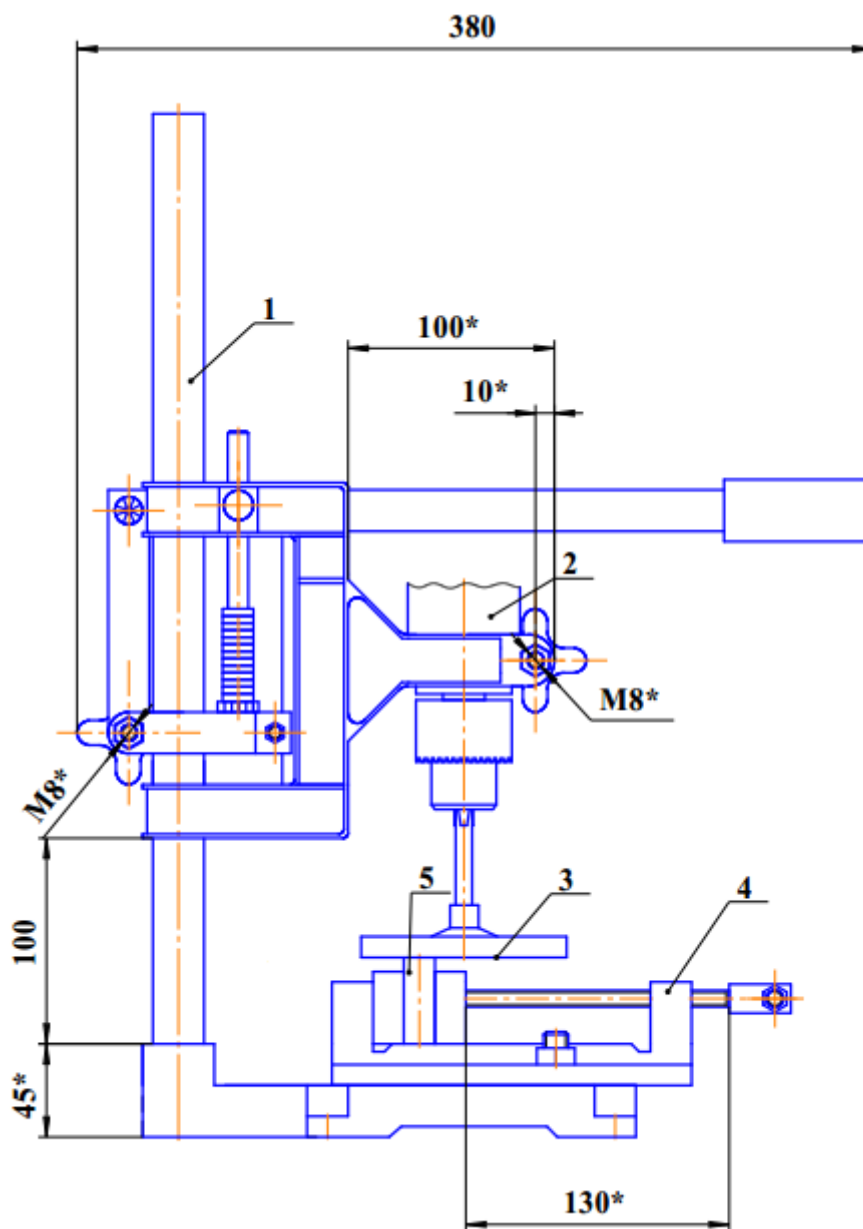


Рисунок 2.6 – Установка для испытания износостойкости наплавленных образцов [14].

«Установка представляет собой станину 1, на которой закрепляется привод 2, соединенный с двумя металлическими дисками 3. Металлические

диски снабжены зажимами, с помощью которых на них крепятся абразивная лента с постоянной шероховатостью. Для точности испытаний на абразивный износ, в каждом опыте использовалась новая лента с одинаковой шероховатостью. На станине под дисками расположены тиски 4 для установки образцов для проверки сопротивления абразивному износу 5. Установка снабжена таймером, который позволяет задавать необходимое время испытаний. Давление на образец при испытании регулируется установкой грузов на рычаг» [13]. Для испытания образцов размерами 10,0x5,0 мм. Время испытания было 30с. Для испытания образцов размерами 10,0x10,0 мм. Время испытания составляло 60с=1мин.

Износостойкость при абразивном изнашивании выражается в виде относительной износостойкости:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{\text{э}}}{\Delta l_{\text{м}}},$$

где:

$\Delta l_{\text{э}}$ – линейный износ эталонного образца;

$\Delta l_{\text{м}}$ – линейный износ испытываемого материала образца.

Износ образцов измерялся с помощью штангенциркуля ШЦ-1 со значением отсчета по нониусу 0,1 мм.

2.5 Методика исследования эксплуатационных свойств методом испытаний на ударную вязкость (механические свойства)

Испытание материалов на ударную вязкость основывается на разрушении стандартных образцов с концентратором напряжений (надрезом) посередине ударом на маятниковом копре. При испытании на удар оценивают работоспособность металла в сложных условиях при нагружении и выявляется его склонность к хрупкому разрушению [14-16].

ГОСТ 9454-78 предусматривает испытания образцов трех типов:

1. Образцы Шарпи - образцы сечением 10x10 мм, длиной 55 мм и с U-образным надрезом шириной и глубиной 2 мм и радиусом 1 мм;
2. Образцы Менаже - сечением 10x10 мм, длиной 55 мм и с V-образным надрезом шириной и глубиной 2 мм и радиусом 1 мм;
3. Т-образные образцы длиной 55 мм, высотой 11 мм и шириной 10 мм с Т-образным концентратором (надрез, имитирующий усталостную трещину) [14-16].

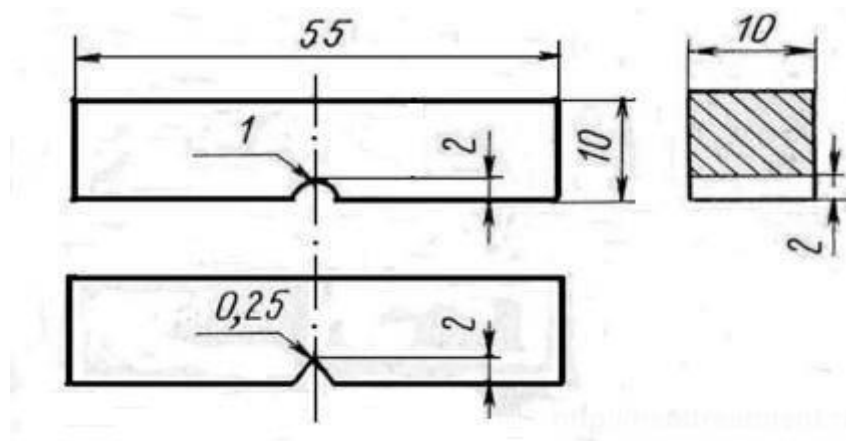


Рисунок 2.7 – стандартные образцы для испытания на ударную вязкость

Образцы с V-образным надрезом являются основными и их используют для контроля металлопродукции, использующихся в ответственных конструкциях (транспортные средства, летательные аппараты), а образцы с U-образным надрезом применяются при приемочном контроле металлопродукции; образцы с Т-образным надрезом предназначены для испытания материалов, работающих в особо ответственных конструкциях.

Для испытания на ударный изгиб (ударную вязкость) в данной работе использовались образцы с U-образным надрезом [14-16].

При испытании металлов на удар определяют ударную вязкость, которую обозначают КС. Ударная вязкость КС - это отношение работы К разрушения стандартного образца к площади его поперечного сечения F в месте надреза:

$$КС = K/F, \text{ Дж/м}^2$$

Испытание на ударную вязкость проводят на копрах маятникового типа, как показано на схеме.

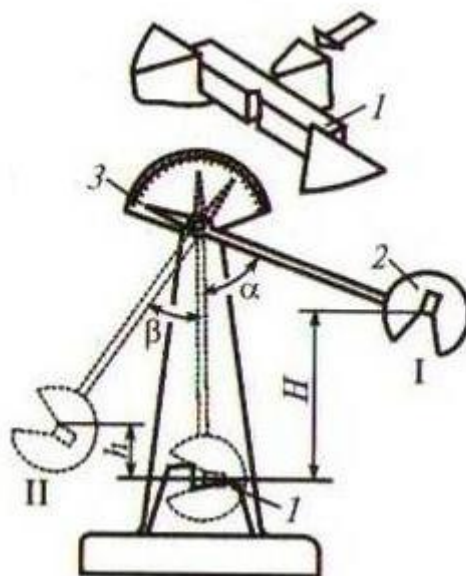


Рисунок 2.8 – Схема ударного испытания образцов на маятниковом копре

Испытания на ударную вязкость проводились на маятниковом копре JB-300В.



Рисунок 2.9 – маятниковый копер JB-300B

Маятниковый копер JB-300B предназначен для измерения энергии разрушения образцов при испытаниях на двухопорном ударном изгибе и применяется в лабораториях для исследования механических свойств металлов и сплавов в различных отраслях промышленности РФ и в мире.

Принцип действия копра JB-300B основывается на измерении энергии, которая затрачивается на разрушение образца единичной нагрузкой посредством удара. Количество энергии определялось разностью между значениями потенциальной энергии маятника копра до удара, и после разрушения образца [15].

Маятниковый копер JB-300B спроектирован и изготовлен в соответствии со стандартами GB/T3808-2002 (ISO148-2-1998).

Рабочие условия JB-300B:

- температура окружающей среды: 10-35°C
- относительная влажность: не более 85%
- отсутствие агрессивной среды

Таблица 2.1 – Технические характеристики маятникового копра JB-300B[15].

Потенциальная энергия маятникового копра	150 Дж/ 300 Дж
Диапазон измерения энергии	15 - 150 Дж / 30 - 300 Дж
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения энергии	1,5 Дж/3,0 Дж
Допускаемое отклонение запаса потенциальной энергии маятника от номинального значения	±0,5%
Номинальная масса молотов	10,929 кг/21,859 кг
Момент маятника	80,4 Н·м/160,8 Н·мг

Цена деления цифрового отсчетного устройства	0,1 Дж
Скорость движения маятника в момент удара	5.2 м/с
Угол взвода маятника	150°
Расстояние в свету между опорами	40 мм
Радиус торцевой поверхности опор установки образца	R=1...1,5 мм
Радиус рабочей кромки ножа маятника	R=2...2,5 мм
Угол ударной кромки ножа маятника	30±1 °
Электропитание	Сеть трехфазного тока, 380В, 50Гц
Потребляемая мощность	0,18 кВт
Габаритные размеры	2124x600x1340 мм
Вес силовой рамы	450 кг
Размер стандартного образца для ударного изгиба	10x10x55 мм (U-, V-образный надрез глубиной 2 мм)

Стандартный образец устанавливается на опоры стоек копра так, чтобы удар маятника 2 придет напротив надреза. На образце маятника массой G при помощи специализированной рукоятки поднимается на определенную высоту H в верхнее и исходное положение 1. При падении маятник ударяется об образец, происходит разрушение образца и последующий подъем в положение 2 на высоту h . Для остановки маятника имеется тормоз [15-16].

