

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

профиль «Производство, диагностика и ремонт сварных конструкций и деталей  
газонефтехимического оборудования»

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: «Восстановление шнека экструдера»

Студент

А.А. Москвин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Г.М.Короткова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н, профессор В.В.Ельцов

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

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

д.т.н, профессор В.В.Ельцов

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

(личная подпись)

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

Тольятти 2018

## Содержание

Введение	3
1. Особенности оборудования технологического процесса- экструзия	5
1.1 Описание конструкции шнекового экструдера	5
1.2 Анализ свойств материала шнека	8
1.3 Анализ технологических процессов восстановления шнека	10
2. Выбор материала прутка и режимы наплавки	18
2.1 Анализ наплавочных материалов	19
2.2 Определение (расчет) параметров режима наплавки	24
3. Организация сварочного поста для восстановления шнека экструдера	30
3.1 Выбор оборудования для наплавки	32
3.2 Сварочный участок	38
4. Металлографические исследования структуры наплавки	40
4.1 Разработка методики исследования	40
4.2 Подготовка шлифов для металлографического исследования	43
4.3 Результаты металлографического исследования	44
5. Проектирование технологического процесса восстановления шнека экструдера	55
Заключение	70
Список используемых источников	71

## Введение

Технологический процесс экструзии в современной промышленности является одним из наиболее популярных и производительных. В его сути лежит продавливание какого-либо сырья через специальное формирующее отверстие (головку экструдера, фильеру). При этом материал, загружаемый в экструдер должен обладать достаточной вязкостью. На выходе экструдера сырье приобретает определенную форму.

В процессе эксплуатации экструдера происходит выработка рабочих частей шнека. Процесс сварки, наплавки очень часто используется для нанесения твердости или износостойкого слоя основного металла. Это очень важный метод продления срока службы машин, инструментов и строительного оборудования [35]. Замена шнека обходится очень дорого, поэтому разработка технологического процесса ремонта данной детали весьма актуальна.

Конкурентная способность на предприятиях зависит от того, насколько надежно и бесперебойно функционирует оборудование (экструдер). Производительность экструдера зависит во многом от перерывов или остановок связанных с плановым или аварийным ремонтом. Длительность работы экструдера зависит от входящих в него деталей, которые подвергаются разнообразным видам износа (трение, абразивный износ, сколы) и обладающие небольшим эксплуатационным периодом, что значительно снижает ресурс и приводит к длительным остановкам на ремонт или их замену [1].

В каждом конкретном случае решается задача: заменить полностью шнек или его восстановить. В том случае, когда шнек ремонту не подлежит, он заменяется новым. Однако стоимость шнека высока, что приводит к большим затратам производства, поэтому разрабатываются технологии восстановления поверхности шнека. Предварительные расчеты показывают, что в современной экономической ситуации, сложившейся в стране, восстановление шнека экономически целесообразнее. Поэтому цель работы - снижение затрат производства

при экструзии полимерных материалов, за счет восстановления шнеков экструдера.

## 1. Особенности оборудования технологического процесса - экструзия

«Экструзия - технологический процесс получения изделий из полимерных материалов (резиновых смесей, пластмасс, крахмалсодержащих и белоксодержащих смесей) путём продавливания расплава материала через формующее отверстие в экструдере.» [30].

Технология экструзии разработана больше пятидесяти лет назад, и для ее реализации разработано множество оборудования и оснастки предназначенного для выполнения данного технологического процесса.

В шнековом экструдере сырье проходит через несколько этапов: подача, размягчение, выталкивание. На первом этапе - подачи сырье загружается через специальный бункер и происходит нагревание. Для данной операции используются хомутовые нагреватели. По мере движения сырье в экструдере нагревается и делается пластичным, а к завершающему этапу сырье приходит в однородное состояние, в котором оно свободно выдавливается через формующую головку [3]. При правильной работе шнека, нагревательных элементов готовая продукция будет соответствовать требованиям по качеству и удовлетворенности потребителя.

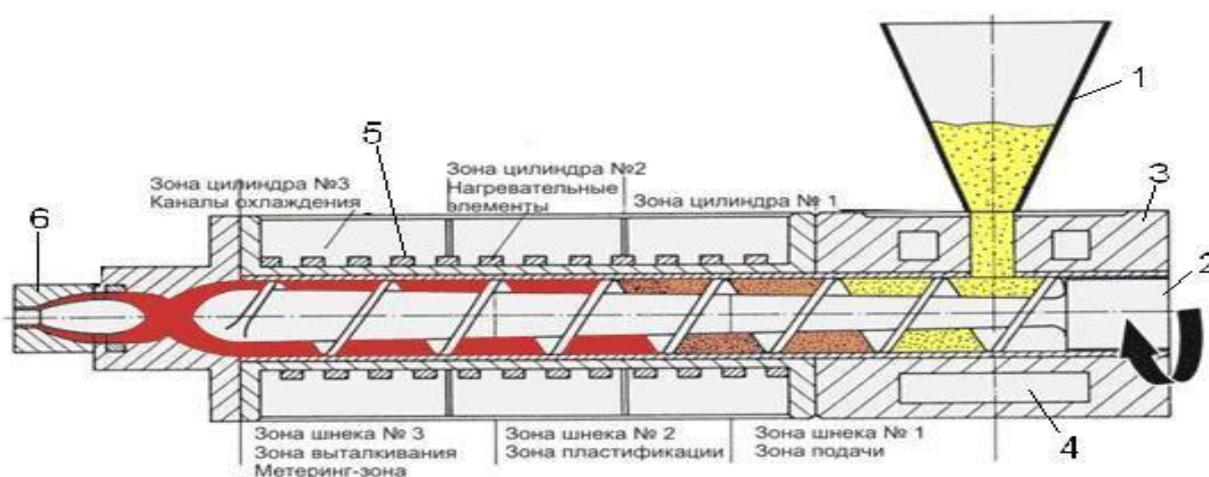
### 1.1 Описание конструкции шнекового экструдера

При выполнении налаженного технологического процесса в шнековом экструдере проходит сложный физико-химический процесс, под действием механических нагрузок. При перерабатывании происходит нагрев сырья за счет механической энергии, которая образуется в процессе борьбы с внутренним трением, а также пластической деформации сырья. При этом наблюдается изменение некоторых параметров, а именно: состав сырья, его влажность и природа. Также при переработке возможно изменение таких параметров, как: давление, температура, интенсивность и продолжительность воздействия на сырье.

Существует несколько основных методов работы: холодная формовка, горячая экструзия и теплая обработка. В настоящее время широко известен

метод горячей формовки, который выполняется при повышенной скорости и давлении, когда наблюдается значительное преобразование механической энергии в тепловую. Для выполнения технологического процесса - применяют шнековый экструдер, у которого в качестве основного рабочего механизма используют шнеки особой конструкции поз 2, выполняющий вращение в цилиндрическом корпусе поз.3 (рис1). Формообразующие матрицы находятся на выходе поз.6. Шнековый экструдер устроен таким образом, что в конструкции его рабочей части шнеки и камеры разработаны и смонтированы для точного выполнения поставленных задач. Имеется загрузочная камера (бункер), куда осуществляется загрузка сырья и смешанных добавок, закрытые камеры, в которых есть отверстия для измерения температуры и давления, а также добавление жидких веществ и отбор проб [8].

Шнековый экструдер – это сложное оборудование, которое используется для размягчения и формования сырья путем продавливания через устройство со специальными вырезами на выходе (рис1).



1-бункер; 2-шнек; 3-цилиндр; 4-полость для циркуляции воды;  
5-нагреватель; 6-формующая головка с адаптером

Рисунок 1 - Шнековый экструдер

Для перемещения сырья под увеличенным сопротивлением, а также перемешивания его в процессе производства, шнеки экструдера возможно оснастить дополнительными элементами.