В случае, если запас потенциальной энергии маятника обозначается через GH , то затраченная на деформацию и разрушение образца работа, будет равна разности энергий маятника в его положениях 1 и 2 (до и после совершения удара по образцу), т. е.:

$$K = GH - Gh = G(H - h)$$

Выразив высоту маятника в положениях до и после удара через силу маятника l и углы α и β , получается выражение для определения работы, затрачиваемой на деформацию и разрушение образца:

$$K = Gl (\cos \beta - \cos \alpha),$$

где α — угол начального подъема маятника; β — угол подъема маятника после разрушения образца, фиксируется на шкале 3. Масса груза и длина маятника всегда известны. Угол α является величиной постоянной. Измеряя угол β по результатам испытаний, определяем работу K и ударную вязкость KC [16].

2.6 Методика исследования влияния термической обработки на механические и эксплуатационные свойства молотков

Термическая обработка образцов для испытаний проводилась в лабораторной муфельной печи СКВ 10/10.

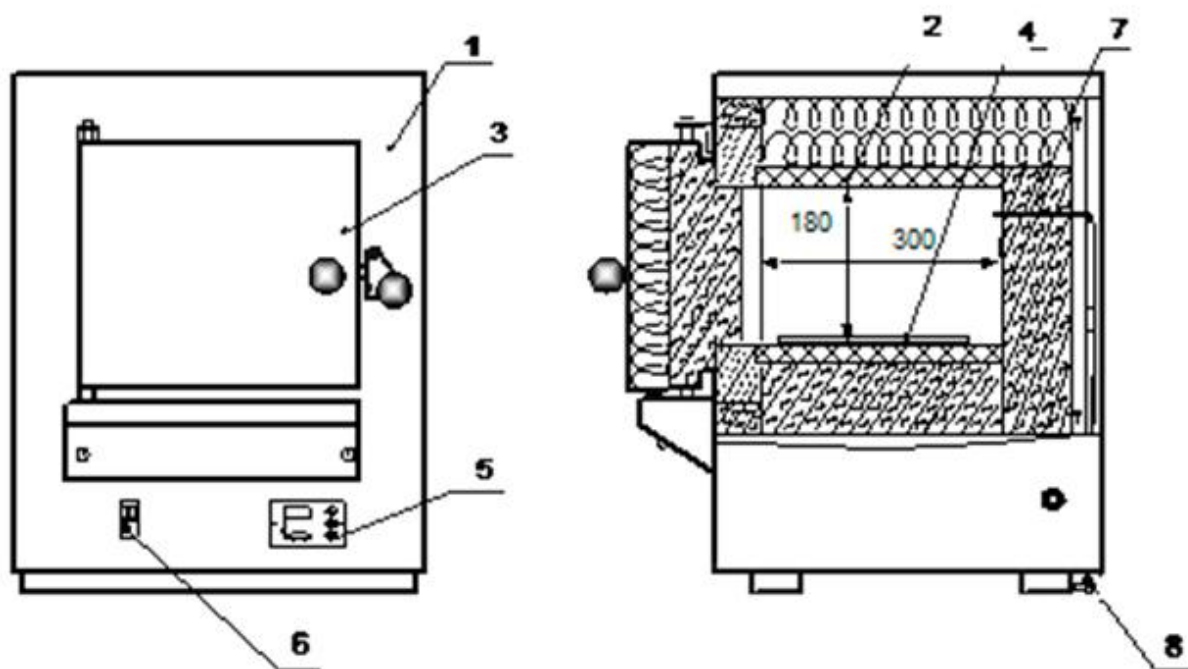


Рисунок 2.10 – Муфельная печь

Лабораторная печь СКВ 10/10 состоит из корпуса 1 керамическим муфелем, которым покрыта внутренняя часть печи и дверцы 3 внутри размещается термопара для измерения температуры печи во время работы. Образцы помещались на керамическую подставку 4. Отдельным блоком располагается регулятор температуры 6. Снизу выводится заземление 8 [17].

Технические характеристики муфельной печи СКВ 10/10 [16]

- Максимальная температура: 1050 градусов Цельсия
- Номинальная температура: 1000 градусов Цельсия
- Номинальная мощность: 4,0 или 3,3 кВт
- Напряжение питающей сети: 220 В
- Число фаз: 1
- Частота: 50 Гц
- Среда в рабочем пространстве: воздух
- Размеры нагревательной камеры:

Ширина нагревательной камеры составляет: 205мм;

Длина нагревательной камеры составляет: 305мм;

Высота нагревательной камеры составляет: 185мм;

Габаритные размеры печи:

Ширина печи составляет: 445мм

Длина печи составляет: 565мм

Высота печи составляет: 515мм

Масса печи составляет: 44кг [17].

Образцы для закалки укладывались на футеровочный кирпич и помещались в печь, выдерживались при температуре 860°С в течении 30 минут.

Для закалки образцы после выдержки в печи доставались из печи с помощью клещей и помещались в воду.

После закалки образцы для отжига также укладывались на футеровочный кирпич и помещались в печь для выдержки при температурах 300°С, 400°С, 500°С и 600°С соответственно в течении 20 минут.

После отжига образцы доставались из печи с помощью клещей и оставляли остывать на воздухе.

3 Исследований процессов формирования и свойств комбинированных молотковых дробилок

3.1 Исследований процессов формирования комбинированных молотковых дробилок

Для исследования процессов формирования наплавленных образцов были подобраны следующие режимы наплавки:

Таблица 3.1 – Основные режимы наплавки

№	$V_{св}$, м/мин	$V_{подА1}$, м/мин	$U_{дА1,В}$
1	0,15	0,5	15,5
2	0,15	1,0	15,5
3	0,15	1,5	15,5
4	0,15	2,0	15,5
5	0,15	2,5	15,5
6	0,15	3,0	15,5

Каждому значению номеру опыта соответствует значение номера образца. В результате проведения всей серии опытов были установлены следующие геометрические параметры образцов (таблица 3.2). Внешний вид валиков представлен на рисунках 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6.

Таблица 3.2 Геометрические параметры образцов

№ п/п	Скорость подачи присадочной проволоки	Усиление (g)	Ширина (e)	Глубина (h)
1	0,5 м/мин	0,62 мм	12,34 мм	1,84 мм
2	1,0 м/мин	1,15 мм	13,43 мм	2,14 мм
3	1,5 м/мин	1,12 мм	12,5 мм	1,8 мм
4	2,0 м/мин	1,9 мм	11,8 мм	1,95 мм
5	2,5 м/мин	1,93 мм	12,47 мм	1,78 мм
6	3,0 м/мин	2,59 мм	12,14 мм	1,68 мм



а)



б)

Рисунок 3.1 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 1 ($V_{\text{пода}} 0,5$ м/мин)



а)



б)

Рисунок 3.2 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 2 ($V_{\text{подА1}}$ 1,0 м/мин)



а)



б)

Рисунок 3.3 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 3 ($V_{\text{подА1}}$ 1,5 м/мин)



а)



б)

Рисунок 3.4 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 4 ($V_{\text{пода1}} 2,0 \text{ м/мин}$)



а)



б)

Рисунок 3.5 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 4 ($V_{\text{пода}} 2,5 \text{ м/мин}$)



а)



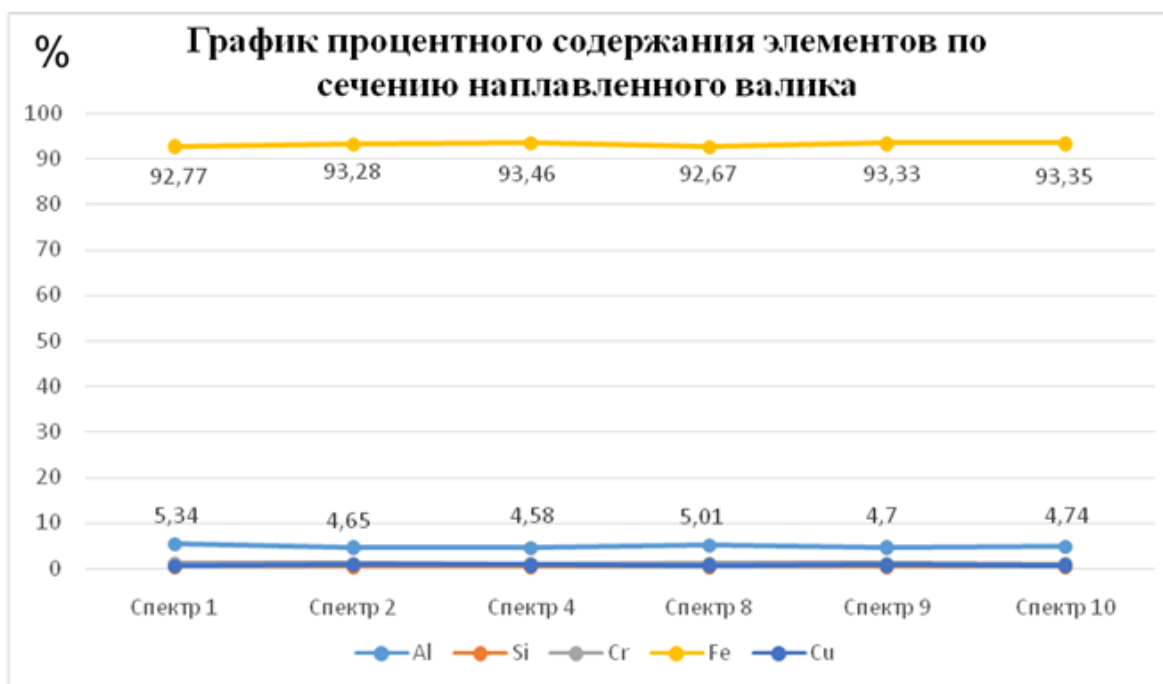
б)

Рисунок 3.6 – Внешний вид (а) и поперечное сечение (б) наплавленного валика № 6 ($V_{\text{подAl}} 3,0$ м/мин)

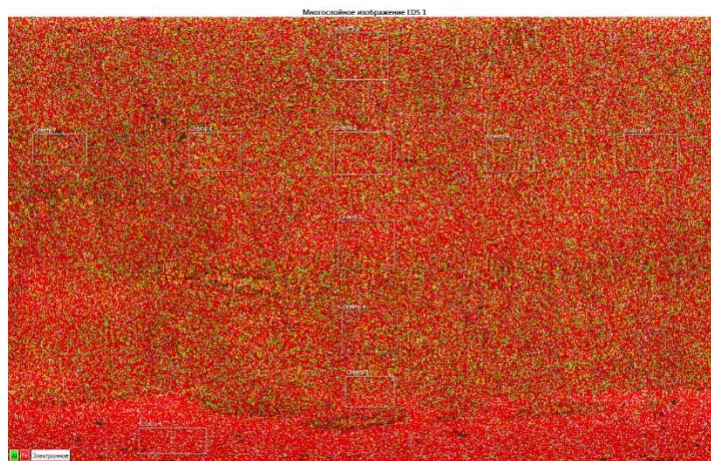
Проведенные исследования показали, что в данном диапазоне режимов наплавки формируются валики с постоянными геометрическими параметрами.

3.2 Исследования химического состава слоев комбинированных МОЛОТКОВ

Химический состав наплавленных валиков алюминиды железа изменялся в следующих пределах: содержание алюминия (Al) составляло от 4 до 40%. Содержание железа (Fe) изменялось от 60 до 94%. На рисунках 3.7 – 3.12 представлены графики зависимости изменения химического состава по сечению шва от скорости наплавки.



а)

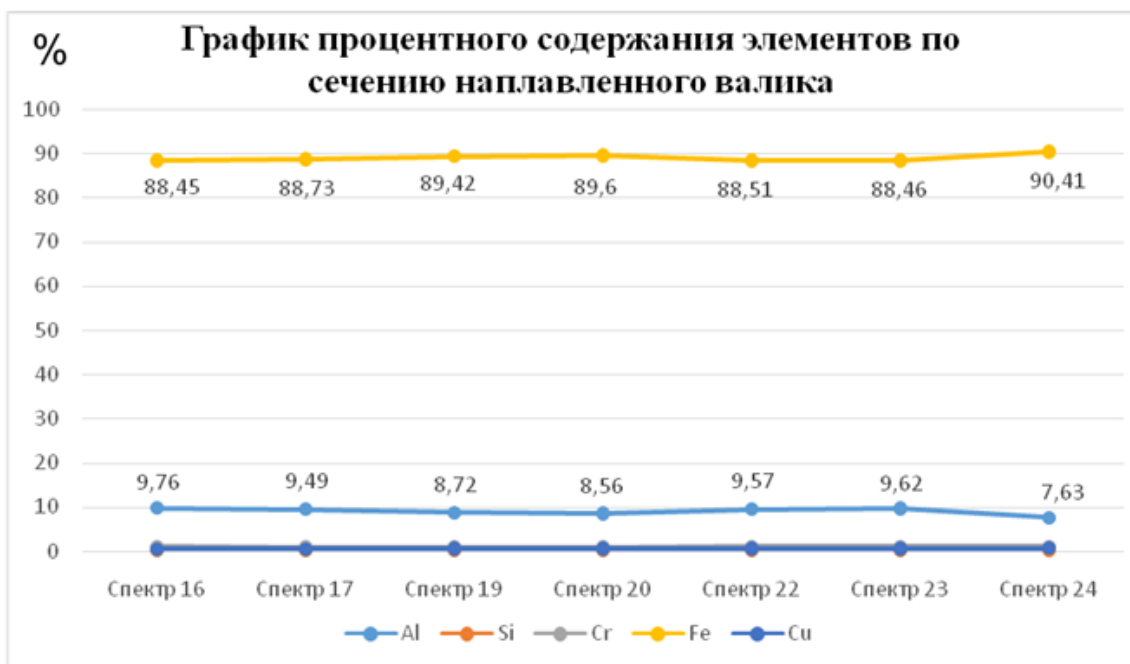


б)



в)

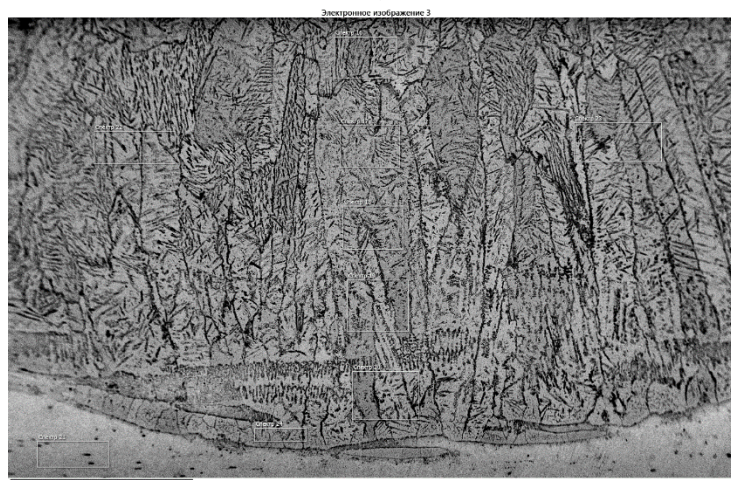
Рисунок 3.7 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 1 ($V_{\text{подAl}} 0,5 \text{ м/мин}$)



а)

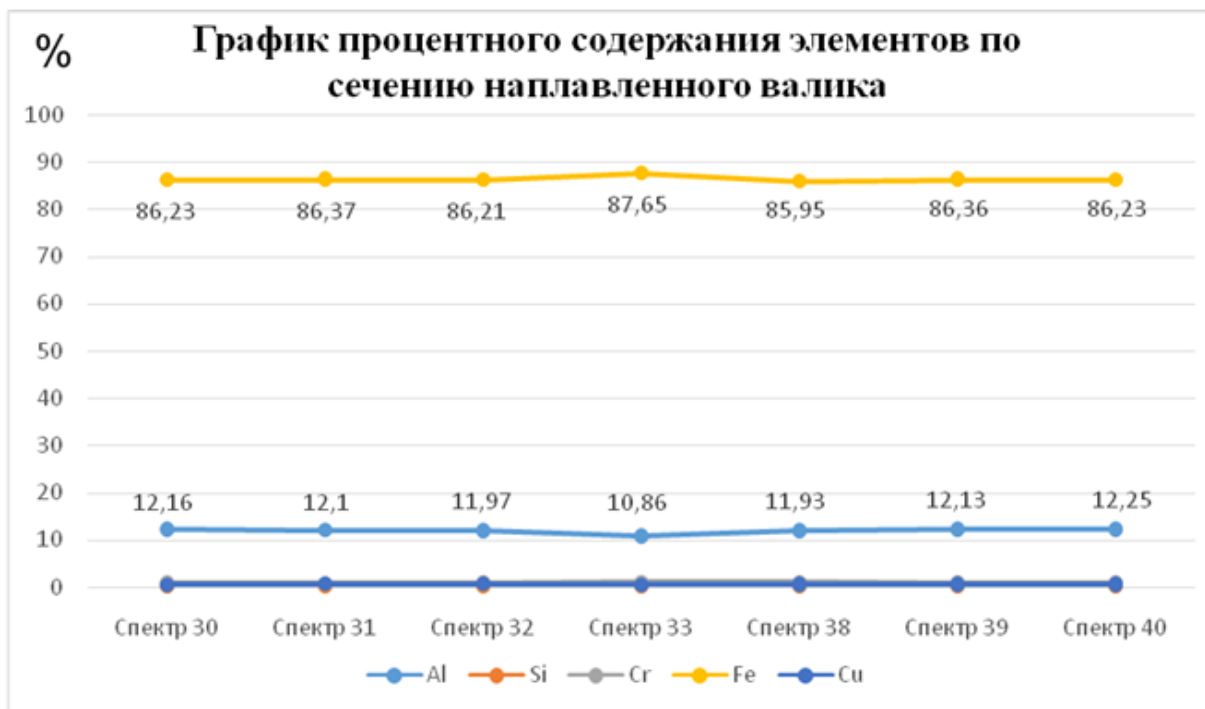


б)

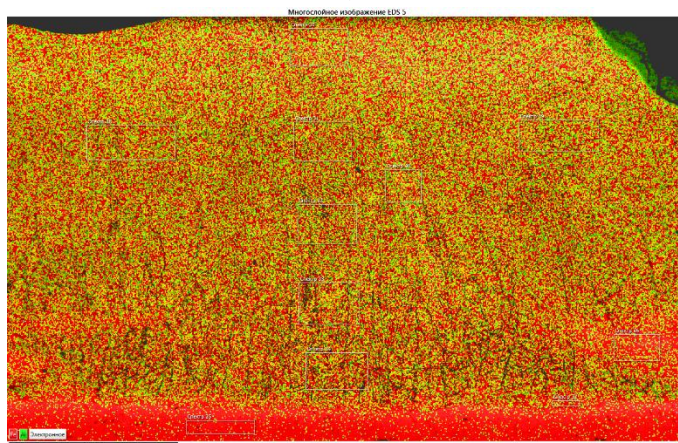


в)

Рисунок 3.8 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 2 ($V_{\text{подAl}}$ 1,0 м/мин)



а)