«Рабочую часть механизма с учетом стадий процесса обработки можно разделить условно на три зоны: первая- отвечает за прием сырья; вторая- отвечает за пластификацию и сжатие, а третья зона отвечает за выпрессовку продукта. Рабочие части шнеков могут иметь одну или несколько различных конструкций:

- сдвоенные шнеки: вращение происходит в одном или различных направлениях;
- одинарные шнеки: цилиндрические с постоянным или переменным шагом, конический, винтовой, конический с шагом, уменьшающимся к выходу;
- сдвоенные шнеки, входящие в зацепление: вращение происходит в одном направлении и самоочищающиеся, вращение в различных направлениях и частично очищающиеся (рис.2).



Рисунок 2 – Виды шнеков

При конструировании экструдеров применяют комплекты шнеков (рис.2), а между ними в определенной последовательности находится подпорные шайбы.

Шнеки и шайбы на шпильке крепятся при помощи болта с конусной головкой» [30].

В процессе эксплуатации экструдера происходит изнашивание рабочих частей шнека, что предполагает либо полностью замену шнека, либо его восстановление.

### 1.2 Анализ свойств материала шнека

В выпускной квалификационной работе исследования проводятся с конструкцией шнека, представленной на рис.3.

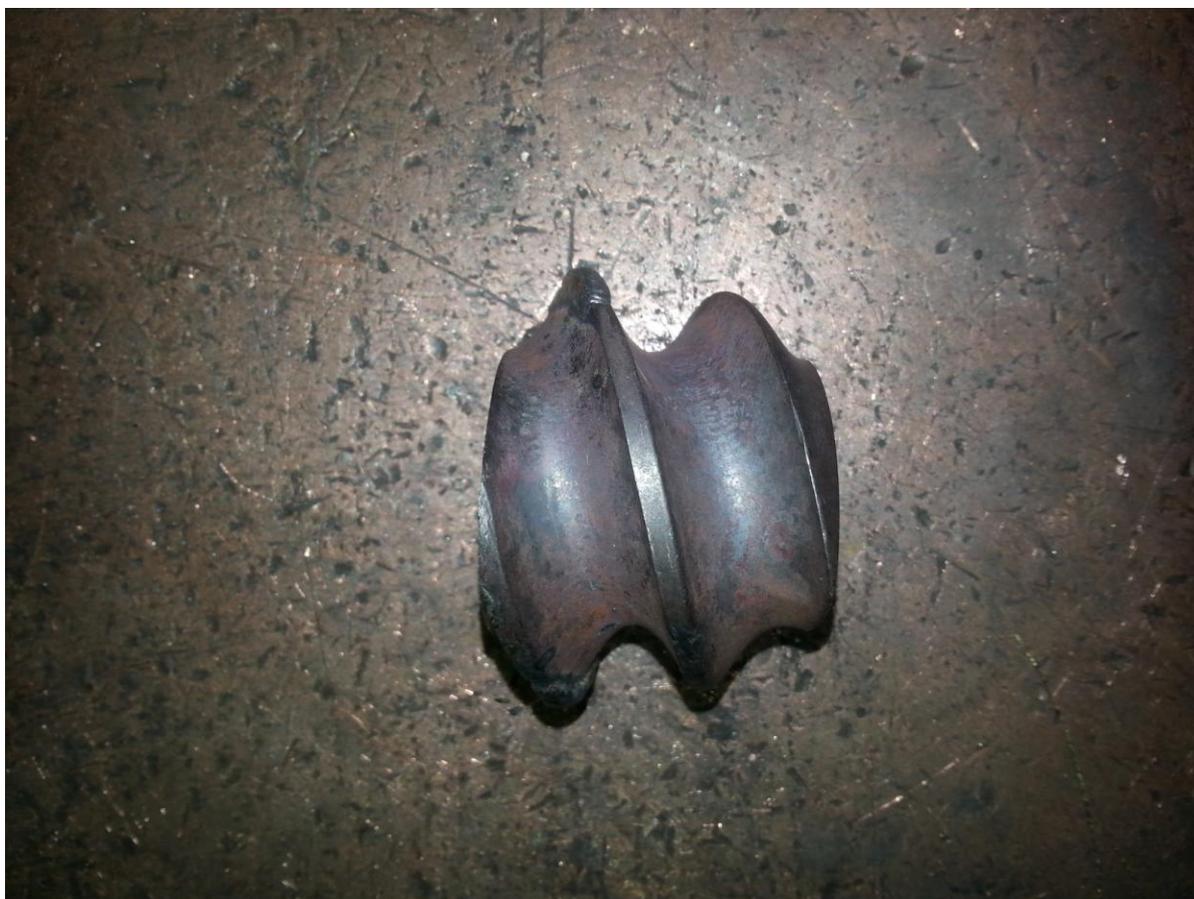


Рисунок 3 – Общий вид шнека

Шнек экструдера выполнен из стали 20Х, которая относится к конструкционным легированным сталям. Характеристики стали 20Х приведены в таблице 1, а химический состав стали - в таблице 2 [1].

Таблица 1- Характеристика ст. 20Х

Марка :	20Х
Заменитель:	15Х, 20ХН, 12ХН2, 18ХГТ
Классификация :	Сталь конструкционная легированная
Дополнение:	Сталь хромистая
Применение:	Втулки, шестерни, обоймы, гильзы, детали, работающие в условиях износа при трении.

Таблица 2 - Химический состав в % ст. 20Х по ГОСТ 4543 – 71\*

С	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.17 - 0.23	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.7 - 1	до 0.3

«Сталь 20Х – это конструкционный материал. Он представляет собой железоуглеродистый сплав с содержанием различных примесей (табл.2). Все компоненты, входящие в ее состав, оказывают влияние на свойства стали. Одной из технологических характеристик металлов является способность образовывать качественные сварные соединения.

Оценка свариваемости стали производится по значению основного показателя – углеродного эквивалента  $C_{экр}$ . Это условный коэффициент, учитывающий степень влияния содержания карбона и основных легирующих элементов на характеристики шва. Известно, что на свариваемость сталей влияют следующие факторы: содержание углерода, наличие вредных примесей, степень легирования, вид микроструктуры» [30]. Наибольшую информацию по свариваемости стали дает химический состав (табл.2).

«Сталь шнека 20Х относится к ограниченно – свариваемой стали, т.к. эквивалент по углероду  $C_{экр}$  находится в интервале  $0,35\% \leq C_{экр} \leq 0,45\%$ . В этом случае для образования качественного шва необходим предшествующий подогрев. Он способствует «плавным» аустенитным преобразованиям, формированию устойчивых структур (ферритно-перлитные, бейнитные).

Среднелегированная сталь 20Х (гост 4543-71) производит более значительное сопротивление формированию ненапряженных швов. При сварке и наплавке стали 20Х требуют предварительного подогрева до температуры до 350-400°С, выполнения многослойных швов, закалки и отпуска по завершении сварочных работ» [30].

Вместе с тем, нет препятствий для использования всех способов сварки и наплавки плавлением.

### 1.3 Анализ технологических процессов восстановления шнека

Технологии сварки, наплавки широко используются для проектирования защитного слоя от износа и коррозии. Наплавка, предназначенная для получения покрытий с высокой твердостью, занимает особое место в этих технологиях [33].

Существующие виды наплавки:

- ручная-дуговая наплавка покрытыми электродами.
- механизированная и автоматическая наплавка под флюсом.
- плазменная наплавка.
- электрошлаковая наплавка.
- лазерная наплавка.
- электронно-лучевая наплавка.
- газовая наплавка.
- индукционная наплавка.
- электроконтактная наплавка.
- плакирование поверхности листов энергией взрыва.
- наплавка трением.
- аргонно-дуговая наплавка неплавящимся электродом.