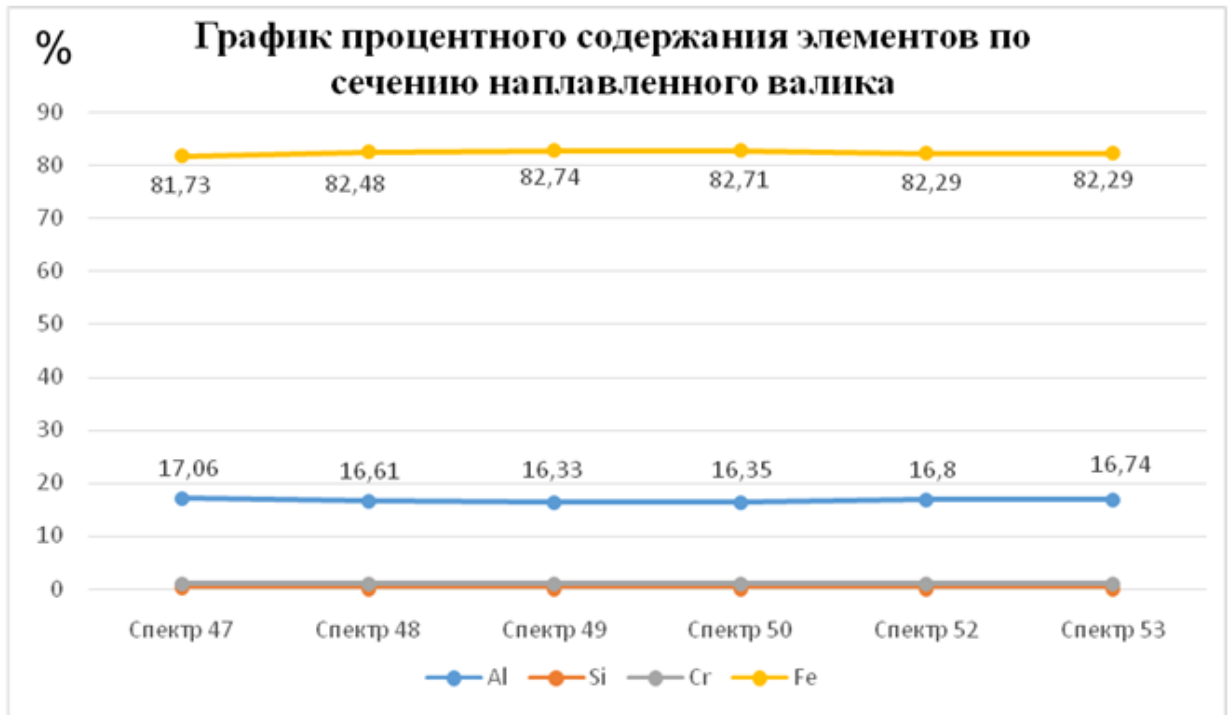


б)

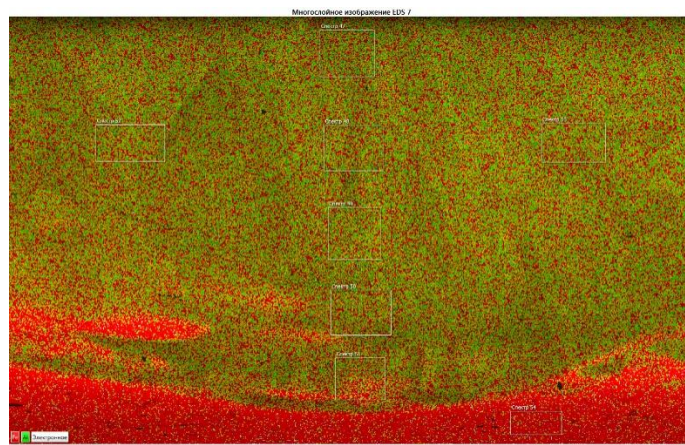


в)

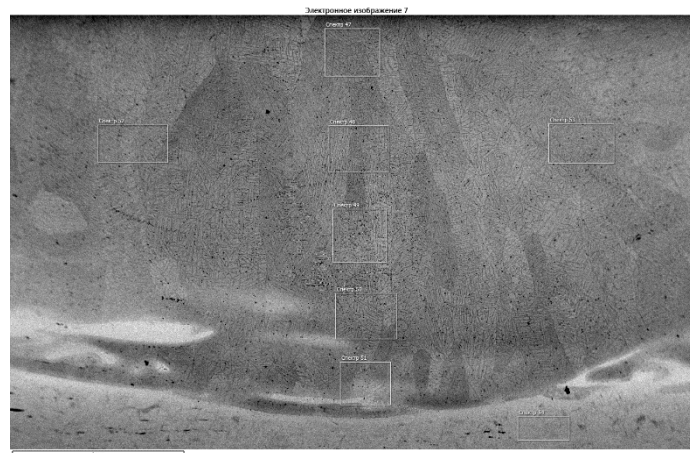
Рисунок 3.9 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 3 ($V_{\text{подAl}} 1,5 \text{ м/мин}$)



а)

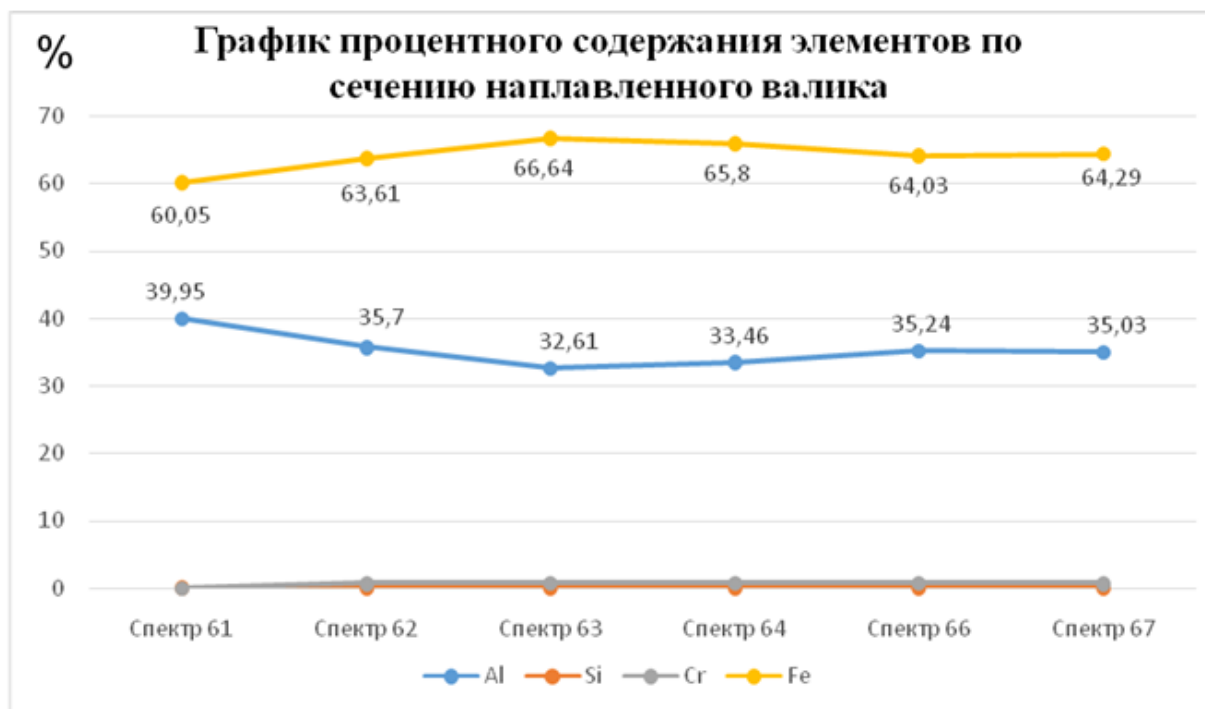


б)

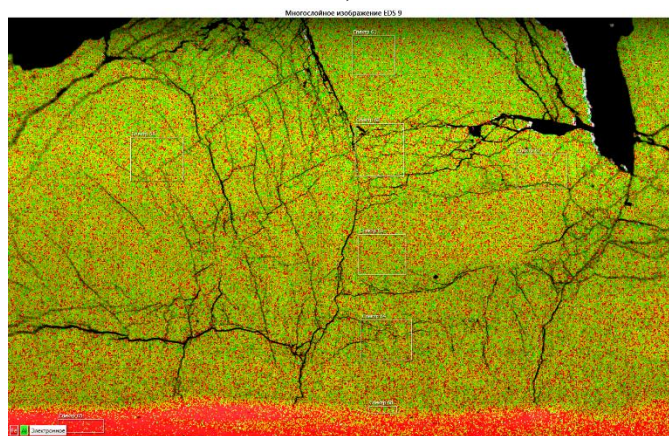


в)

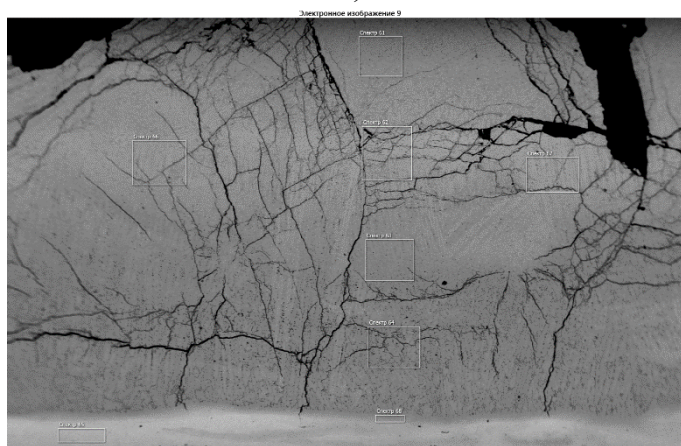
Рисунок 3.10 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 4 ($V_{\text{подAl}} 2,0 \text{ м/мин}$)



а)

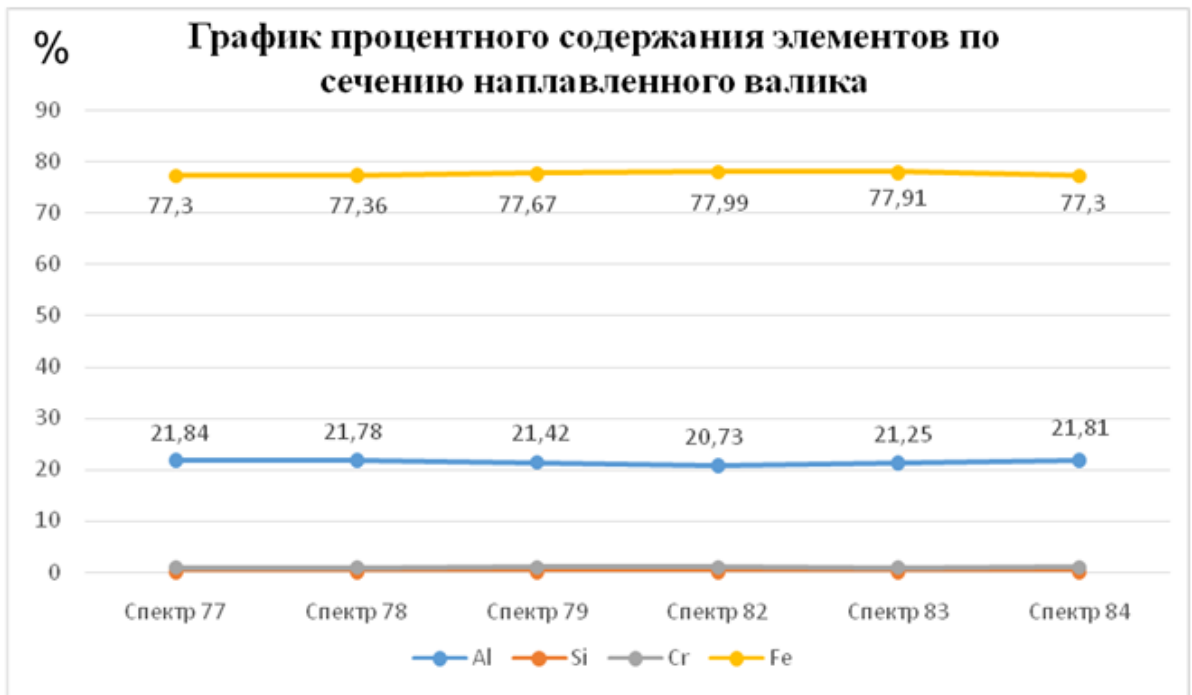


б)

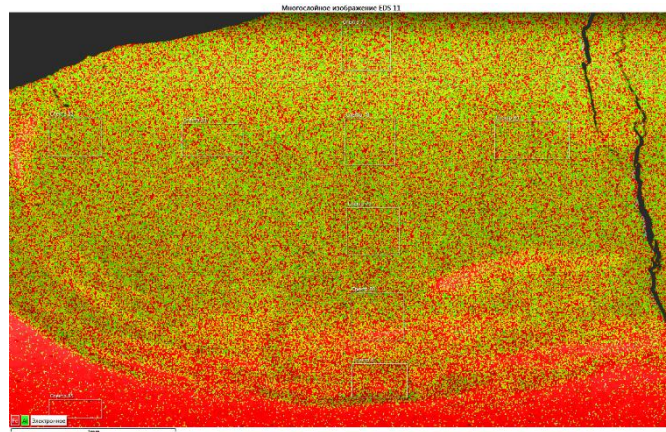


в)

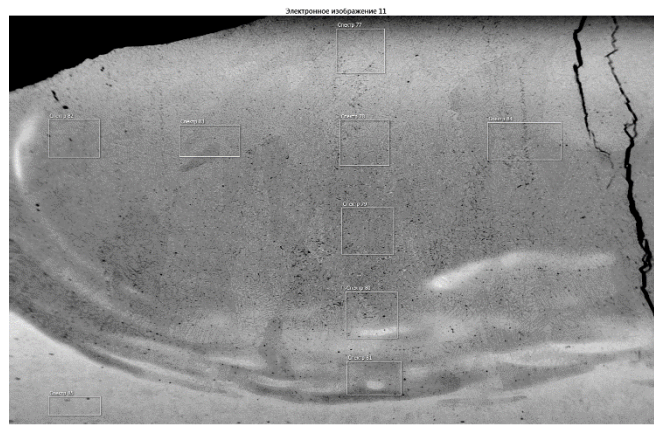
Рисунок 3.11 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 5 ($V_{\text{подAl}} 2,5 \text{ м/мин}$)



а)



б)



в)

Рисунок 3.12 – Химический состав (а) многослойное (б) и электронное изображение (в) образца № 6 ($V_{\text{подAl}}$ 3,0 м/мин)

Проведя анализ графиков химического состава наплавленных валиков по сечению шва, можно сделать вывод, что неоднородность химического состава наплавленных валиков не превышает 7%.

3.3 Исследование механических свойств наплавленных покрытий и износостойких материалов

3.3.1 Исследование механических свойств наплавленных покрытий

Механические и эксплуатационные свойства наплавленного покрытия определяются по химическому и фазовому составу наплавленного металла. Твердость наплавленных покрытий изменялась от 41 HRC до 56 HRC (рисунок 3.17). С повышением содержания алюминия в составе наплавленного валика, твердость наплавленного металла уменьшается.

Таблица 3.3 – Твёрдость наплавленного слоя алюминия.

№ п.п	№ образца	Твёрдость по Виккерсу, HV	Твёрдость по Роквеллу, HRC
1	0,5	673	56
2	1,0	673	56
3	1,5	652	55,5
4	2,0	429	43
5	2,5	418	42
6	3,0	400	41

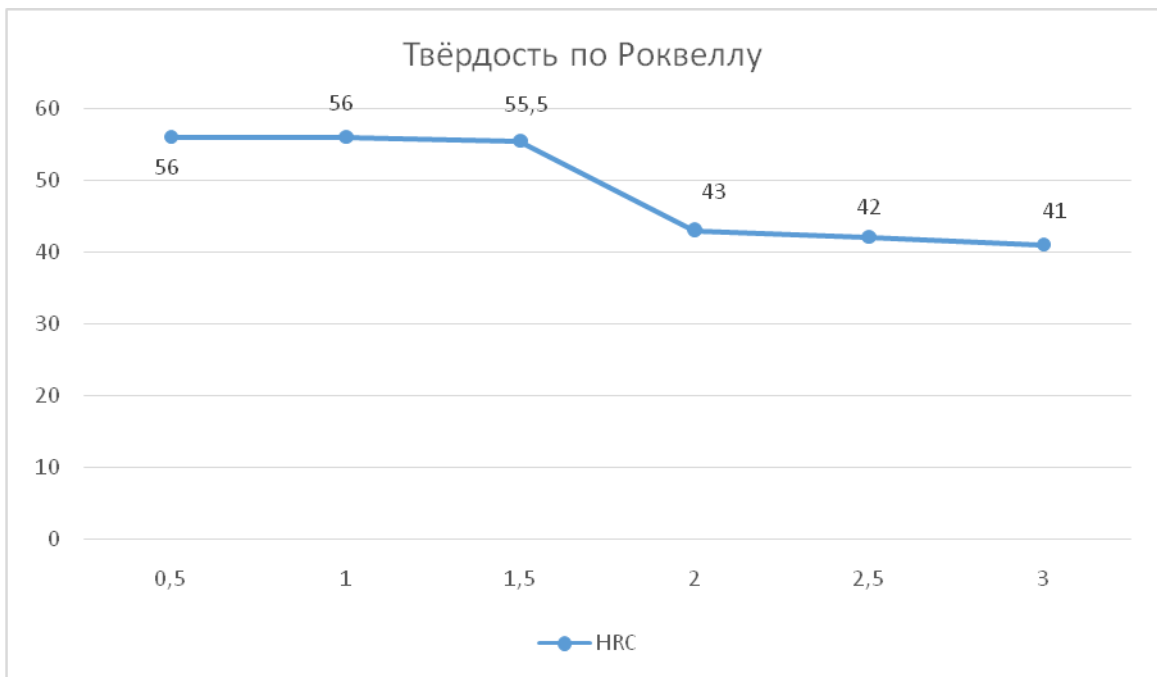


Рисунок 3.13 – Зависимость твёрдости (HRC) наплавленного металла от содержания алюминия

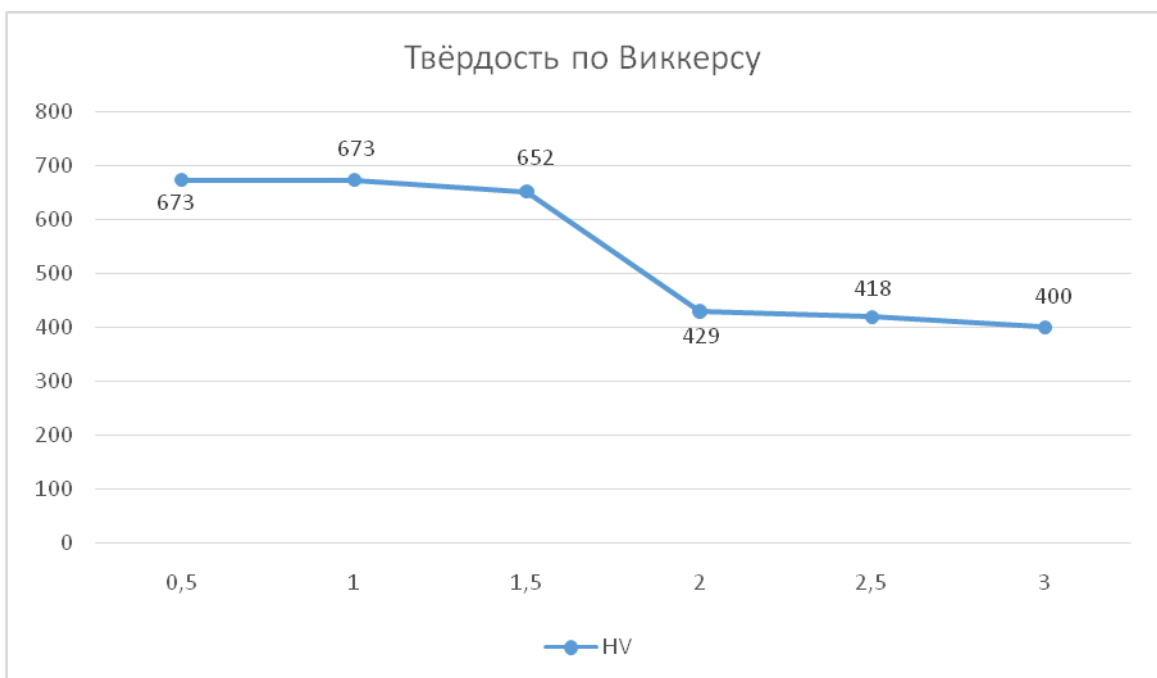


Рисунок 3.14 – Зависимость твёрдости (HV) наплавленного металла от содержания алюминия

График зависимости твёрдости наплавленного металла от содержания алюминия показывает, что для работы билы молотка молотковой дробилки, следует выбирать скорость подачи присадочной проволоки $V_{\text{подаАл}}$ 1,0 м/мин.

Так как этот режим обеспечивает наилучшие эксплуатационные характеристики.

3.3.2 Исследование механических свойств износостойких материалов

Твердость по Виккерсу и Роквеллу образцов с закалкой при 860°C и последующей термообработкой.