Для наплавки шнеков экструдера в настоящее время применяют следующие способы: ручная дуговая наплавка покрытым электродом (РДС); ручная дуговая наплавка неплавящимся электродом в защитном газе аргон; механизированная и автоматическая наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, порошковой проволокой и лентой; автоматическая наплавка под слоем флюса; плазменная наплавка с использованием порошков и порош-

ковых проволок; лазерная наплавка порошковыми материалами. Наплавка шнека выполняется по технологическому процессу, который разрабатывается на основании требований чертежа и рабочих инструкций.

Рассмотрим способы наплавки шнеков, которые чаще всего применяют в настоящее время.

Наплавка покрытыми электродами.

Наплавка покрытыми электродами ведется на постоянном токе обратной полярности (плюс на электроде, минус на изделии). В качестве источников питания рекомендуется использовать однопостовые или многопостовые установки постоянного тока с крутопадающими ВАХ.

Чтобы получить заданную твердость наплавленного шва, высота наплавки должна составлять не менее 5- 6 мм с учетом механической обработки (рис.4). Твердость - 43-46 HRC.



Рисунок 4 - Наплавка покрытыми электродами

Преимущества способа:

- возможность нанесения металлического слоя большой толщины и любого состава, отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей изделий в большую сторону;
- относительная простота конструкции и транспортабельность оборудования;
- возможность повышения эффективности наплавки путем её сочетания с другими способами поверхностной обработки.

Недостатки способа:

- ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла;
- деформация изделия, вызываемая высокой погонной энергией наплавки;
- трудность наплавки мелких деталей сложной формы.

Дуговая наплавка W-электродом в аргоне.

В качестве источника питания дуги следует применять установки, оснащенные осциллятором для бесконтактного возбуждения дуги, устройством регулирования сварочного тока с дистанционным педальным управлением для плавного изменения величины тока, регулятором спада сварочного тока для заварки кратера. В качестве защитного газа необходимо использовать аргон высшего и 1 сортов по ГОСТ 10157.

В качестве электродов применяются вольфрамовые прутки диаметром 3мм (WL-20), так как они допускают сварку с большой плотностью тока, и длительное время сохраняют форму заточки в процессе работы, и стойки к налипанию расплавленного металла. При работе на постоянном токе прямой полярности вольфрамовый электрод необходимо затачивать на конус. Правильная заточка обеспечивает высокую плотность тока на конце электрода, концентрацию дуги, малую глубину проплавления основного металла.



Рисунок 5 - Дуговая наплавка W-электродом в аргоне

Преимущества способа:

- возможность влиять на износостойкость наплавленного слоя за счет химического состава присадочного прутка;
- снижение наплывов, поэтому данный способ особенно эффективен при наплавке шнека.

Недостатки:

- низкая производительность.

Газовая наплавка:

«Газовая наплавка ст. 20Х производится ацетилено-кислородным пламенем (ацетилен газообразный технический по ГОСТ 5457 и кислород технический по ГОСТ 5583) присадочными прутками марки ВЗК *по или Пр* ВЗК в соответствии с ГОСТ 21449 и флюсом. Флюсы применяются следующего состава: плавленый шпат – 25 % ФКС-95А (ГОСТ 4421), бура прокаленная – 50 % (ГОСТ

8429), борная кислота – 25 % (ГОСТ 18704). При изготовлении флюса все составляющие измельчаются и просеиваются через мелкое сито (№ 3 – 5).

Номер наконечника (от 3 до 5) горелки выбирается в зависимости от размеров наплавляемой детали. Давление кислорода в горелке устанавливается от 0,4 МПа до 0,5 МПа, ацетилена – от 0,02 МПа до 0,05 МПа. Непосредственно перед наплавкой детали должны быть подогреты до температуры (650 – 750) °С. Газовую наплавку следует производить восстановительным пламенем со средним избытком ацетилена. Окислительное или нейтральное пламя не допускается. Длина видимого конуса, характерного для пламени горелки, должна быть в два – три раза больше, чем внутреннее ядро. Перед наплавкой основной металл следует довести до появления на поверхности блестящей пленки. В зону пламени горелки вводят пруток (присадку), который при расплавлении наносится на поверхность детали. Для обеспечения заданной твердости при газовом способе наплавки стеллита и сормайта высота наплавленного металла должна быть не менее 3 мм без учета припуска на механическую обработку. Количество слоев – не менее двух» [36].



Рисунок 6 - Газовая наплавка

Преимущества:

- малое проплавление основного металла;
- универсальность технологии, возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки:

- низкая производительность, нестабильность качества наплавленного слоя.

Механизированная и автоматическая наплавка в среде  $\text{CO}_2$ .

Механизированная и автоматическая наплавка выполняется сплошной проволокой, порошковой проволокой или лентой. Эти способы имеют большую производительность (до 5 кг/ч), лучшую равномерность по свойствам наплавленного металла по его сечению. Применение порошковых наплавочных материалов существенно повышает диапазон легирования.

Данные способы используются и при наплавке в защитных газах. В этом случае легирование достигается исключительно через присадочную электродную проволоку. При необходимости производить наплавку в три-четыре слоя. Верхние слои наплавленного металла практически полностью по химическому составу соответствуют составу электродной проволоки.



Рисунок 7 - Механизированная наплавка в среде  $\text{CO}_2$

Преимущество механизированной наплавки в  $CO_2$  состоит в возможности повышения производительности процесса за счет его осуществления в автоматическом или механизированном режиме.

Недостаток связан с осложнением работы на открытом воздухе из-за влияния ветра на процесс наплавки и интенсивное разбрызгивание электродного металла.



Рисунок 8 - Автоматическая сварка в защитных газах

Преимущества автоматической наплавки:

- высокая производительность процесса при наплавке изделий простой формы с большой площадью наплавляемой поверхности;
- простота осуществления процесса, не требующего высокой квалификации сварщика;
- универсальность, возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования

- хорошие условия труда, связанные с отсутствием разбрызгивания электродного металла.

Недостатки:

- более высокая стоимость оборудования, чем для ручной дуговой наплавки покрытыми электродами;

- непригодность для наплавки мелких изделий сложной формы [9,10].

Проведя анализ возможных способов наплавки применительно к шнекам экструдера, учитывая толщину наплавленного слоя, время механической обработки, твердость наплавленного слоя и количество деталей остановимся на наплавке W-электродом в среде защитного газа аргона.

В связи с этим необходимо решить в ВКР следующие задачи:

1. Выбор материала прутка и режим наплавки w-электродом.
2. Обоснование выбора сварочного оборудования.
3. Металлографический анализ наплавленного слоя шнека.
4. Проектирование технологического процесса восстановления шнека.

## 2.Выбор наплавочного материала и режима наплавки

Известно, что износостойкие прутки делятся на ряд групп в соответствии с их характеристиками, свойствами и стойкостью к разным видам износа. Они могут быть классифицированы следующим образом. Сплавы на основе железа (мартенситные, аустенитные и карбидосодержащие): сплавы на основе никеля и кобальта.

С точки зрения металловедения мартенсит является структурой, образующейся при быстром остывании (закалке) углеродистых сталей; аустенит – твердый раствор углерода в железе. Карбидосодержащие сплавы как правило содержат карбиды хрома, иногда довольно редко карбиды вольфрама.