Таблица 3.4 – Твёрдость образцов по Виккерсу и Роквеллу после термической обработки

№ п/п	ТО	HV	HRC
1	Закалка 860°C	772	62
2	Закалка 860°C+отжиг 300°C	482	47
3	Закалка 860°C+отжиг 400°C	445	44,5
4	Закалка 860°C+отжиг 500°C	364	38
5	Закалка 860°C+отжиг 600°C	327	33

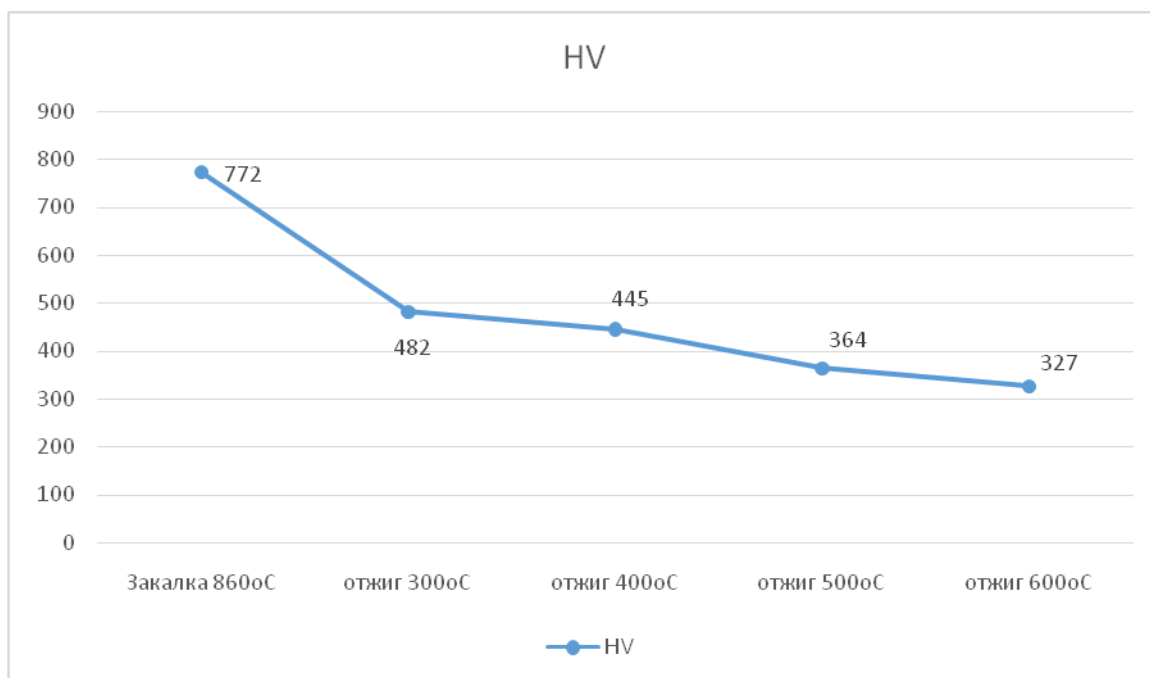


Рисунок 3.15 – Зависимость твёрдости (HV) от термической обработки

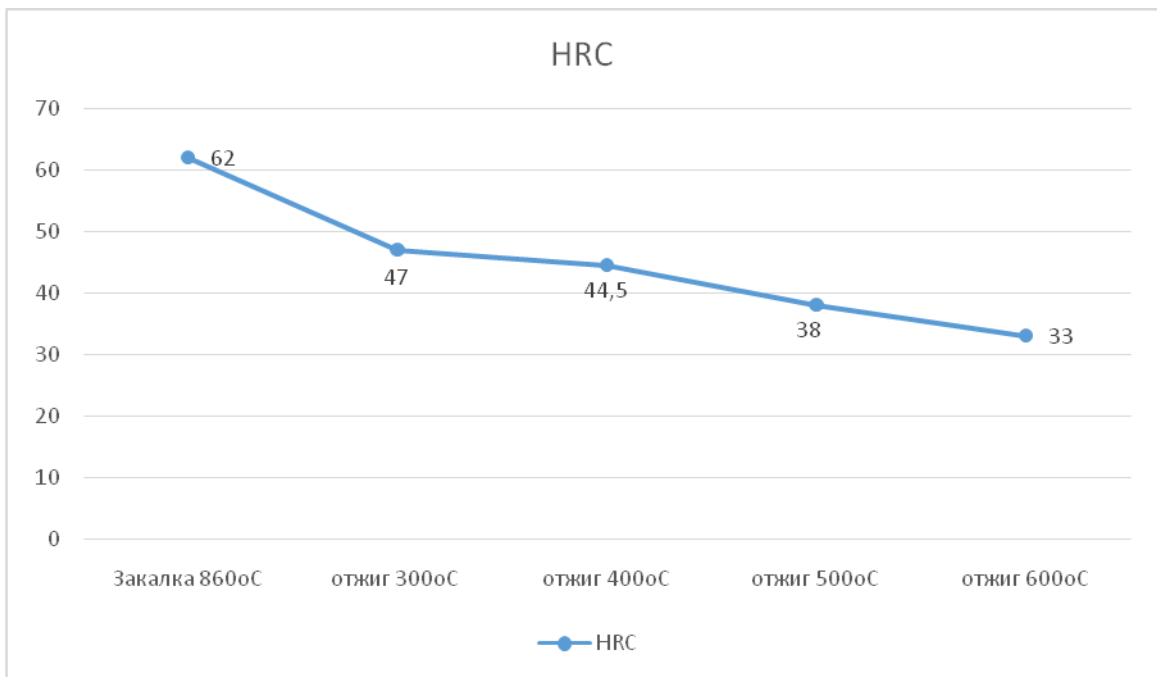


Рисунок 3.16 – Зависимость твёрдости (HRC) от термической обработки

Графики зависимости твёрдости HRC и HV от термической обработки показывают, что твёрдость самая высокая при закалке при температуре 860°C. С увеличением температуры отжига твёрдость HRC и HV снижается.

3.4 Исследования эксплуатационных свойств методом испытаний на ударную вязкость

Образцы на ударную вязкость предварительно подвергали закалке при температуре 860°C с охлаждением в воде с последующим отжигом при температуре 300°C, 400°C, 500°C, и 600°C для получения наилучших эксплуатационных характеристик и оставляли один контрольный образец, подвергшийся только закалке при температуре 860°C.

Таблица 3.5 – Ударная вязкость образцов при закалке и последующем отжиге.

№ п/п	Режим ТО	Работа, Дж	Площадь сечения, см ²	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Среднее значение ударной вязкости
1	Закалка 860°С	8	0,8	10	8,75
2	Закалка 860°С	6		7,5	
3	отжиг 300°С	10		12,5	11,875
4	отжиг 300°С	9		11,25	
5	отжиг 400°С	16		20	20,625
6	отжиг 400°С	17		21,25	
7	отжиг 500°С	25		31,25	43,125
8	отжиг 500°С	44		55	
9	отжиг 600°С	27		33,75	54,375
10	отжиг 600°С	60		75	

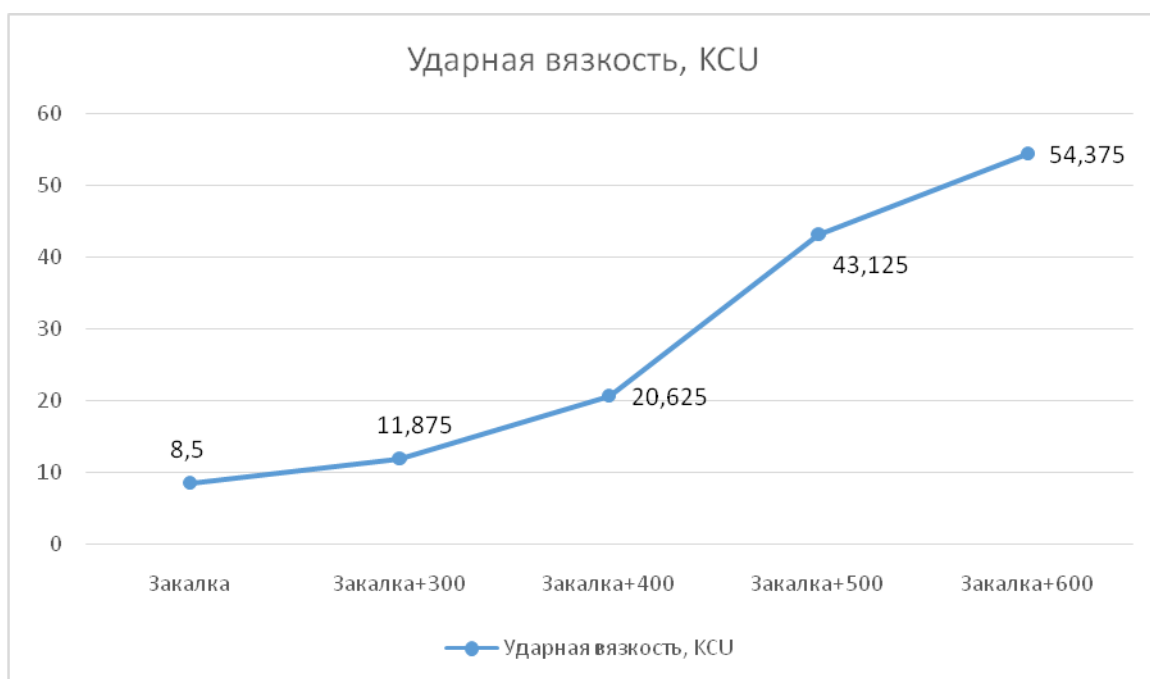


Рисунок 3.17 – Зависимость величины значения ударной вязкости от термической обработки

График зависимости величины значения ударной вязкости от термической обработки показывает, что с увеличением температуры отжига увеличивается ударная вязкость.



Рисунок 3.18 – Характер излома при закалке 860°C и последующем отжиге при температуре 600°C

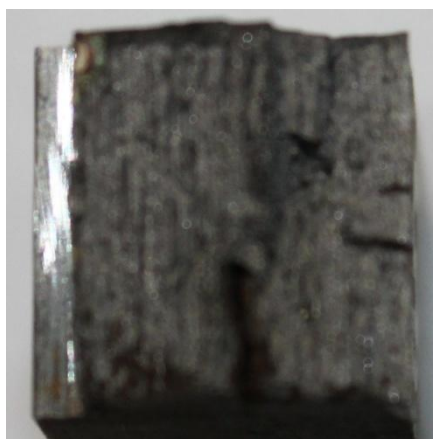


Рисунок 3.19 – Характер излома при закалке 860°C и последующем отжиге при температуре 500°C

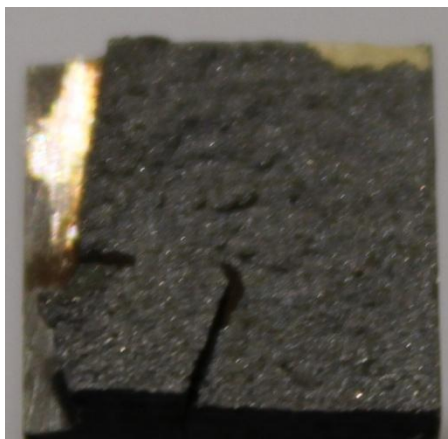


Рисунок 3.20 – Характер излома при закалке 860°С и последующем отжиге при температуре 400°С



Рисунок 3.21 – Характер излома при закалке 860°С и последующем отжиге при температуре 300°С



Рисунок 3.22 – Характер излома при закалке 860°С без последующего отжига

Образец № 1 после закалки имеет хрупко-вязкий характер излома.

Образцы № 2 и 3 с температурами отжига после закалки 300 °С и 400 °С соответственно имеют вязко–хрупкий характер излома

Образцы № 4 и 5 с температурами отжига после закалки 500 °С и 600 °С соответственно имеют хрупкий характер излома.

3.5 Износостойкость при абразивном изнашивании

Для определения величины износа эталонного образца, были проведены испытания на износостойкость при абразивном изнашивании для стали 20, стали 40Х и алюминия.

Таблица 3.6 – Износостойкость эталонных образцов

Материал образца	Размеры, мм	Площадь, мм ²	Величина износа	Относительный износ
Ст20	5,0x10,0	50,0	2,2	1
Ст40Х	5,0x10,1	50,5	2,0	1
Al	4,9x9,9	48,51	1,5	1

3.5.1 Износостойкость при абразивном изнашивании износостойкого материала

Таблица 3.7 Износостойкость в зависимости от термической обработки

№ п/п	Режим ТО	L ₁	L ₂	ΔL	ε
1	Закалка 860°С	29,1	27,0	2,1	1,05
2	Закалка 860°С отжиг 300°С	28,4	26,3	2,1	1,05
3	Закалка 860°С отжиг 400°С	28,0	25,0	2,0	1,1
4	Закалка 860°С отжиг 500°С	28,3	25,8	2,5	0,88
5	Закалка 860°С отжиг 600°С	28,6	25,5	3,1	0,71

Наилучшими эксплуатационными характеристиками обладают образцы № 1 с закалкой при температуре 860°С и № 2 с закалкой при температуре 860°С и температурой отжига 300°С соответственно.

3.5.2 Износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного слоя

Таблица 3.8 – Износостойкость наплавленного слоя

№ п/п	Скорость подачи присадочной проволоки, м/мин	L ₁	L ₂	ΔL	ε
1	0,5	18,9	17,1	1,8	0,833
2	1,0	20,0	19,1	0,9	1,667
3	1,5	20,0	19,2	0,8	1,875
4	2,0	20,1	19,6	0,5	3,0
5	2,5	18,5	17,7	0,8	1,875
6	3,0	19,9	19,0	0,9	1,667

Наилучшими эксплуатационными характеристиками обладают образцы № 4 со скоростью подачи присадочной проволоки 2,0 м/мин.

4 Технологический процесс изготовления комбинированных молотков молотковых дробилок

Технологический процесс изготовления комбинированных молотков молотковых дробилок состоит из следующих основных операций: литьё основы билы; подготовка билы к сварке с пластиной; подготовка износостойкой пластины к сварке; подготовка кромок пластины; сборка; сварка; сварка билы с пластиной; наплавка алюминиевого слоя; термическая обработка. Основным преимуществом предлагаемой технологии является снижение себестоимости изготовления билы молотка молотковой дробилки.

4.1 Литьё основы билы по технологии завода-изготовителя

Существует несколько способов литья бил. Это литьё в кокиль, литьё в песчаные формы.

Кокильное литье, по-другому это литье в постоянные (многоразовые) формы, – это литье металла, которое осуществляется посредством свободной заливкой кокилей.

«Кокиль – форма для заливки из металла с возможностью естественного или принудительного охлаждения, которая заполняется расплавленным металлом под действием силы гравитации» [18].

«Кокиль (рисунок 4.1) в основном, состоит из двух половин формы 12, плиты 11 и вставок 7. Половины формы соединяются и взаимно центрируются штырями 6, а перед заливкой расплавленного металла их соединяют с помощью замков 13. Полости, отверстия в отливке могут быть выполнены в виде металлических или песчаных стержней, которые извлекаются из отливки после затвердевания и охлаждения металла до заданной технологией температуры» [18].

Расплав заливается в кокильную форму через литниковую систему 5, которая выполняется в его стенках, а питание массивных узлов отливки может осуществляться из прибыли 2.

В процессе заполнения кокиля расплавом, воздух и сопутствующие газы, которые находятся в кокиле удаляются из его рабочей полости 10 с помощью вентиляционных каналов 1, или пробок 3, каналы между металлическими частями 9, образуется вентиляционная система кокиля для заливки металла.

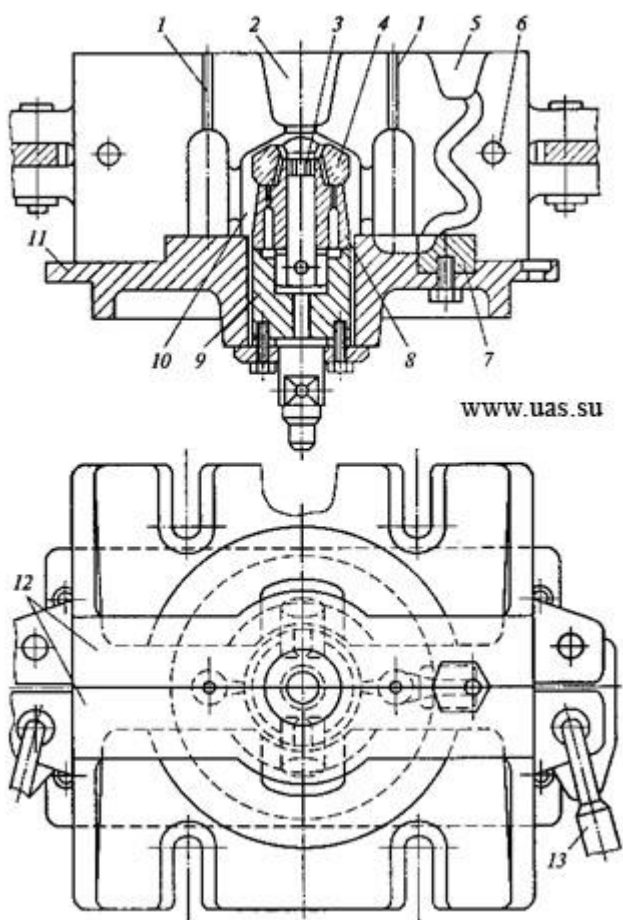


Рисунок 4.1 – Кокиль: 1 – вентиляционные каналы; 2 – прибыль; 3 – вентиляционная пробка; 4 – песчаный стержень; 5 – литниковая система; 6 – штырь (центрирующий элемент); 7 – вставка; 8 – металлический стержень; 9 – вентиляционный канал; 10 – полость формы; 11 – плита (поддон); 12 – полуформы; 13 – замок

«Основными элементами кокиля являются полуформы, а также плиты, вставки, стержни, они, как правило изготавливаются из чугуна или стали.

Выше был рассмотрен кокиль обычной конструкции, но в производственных условиях наиболее часто используются кокили весьма сложных конфигураций и технического исполнения» [18].

«Основными операциями технологического процесса являются: перед заливкой расплава, новый кокиль подготавливается к работе: поверхность его рабочей полости и разъемы тщательно проверяются и при надобности очищаются от следов, загрязнений, ржавчины, масла, также проверяется легкость и возможность перемещения подвижных частей кокиля, точность их центрирования, надежность их креплений. Затем на поверхности рабочей полости и металлических стержней наносится слой огнеупорных покрытий, таких как облицовка и краска (рисунок 4.2, а). Состав облицовок и красок зависит в основном от типа и состава заливаемого в кокиль сплава, а их толщина зависит от требуемой скорости охлаждения отливки: чем толще слой огнеупорных покрытий, тем медленнее происходит охлаждение отливки» [18].

Вместе с этим, слой огнеупорных покрытий позволяет предохранять формы кокиля от резких повышений температуры при заливке, а также от оплавления и схватывания залитого металла с металлом отливки.

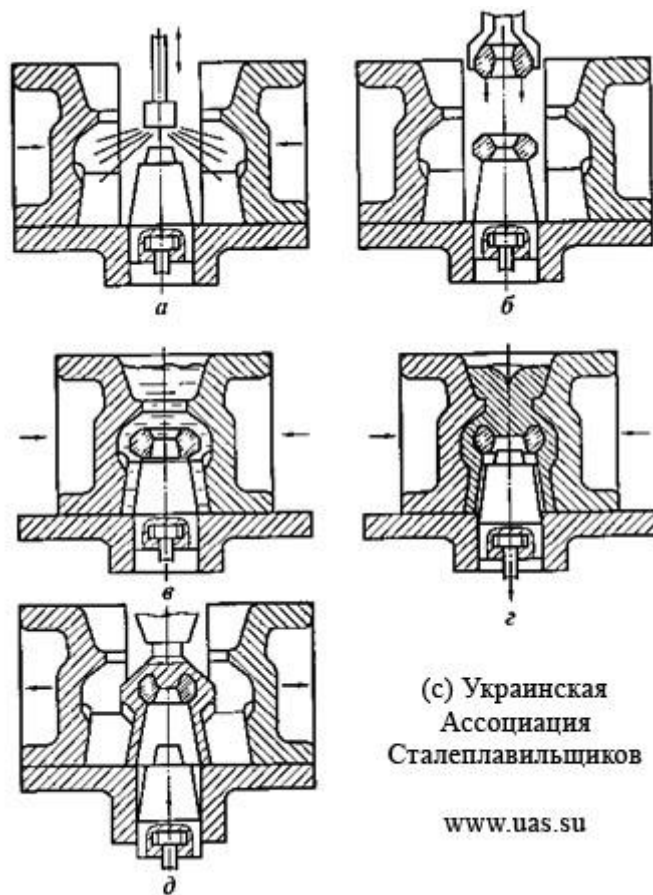


Рисунок 4.2 – Последовательность изготовления отливки в кокиле (стрелки – направление движения деталей кокиля): а – покраска кокиля; б – установка стержней; в – сборка и заливка металла в форму; г – затвердевание отливки; д – разборка кокильной формы

«Перед тем, как нанести огнеупорное покрытие кокиль нагревается газовыми горелками или электрическими нагревателями до температуры примерно 150–300°С. Краска наносится на кокиль в основном в виде водных суспензий с помощью пульверизатора. Вода и капли водной суспензии, которые попадают на поверхность нагретого кокиля, испаряются, а огнеупорная составляющая продолжает ровным слоем покрывать поверхность кокиля» [18].