Свойства, а следовательно и области использования, этих материалов различны. Сравнение их эксплуатационных характеристик только по критерию твердости без учета структуры может быть неправильным. Например, твердость 50 – 55 единиц по Роквеллу имеют и мартенсит, и аустенит (после наклепа), и сплавы с карбидами хрома. Однако они показывают неплохую стойкость к совершенно различным видам износа. Мартенситные материалы благополучно противостоят изнашиванию типа «металл по металлу», аустенитные (после наклепа) – ударному износу, железохромоуглеродистые – абразивному.

«Современные наплавочные материалы на основе железа содержат от 0, 1 до 74 % легирующих элементов. При минимальном содержании углерода материалы лучше всего противостоят износу типа «металл по металлу». При повышении его содержания сплав делается стойким преимущественно к ударному износу. Наибольшее содержание углерода в материале способствует хорошей абразивной стойкости. Повышение содержания легирующих элементов (при неизменном количестве углерода) в принципе не изменяет эксплуатационные свойства, но улучшает их. Например, материал с высоким содержанием углерода прежде всего обладает хорошей стойкостью к абразивному износу» [38]. Дополнительное легирование позволяет сохранить это свойство при высоких темпера-

турах. С другой стороны дополнительное легирование увеличивает стоимость наплавочных материалов.

Сплавы на основе никеля и кобальта противостоят большинству видов износа, сохраняя эксплуатационные свойства при высоких температурах (основное их достоинство). Однако они весьма дороги и использование их оправдывается только в тех случаях, когда им нет удовлетворительной замены.

При выборе наплавляемого металла необходимо учитывать следующее:

а) большинство высокоуглеродистых материалов после наплавки создают сеть трещин. Дефектом это не является. Наоборот, это явление положительное, потому что снимает напряжение на границе наплавленного металла и металла основы, предупреждая растрескивание последнего. Если известно, что поверхность с сеткой трещин будет подвергаться при эксплуатации тяжелым ударам, рекомендуется предварительная наплавка на металл основы пластичного буферного слоя.

б) многие износостойкие сплавы обладают значительной твердостью (свыше 50 единиц по Роквеллу) и могут быть обработаны только шлифованием.

В настоящее время на рынке представлен большой выбор наплавочных материалов, учитывая, что шнек экструдера работает в условиях трения и скольжения, проанализируем наплавочные материалы, которые смогут отвечать данным условиям работы и которые подходят для наплавки W-электродом в среде аргона

## 2.1 Анализ наплавочных материалов

Проанализируем наплавочные материалы применительно к стали шнека экструдера (20X) при сварке W-электродом с присадкой в Ar.

**Сплавы Стеллит / Stellite** – это сплавы на основе кобальта. Сплавы Стеллит наиболее известные и широко применяемые сплавы с самыми «универсальными» свойствами. Они сохраняют отличную механическую износостойкость при высоких температурах, обладают очень высокой коррозионной стойкостью. В большинстве случаев сплавы Stellite состоят из кобальтовой основы с добавлением легирующих элементов Cr (хром), C (углерод), W(вольфрам) или

Мо(молибден). Сплавы обладают отличной сопротивляемостью кавитации, коррозии, эрозии, абразивному износу и истиранию. Низкоуглеродистые сплавы, как правило, рекомендуются для применения в условиях кавитации, износа от трения скольжения или умеренного истирания. Сплавы с большим содержанием углерода, как правило, выбираются для применения в условиях абразивного износа, сильного истирания или эрозии.

Сплав Stellite 6 - наиболее известный сплав, обеспечивающий хорошо сбалансированное сочетание всех этих свойств. Сплавы Stellite 6 сохраняют свои свойства при высоких температурах, а также различаются отличной коррозионной стойкостью. Сплавы Stellite 6 позволяют добиться исключительного качества обработанной поверхности с низким коэффициентом трения, обеспечивающим небольшой износ от трения при скольжении.

Таблица 3 - Химический состав Stellite 6 и ст 20X %

	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Co	Fe	P	S
пруток	1,2	1,1	1,0	28	3,0	4,5	58,2	3,0	до 0,035	До 0,035
шнек	0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,5- 0,8	0,7- 1,0	до 0,3				до 0,035	До 0,035

Известно, что химический состав материала шнека экструдера и присадочного прутка должны соответствовать друг другу. Сравнение химического состава материала шнека из ст. 20X и присадочного прутка Stellite 6 хорошо совпадают по составу, что следует из сравнительной таблицы 3.

В работе А.В. Мاستрюкова [1] изучен характер влияния химических элементов на увеличение твердости наплавленного металла (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние химических элементов на свойства наплавки [1]

Характер влияния	C	Mn	Si	Ni	Cr	W	V	Co	Mo	
Твердость	+	+			+	+	+		+	
Сопротивление износу		+			+	+	+		+	

+ - способность увеличивать соответствующие свойства

Химические элементы, входящие в состав прутка Stellite 6 Mn (марганец), Ni (никель), Cr (хром), W(вольфрам), Co(кобальт) способствуют повышению твердости и сопротивлению истиранию. Испытания показали, что твердость чистого наплавленного металла составляет 42 - 46 HRC, мягкий отжиг при 780°C дает твердость примерно 230 HB, закалка в масле при T=1030°C примерно - 48 HRC, отпуск при 600°C – твердость около 45 HRC. 1-й слой наплавки на углеродистой стали - около 35 HRC.

**Присадочные прутки из проволоки UTP A 73G 3**, благодаря большой твердости, прочности и жаростойкости отлично подходят для наплавки шнеков подверженных интенсивному сжатию, трению, динамическим нагрузкам при высоких температурах. Также присадочный материал UTP A 73G 3 применяется при наплавке обрзных матриц, пуансонов, сегментов, новых инструментов, для холодной и горячей резки металла на основе углеродистых сталей.

Сравнение химического состава ст.20X и присадочного прутка из проволоки UTP A 73G 3 приведено в таблице 5.

Таблица 5- Химический состав прутка из проволоки UTP A 73G 3 и ст. 20X %

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti		P	S
пруток	0,25	0,5	0,70	5,0		4,0	6,0		до 0,035	До 0,035
шнек	0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,5- 0,8	0,7- 1,0	до 0,3				до 0,035	До 0,035

Из таблицы 5 следует, что химический состав ст. 20Х и присадочного прутка совпадают по набору химических элементов. Для повышения твердости наплавленного металла при восстановлении шнека в прутке присутствуют такие элементы, как Mn(марганец), Cr(хром), Ni(никель), Mo(молибден), Ti(титан).

Таблица 6 - Химический состав наплавленного металла, %

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti
0,25	0,50	0,70	5,00	4,00	6,00

Эксперименты по наплавке W<sup>-</sup> - 20X<sup>+</sup> в Ag с присадочным прутком УТР А 73G 3 проведена на углеродистой стали.

Наплавка производилась следующим образом:

Наплавляемую поверхность зачищаем до металлического блеска. Трещины на поверхности должны быть полностью удалены вышлифовкой, фрезерованием или электродуговой строжкой. Предварительный подогрев - до 400°С и поддерживать эту температуру в течение всего времени наплавки. При необходимости отпуск при 550°С.

Хром в количестве 28% в составе прутка повышает твердость наплавки. Однако это требует специальной схемы термообработки. На рисунке 9 приведена схема термической обработки.