«После нанесения огнеупорных покрытий кокиль нагревается до рабочих температур, при которых происходит заливка расплавленного металла, зависящая в основном от состава заливаемых сплавов, а также от толщины стенки отливки, ее конструктивных размеров и требуемых свойств.

Следующим этапом, в кокиле устанавливаются песчаные или керамические стержни (рисунок 4.2, б), конечно, если таковые требуются для получения отливок, половинки кокиля соединяются (рисунок 4.2, в) и скрепляются специализированными зажимами, а при установке кокиля в кокильную машину – с помощью ее механизма запираения, после чего заливается расплав в кокиль. Наиболее часто во время затвердеваний и охлаждений отливок, после того как они приобретают достаточную прочность (рисунок 3.2, г), металлические стержни частично извлекаются из отливок. Это делается для того, чтобы уменьшать давление затвердевающей отливки на металлические стержни и для облегчения последующих извлечений залитой заготовки из отливки. После охлаждения отливок до заданных технологией температур кокильная форма раскрывается, из него полностью извлекаются металлические стержни и удаляется из кокиля отливка (рисунок 3.2, д). Из отливки выбивается песчаный стержень, обрезаются литники, прибыли, выпоры, и прочие лишние остатки литья. контролируется качество отливки. Затем описанный выше цикл повторяется для последующих деталей» [18].

«Перед повторением цикла литья осматривается рабочая поверхность кокиля, плоскости разъема. Обычно огнеупорную краску наносят на рабочую поверхность кокиля 1 – 2 раза в смену, изредка восстанавливают ее в местах, где она отслаивается от рабочих поверхностей. Так как за время извлечения отливки и окраски рабочие поверхности кокиля охлаждаются, в частности при литье тонкостенных отливок охлаждается чрезмерно, для повторения цикла требуется подогревать кокили до рабочих температур. Если же отливка достаточно массивная и большая по конструктивным размерам, то за счет теплопередачи кокиль может нагреваться до температуры более высокой, чем требуется для работы. Для таких случаев в кокиле предусмотрены специальные системы охлаждения, и при следующей заливке он поступает после охлаждения» [18].

Процесс литья в кокиль состоит из нескольких операций. Операции по манипулированию достаточно простые и являются кратковременными, а

ограниченной по времени и продолжительности операцией является охлаждение отливки в форме до заданных технологией температур. Практически все операции могут выполняться механизмами машин или автоматической установкой, что относится к существенным преимуществам данного способа литья. Самым важным является тот факт, что исключается трудоемкость и материалоемкость процесса изготовления одноразовой формы, ведь кокиль можно использовать многократно [18].



Рисунок 4.3 – Внешний вид основы литой билы

4.2 Изготовление износостойкой пластины

Износостойкую пластину вырезают из листа стали 40Х толщиной 20 мм по размеру билы. Проводят подготовку кромок С8 по ГОСТ 5264-80 [19].

Производят сверление отверстий в листе для сварки листа с основой билы. Это требуется для того, чтобы приварить лист в местах сверления, так как конструктивно невозможно приварить износостойкий лист и основу билы по всей площади листа.



Рисунок 4.4 Внешний вид износостойкого листа из стали 40Х перед приваркой к литой основе

4.3 Сварка пластины с билой

К основанию аргонодуговой сваркой плавящимся электродом приваривали рабочую часть, изготовленную из листа стали 40Х (Рисунок 4.5).

Сварку производили по всему периметру пластины, а также заполняли отверстия. Для сварки использовали электродную проволоку Св-06Х19Н9Т с высокой пластичностью наплавленного металла.



Рисунок 4.3 Била после сварки износостойкой пластины из стали 40Х

4.4 Наплавка

На поверхность молотка наплавляли аргонодуговым способом неплавящимся электродом слой алюминиды железа (Рисунок 4.6) для наплавки использовали алюминиевую присадочную проволоку Св-А5.



Рисунок 4.4 – Внешний вид билы после наплавки алюминиевого слоя
Для наплавки на износостойкую пластину алюминиевого слоя выбрали следующие параметры:

$$I_{св} = 270 \text{ А.}$$

$$U_{св} = 15,5 \text{ В.}$$

$$V_{наплавки} = 0,15 \text{ м/мин}$$

$$V_{подачи пр.пров} = 1,5 \text{ м/мин}$$

Подобранные режимы позволяют обеспечить наилучшие прочностные характеристики. Твёрдость наплавленного слоя алюминия 652 HV, HRC 55,5.

Износостойкость $\varepsilon = 1,875$. Отсутствуют трещины в наплавленном слое. Также наблюдалась стабильная структура и химический состав шва.

4.5 Термическая обработка

Термическую обработку проводят после наплавки слоя алюминия. Закаляют при температуре 860°C , затем проводят отжиг при температуре 400°C . Значение твёрдости будет составлять 445 HV, 44,5 HRC. Износостойкость при абразивном изнашивании $\varepsilon = 1,1$. Излом износостойкого материала имеет хрупкий характер. Ударная вязкость составляет $KCU=20,625 \text{ Дж/см}^2$.

Заключение

В ходе выполнения магистерской диссертации были проанализированы материалы, возможные для изготовления молотков.

В ходе выполнения магистерской диссертации были проведены исследования процессов формирования молотков молотковых дробилок.

Для исследования процессов изготовления комбинированных молотков была разработана методика исследования износостойкой пластины и наплавленного алюминиевого слоя.

На основании проведенных исследований была разработана технология изготовления комбинированных молотков молотковых дробилок.

Предложена комбинированная конструкция молотка молотковой дробилки, представляющая собой литое основание из низкоуглеродистой стали, рабочего слоя из среднеуглеродистой стали и наплавленного интерметаллидного слоя из сплавов системы железо-алюминий, позволяющая снизить стоимость молотка и успешно эксплуатироваться для дробления мягких пород.

Список используемых источников

1. 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.
2. Павлова Т.С. Неупругость сплавов на основе интерметаллида Fe₃Al [текст]: дис. канд. тех. наук / Т.С. Павлова. – Тула, 2008. -130 с.
3. 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.
4. Ковтунов А.И. Аргонодуговая наплавка сплавами на основе системы железо-алюминий: монография [Текст] / А.И. Ковтунов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014 – 140 с.
5. Основы проектирования ремонтных предприятий [электронный ресурс]: Ремонт молотковых дробилок / <http://studopedia.ru> (электронный текст) Режим доступа: URL. – http://studopedia.ru/9_43958_remont-molotkovih-drobilok.html
6. 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.
7. Фоминых В.П., Яковлев А.П. Ручная дуговая сварка: Учебник для сред. ПТУ. – 7-е изд., испр. и доп. – Высш. шк., 1986. – 288 с., ил. – (Профтехобразование).
8. Виртуальный справочник сварщика [электронный ресурс]: Порошковая проволока ПП-АН-105 / <http://svarka-info.com/> (электронный текст) Режим доступа: URL. – <http://svarka-info.com/content/%D0%BF%D0%BF-%D0%B0%D0%BD105>

9. 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., ил.
10. СИБМОНТАЖКОМПЛЕКТ [электронный ресурс]: Наплавка, наплавочные и сварочные установки собственного производства / <http://www.sibmk.com/> (электронный текст) Режим доступа: URL. – <http://www.sibmk.com/katalog/naplavka-naplavochnyie-ustanovki/ustanovka-dlya-naplavki-bil-u-877m/>
11. Порошковые проволоки для сварки и наплавки производства ТМ.ВЕЛТЕК [электронный ресурс]: Порошковая проволока для сварки (наплавки) ВЕЛТЕК-Н210 / <http://pvrt.ru/index.htm> (электронный текст). Режим доступа: URL. – http://pvrt.ru/ppnap_v/n210.htm
12. 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., ил.
13. 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.
14. 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.
15. Оборудование для геодезии и неразрушающего контроля [электронный ресурс]: Маятниковый копер JB-300В <http://www.ndt-geo.ru/> (электронный текст). Режим доступа: URL. – http://www.ndt-geo.ru/product_601.html
16. Оборудование и технологии термообработки металлов [электронный ресурс]: Испытания на ударную вязкость <https://heattreatment.ru/> (электронный текст). Режим доступа: URL. – <https://heattreatment.ru/ispytaniya-na-udarnuyu-vyazkost>

17. ТЕРМОПЕЧЬ [электронный ресурс]: Муфельная печь СКВ 10/10 / <http://termopech.ru/> (электронный текст). Режим доступа: URL. – <http://termopech.ru/mufelnaya-pech-skv-1010>
18. 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.
19. 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.
20. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. Введён 1990-01-01. – Москва. Издательство стандартов. 36 с.
21. ГОСТ 7871-75. Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. Введён 1978-01-01. – Москва. Издательство стандартов. 14 с.
22. Навроцкий А.Г. Сварочный работы. Все виды сварки: Практическое руководство. – М.: РИПОЛ КЛАССИК, 2003. – 192 с.: ил. – (Домашняя мастерская).
23. ГОСТ 26104-89. Средства измерений электронные. Технические требования в части безопасности. Методы испытаний. Введён 1990-07-01. – Москва. Издательство стандартов. 39 с.
24. ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Введён 2004-07-01. – Москва. Издательство стандартов. 169 с.
25. 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.: пер.
26. Электрошлаковая сварка и наплавка [Текст] / Под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с., ил.

27. 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., ил.
28. ГОСТ 26271-84. Проволока порошковая для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. Общие технические условия. Введён 1987-01-01. – Москва. Издательство стандартов. – 20 с.
29. ГОСТ 26101-84. Проволока порошковая наплавочная. Технические условия. Взамен ГОСТ 5.1491-72. Введён 1986-01-01. – Москва. Издательство стандартов. – 24 с.
30. 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.