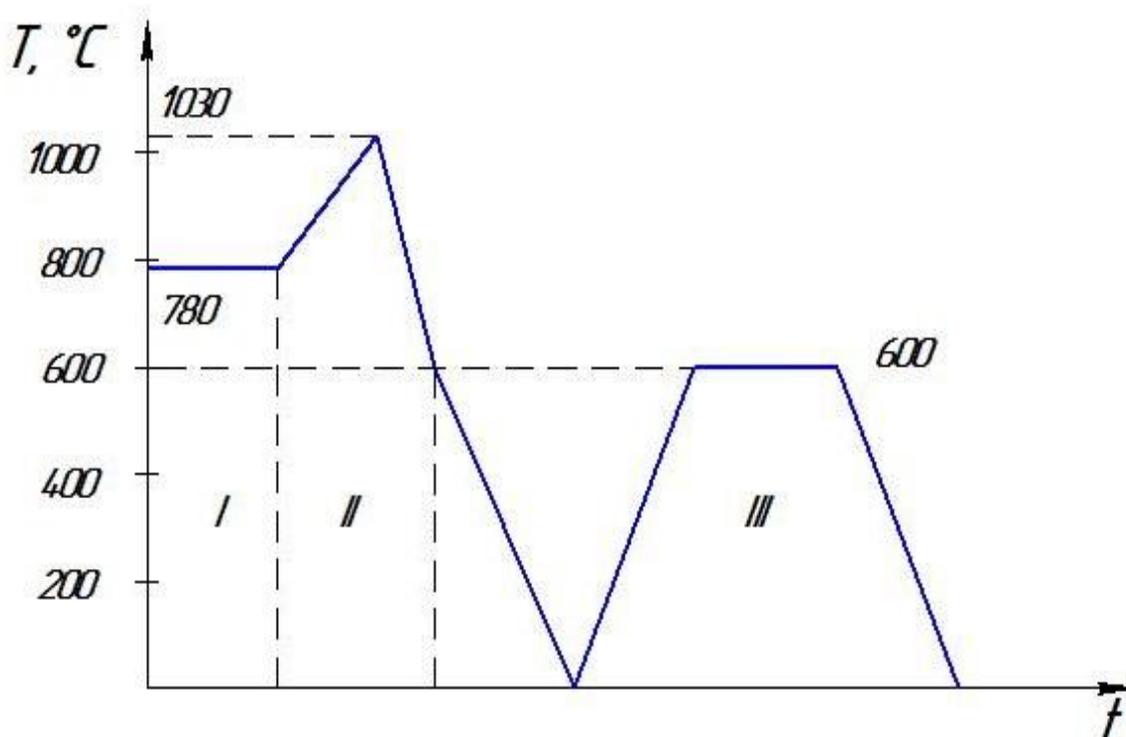


Рисунок 9 - Схема термической обработки при наплавке W - 20X<sup>+</sup> в Ar прутками Stellite 6: I-мягкий режим, II- отжиг, III-отпуск

**Пруток Castolin Ultra Max 111** с карбидами вольфрама в вязкой Fe-матрице и предназначен для наплавки при абразивном износе. Пруток обладает отличной стойкостью наплавленного металла к абразивному износу и эрозии уже в первом слое. Многослойные покрытия чувствительны к удару.

Прутки рекомендуют для конструкционных деталей, подвергающихся абразивному воздействию минеральных веществ (цемент, уголь и химикалии), такие как кольцевые и роликовые буровые коронки, долота буров, транспортирующие шнеки и др.

**Пруток Castolin E7620** с высоким содержанием карбида вольфрама в металлической оболочке предназначен для наплавки абразивно нагруженных деталей, таких как зубья роторных экскаваторов, лопасти смесителей для производства силикатного кирпича и керамики, транспортирующие шнеки, а также скребки мешалок.

Наплавленный металл коррозионостойкий, обладает высоким сопротивлением к абразивному износу и эрозии. Наплавляется без смешивания с основным металлом. Покрытие толщиной до 10 мм обеспечивает наилучшую защиту от износа.

**Пруток CastoTig 45301 W** для TIG-сварки содержащий карбиды в аустенитной структуре. Наплавленный металл имеет стойкость к отпуску и жаростойкость до 500°C, отличную износостойкость против усталости и адгезионного износа. Возможность изменения механических характеристик с помощью термообработки. Обрабатывается резанием только в мягко отожженном состоянии. Используется для ремонта инструмента выполненного из близкого по химическому составу материала, а также для изготовления термостойкого инструмента из углеродистых и низколегированных сталей.

**Пруток CastoTig 45303** для TIG сварки на основе быстрорежущей стали с повышенной вязкостью. Наплавленный слой обладает мартенситную структуру с карбидами и остаточным аустенитом. Не склонен к образованию трещин. Не плохая термостойкость к отпуску, высокая окалиностойкость, может подвергаться термообработке. Как правило используются для восстановлении инструмента, вырубных штампов, при ремонте инструментов и транспортирующих шнеков[18].

Таким образом, для восстановления шнека экструдера из ст.20X выбираем омедненные прутки марки UTP A73G3 диаметром 2,4мм, длиной 1000мм. Прутки марки UTP A73G3, благодаря высокой твердости, прочности, и жаростойкости не плохо подходит для наплавки деталей подверженных интенсивному трению, сжатию, умеренным динамическим нагрузкам при высоких температурах.

## 2.2 Определение (расчет) параметров режима наплавки

Исходные данные.

1. Конструкция шнека экструдера выполнена из ст.20X. Изучая опыт работы шнеков экструдера на различных предприятиях установили, что ресурс ра-

боты их составляет 480-640 часов ( 3-4 месяца). Внешний вид изношенного шнека показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Шнек экструдера после 3-х месяцев работы

2. Для наплавки шнека выбран пруток  $d_{пр} = 2,4$  мм. Износ шнека приводит к изменению геометрических размеров шнека. Опыт эксплуатации шнека в нашем случае показал, что высота износа  $h = 3$  мм (рис. 11).

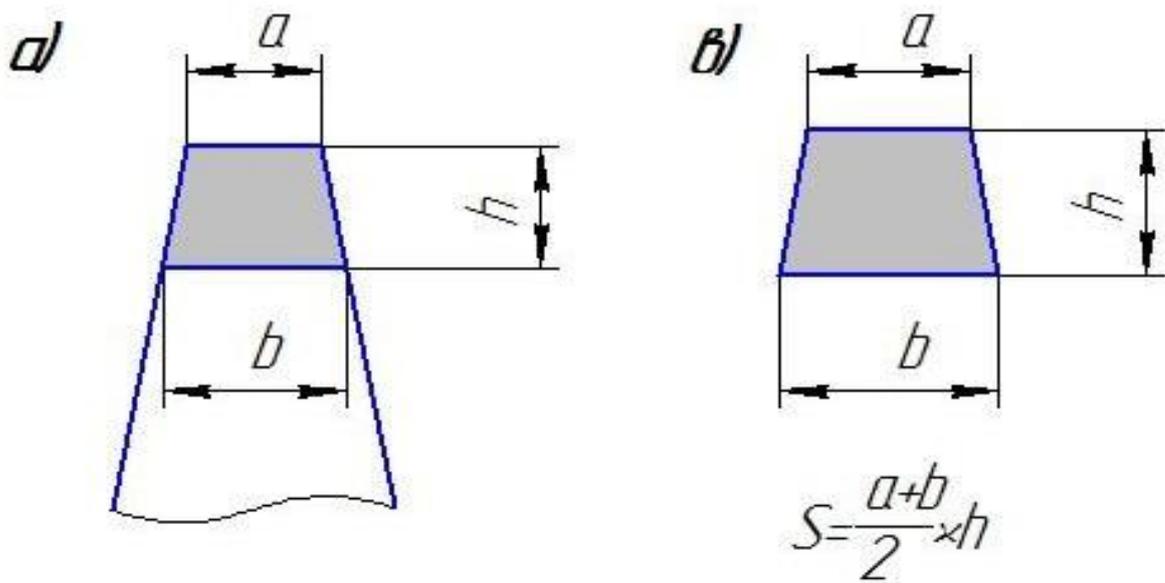
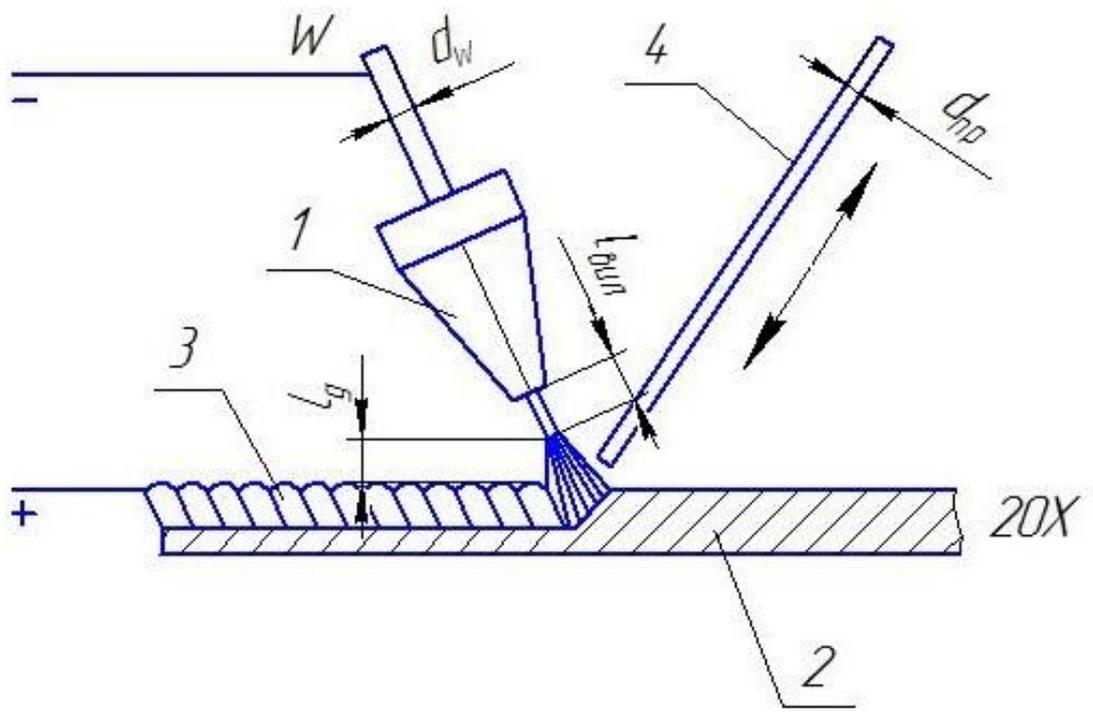


Рисунок 11 – К расчету площади сечения износа

Площадь сечения износа определяем как площадь трапеции с параметрами,  $a = 3\text{мм}$ ,  $b = 6\text{мм}$ ,  $h = 3\text{мм}$ , тогда площадь сечения износа составит  $13,6\text{ мм}^2$ . Для проволоки  $d_{\text{пр}} = 2,4\text{ мм}$  высота одного слоя при наплавке составит примерно  $1,8\text{ мм}$ . С учетом механической обработки шнека после наплавки количество слоев принимаем равным 3. Высота наплавленного слоя составит  $5,4\text{мм}$ .

1. Способ сварки W – 20X в Ag с присадкой, полярность прямая. Схема наплавки приведена на рис. 12.



1- сварочная горелка; 2 - свариваемое изделие; 3 - металл сварного шва;  
4 - присадочный пруток

Рисунок - 12 Схема наплавки неплавящимся электродом с присадочным прутом

Известно, что статическая вольтамперная характеристика нелинейная (рис.13). Напряжение дуги при увеличении длины дуги от 1 до 10 мм изменяется от 8 до 18 В.

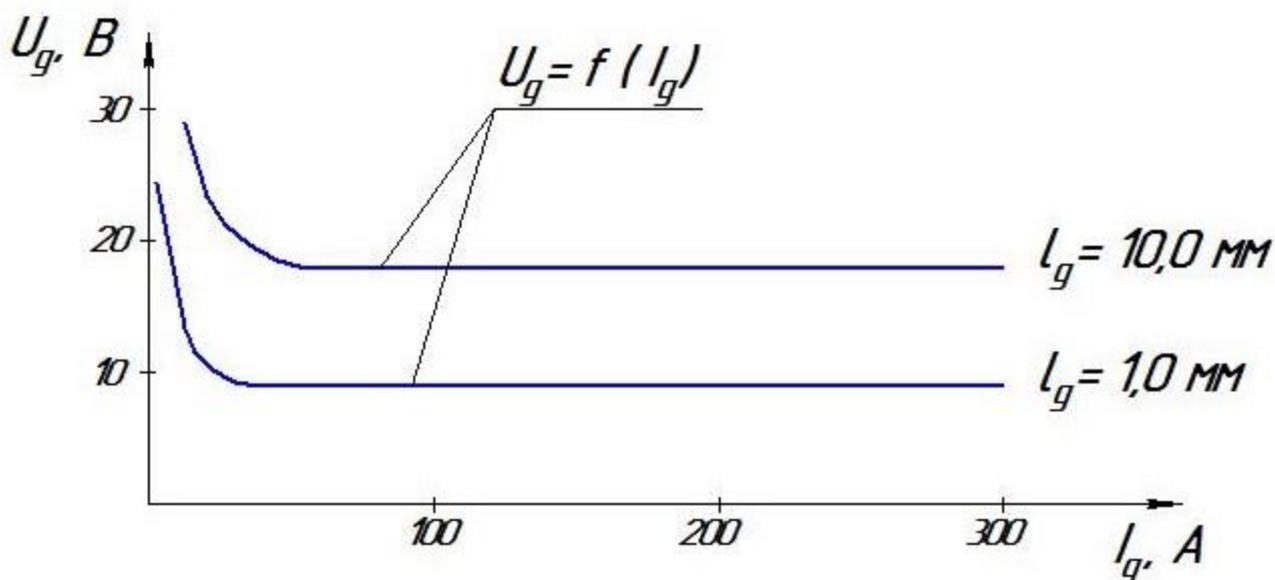


Рисунок 13 – Статическая характеристика дуги W<sup>-</sup> 20X<sup>+</sup> в аргоне

Учитывая тот факт, что наплавка ведется с присадочным прутком  $d_{пр} = 2,4$  мм, длину дугового промежутка  $l_d$  необходимо поддерживать равным  $l_d \approx d_{пр} + 3$  мм.

Диаметр W- электрода выбираем равным 2-3мм. Допустимая плотность тока при сварке на прямой полярности  $d_w = 3$  мм составляет (12- 19,2) А/мм<sup>2</sup>, то ток для выбранного диаметра электрода может изменяться в диапазоне от 84 до 135А. При необходимости установить меньшее значение тока надо перейти на меньший диаметр электрода. Допустимая плотность тока при сварке на прямой полярности  $d_w = 2$  мм составляет (19-23) А/мм<sup>2</sup>, тогда ток дуги рекомендуется от 68 А [9].

Результаты определения ориентировочных параметров режима наплавки шнека с прутком сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Рекомендации по выбору параметров режима наплавки

Пруток	h, мм	$d_w$ , мм	$I_d$ , А	$u_d$ , В	$V_{напл}$ , м/ч	Q л/ч	$d_{пр}$ , мм
УТР А73G3	4	3	60-80	10-12	3-5	8-10	2,4

Таким образом, для наплавки шнека из стали 20Х выбран пруток УТР А 73Г 3  $d_{пр} = 2,4\text{мм}$ , определена предварительно схема термообработки и ориентировочные параметры режимы наплавки, что позволит выбрать необходимое сварочное оборудование для технологического процесса восстановления шнека экструдера.

### 3. Проектирование участка для восстановления шнека экструдера

Восстановление шнека экструдера предполагается вести на постоянном токе неплавящимся электродом с присадкой в защитной среде аргона. На рис. 13 приведена статическая вольтамперная характеристика дуги при изменении длины дуги от 1 до 10 мм. Восстановление шнека экструдера ведется ручной дуговой сваркой  $W^- - 20X^+$  в аргоне. Это означает, что колебания длины дуги  $\Delta l_d$  приведут к изменению величины тока дуги  $\Delta I_d$ . Известно, что эти два параметра связаны между собой. Если длина дуги  $l_d$  увеличилась на  $\Delta l$ , тогда возрастет напряжение на дуге на величину  $\Delta U_d$  (рис.13<sup>1</sup>).

$$\Delta U_d = \Delta U_{dl} + \Delta U_{di} , \quad (1)$$

где  $\Delta U_{dl}$  отклонение напряжения дуги, связанное с ростом длины дуги,  
 $\Delta U_{di}$  отклонение напряжения, связанное с источником питания.

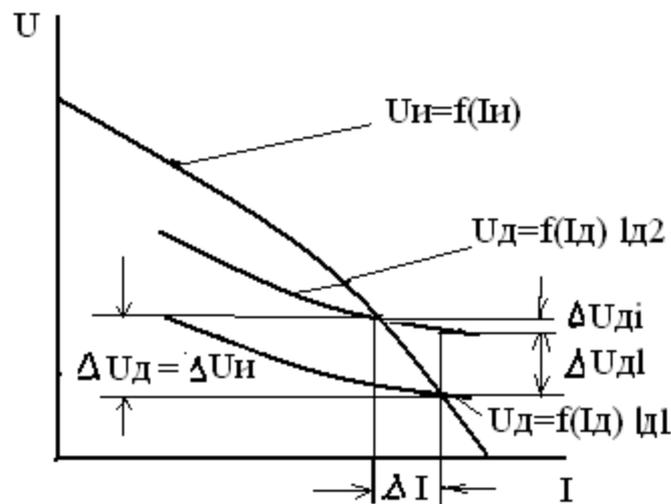


Рисунок 13 – Система источник питания – дуга при возмущении по  $\Delta l$

Известно, что в состоянии устойчивого равновесия системы «И-Д»  $\Delta U_d = \Delta U_n$ , тогда уравнение 1 можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial U_n}{\partial I_n} \cdot \Delta I = \frac{\partial U_n}{\partial l} \cdot \Delta l + \frac{\partial U_d}{\partial I_d} \cdot \Delta I . \quad (2)$$

Перенесем левую часть уравнения  $\frac{\partial U_n}{\partial I_n} \cdot \Delta I$  в правую, а отклонения связанные с длиной дуги  $\frac{\partial U_n}{\partial l} \cdot \Delta l$  - в левую часть уравнения.

$$-\partial U_{и} / \partial I \cdot \Delta I = \partial U_{д} / \partial I_{д} \cdot \Delta I - \partial U_{и} / \partial I_{и} \cdot \Delta I. \quad (3)$$

Преобразуем уравнение 3, введя  $K_y = \partial U_{д} / \partial I_{д} - \partial U_{и} / \partial I_{и}$ , тогда уравнение 10 примет следующий вид.  $K_y$  - коэффициент устойчивости системы «И-Д».

$$-\partial U_{и} / \partial I \cdot \Delta I = \Delta I (\partial U_{д} / \partial I_{д} - \partial U_{и} / \partial I_{и}),$$

$$-\partial U_{и} / \partial I \cdot \Delta I = \Delta I K_y \quad (4)$$

Из уравнения 4 следует, что отклонение по длине дуги и отклонение по току имеют противоположные знаки, при этом величина отклонения по току при изменении длины дуги зависит от  $K_y$ . Это означает, что  $\Delta I$  при изменении длины дуги зависит от формы внешней ВАХ. Отсюда следует, что необходимо для наплавки выбирать крутопадающую вольтамперную характеристику источника питания [11,14].

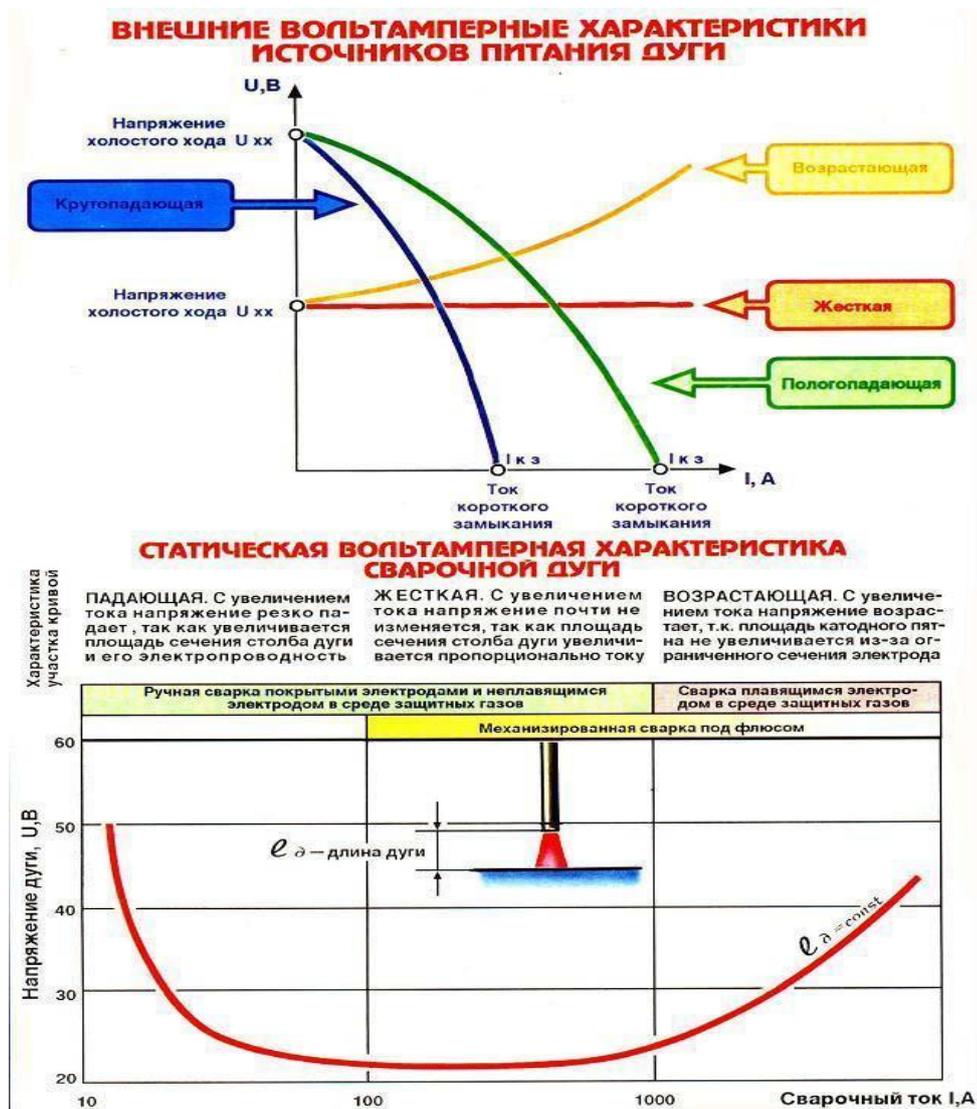


Рисунок 14 - Внешние вольтамперные характеристики источников питания дуги

### 3.1 Выбор оборудования для наплавки шнека экструдера

В настоящее время производители сварочного оборудования выпускают широкий ассортимент сварочных выпрямителей и инверторов с падающими и ломаными ВАХ, которые рекомендуется применять для сварки неплавящимся электродом. Рассмотрим технические данные наиболее экономичных источников питания постоянного тока с падающими внешними ВАХ.

**Аппарат аргодуговой сварки Stel TIG  $\mu$ P 273H** обеспечивает максимальную энергоэффективность по сравнению с известными сварочными аппаратами (рис.15). Серия сварочных инверторов Stel TIG  $\mu$ P отличается портативностью. Аппарат работает как на переменном, так и постоянном токе, в непрерывном и импульсном режимах. Кратность регулирования тока достигает 50, ВАХ- падающая (табл. 7).



Рисунок 15 - Аппарат аргодуговой сварки Stel TIG  $\mu$ P 273H

Таблица 8 - Технические данные аппарата Stel TIG  $\mu$ P 273H

Технические данные	
Напряжение питания	380/415 В
Фазы	3
Частота	50/60 Гц
<i>Действующий ток (30%)</i>	8,2 А

Продолжение таблицы 8

Технические данные	
Действующая мощность (30%)	5,2 кВА
Коэффициент мощности	0,8
Напряжение холостого хода	70 В
Диапазон тока	4-230 А
Ток сварки при ПВ 40% (25°C)	230 А
Ток сварки при ПВ 100% (25°C)	200 А
Ток сварки при ПВ 30% (40°C)	230 А
Ток сварки при ПВ 60% (40°C)	190 А
Ток сварки при ПВ 100% (40°C)	175 А
Характеристики	
Кабель массы, кабель электрододержателя	50 мм <sup>2</sup>
Степень защиты	IP 23
Класс изоляции	Н
Рабочая температура	40°C
Длина/Ширина/Высота (мм)	500x185x400
Коэффициент мощности	22 кг

Данные получены при температуре 40 °С

**Аппарат для сварки TIG Kemppi MinarcTig Evo 200MLP** обеспечивает зажигание, управление параметрами в заданных пределах и отлично подходит для сварки TIG на постоянном токе в промышленном производстве.

Напряжение сети:	220 В (187-253)
Ток в режиме TIG:	10 - 200 А
Ток в режиме MMA:	10 - 170 А
Диаметр электродов (min - max):	1,5-4 мм

Рисунок 16 – Аппарат для сварки Kemppi MinarcTig Evo

Малый вес и компактность являются большим преимуществом аппарата. Аппарат для сварки TIG фирмы Kemppi MINARCTIG EVO 200MLP - сочетает полезные эксплуатационные преимущества, включая высокую энергоэффективность и способность обеспечивать широкий диапазон регулирования тока  $K=20$  при использовании кабелей длиной более 100 метров. Модели MinarcTig Evo имеют такие функции, как регулировка подачи газа до и после сварки, регулировка времени нарастания тока и уменьшения сварочного тока, при заварке кратера. В источнике питания есть функция Minilog, которая предназначена для управления током дуги нажатием выключателя на горелке.

MinarcTig Evo – это аппарат, работающий в двух режимах и обеспечивающий высокое качество сварки MMA на постоянном токе при использовании электродов различного типа. Характеристики Kemppi MINARCTIG EVO 200MLP приведены в таблице 9.

Таблица 9 -Технические данные источника питания MINARCTIG EVO 200MLP

Напряжение сети:	220 В (187-253)
Ток в режиме TIG:	10 - 200 А
Ток в режиме MMA:	10 - 170 А
Диаметр электродов (min - max):	1,5-4 мм
Сварочное напряжение:	15,6-26,8 В
Мощность при максимальной нагрузке	5.70 кВт

**Сварочный инвертор BRIMA TIG-200P AC/DC** предназначен для аргоно-дуговой сварки нержавеющей, легированной, углеродистой стали и цветных металлов в режиме постоянного тока, Разработка и использование в установках улучшенной инверторной технологии обеспечивает работу оборудования при частоте 100 КГц, а это, в свою очередь, позволяет уменьшить объем и вес основных деталей (трансформаторов) инвертора. Использование технологии PWM (Импульсная Модуляция Расстояния) обеспечивает стабильность горения дуги и широкий диапазон регулирования тока (табл.9).



Рисунок 17 – Инвертор TIG-200P AC/DC фирмы BRIMA

Малые габариты и вес, низкий уровень шума - большое достоинство инвертора.

Таблица 10 - Технические характеристики инвертора BRIMA TIG-200P AC/DC

Масса	кг	20
Напряжение	В	220
Габаритные размеры	мм	500x330x320

Мощность	кВт	4.5
Диаметр электрода max,	мм	4
Диаметр электрода min,	мм	1.6
Сварочный ток max,	А	200
Сварочный ток min,	А	10
Режим	TIG Pulse	
Тип тока	AC/DC	

**Инвертор GROVERS WSME-200 AC/DC PULSE** - самый популярный аппарат для аргонодуговой сварки при питании от сети 220В (рис.7). Инвертор работает на постоянном токе, обладает широким диапазоном регулирования тока  $K=20$ , малым потреблением энергии из сети, высоким напряжением холостого хода (67В), что обеспечивает крутопадающую ВАХ. От колебаний напряжения сети не зависит. Технические данные инвертора приведены в таблице 10.



Рисунок 18- Инвертор GROVERS WSME-200

Таблица 11- Характеристики инвертора GROVERS WSME 200 P AC/DC

Напряжение сети	В	220
Ток в режиме TIG	А	10-200
Ток в режиме MMA	А	10-200
Напряжение холост хода	В	67
Длина горелки	М	4
TIG ток при ПВ 60%	А	200
Потребляем.мощность:	кВА	5,20

Габаритные размеры	мм	470x240x380
Вес	кг	20
Потребляемый ток	А	29
Длина кабеля	М	3
ПВ	%	60
Частота сети	Гц	50/60

**Инвертор Форсаж-201АД** предназначен для аргодуговой сварки постоянным током деталей из титана, нержавеющей стали и медных сплавов (режим «TIG») и ручной сварки (режим «ММА») (рис.8). Инвертор обладает высоким напряжением Х,Х, (80В) и ломанными ВАХ. Кратность регулирования тока дуги составляет 13,5.



Рисунок 19 - Форсаж-201АД

Форсаж - 201АД - это новое поколение однофазных сварочных аппаратов для аргодуговой сварки постоянным током.

Таблица 12 - Технические характеристики инвертора Форсаж-201АД

Напряжение сети	В	220
Ток дуги в режиме TIG	А	15-200
Ток в режиме ММА	А	15-200
Диаметр электродов	мм	1.6-5
Напряжение холост. хода	В	80
Тип охлаждения		Воздушное

TIG ток при ПВ 100%	А	140
Класс защиты	IP	22
Потребляемая мощность	кВА	10
Габаритные размеры	мм	352x198x193
Вес	кг	6.70
TIG ток при ПВ 80%	А	160
TIG ток при ПВ 40%	А	200

Проведя анализ источников питания, и сравнив основные параметры и характеристики, выбор остановим на инверторе GROVERS WSME-200 AC/DC PULSE в комплекте с горелкой для РАД, так как он обладает крутопадающей ВАХ, что позволит убрать возмущения по длине дуги. Широкий диапазон регулирования тока ( $K=20$ ) дает возможность варьировать током дуги. Малая потребляемая мощность (5,2 кВА) дает возможность экономить затраты на электроэнергию[14].

### 3.2. Сварочный участок для восстановления шнека

Организация сварочного участка и стационарного сварочного поста, а также все работы, связанные с его обустройством, производятся в соответствии с требованиями охраны труда и безопасности жизнедеятельности. При проектировании подобных постов, осуществляющих выполнение технологического процесса, руководствуемся ГОСТ 12.3.003-86, который устанавливает требования к производственным помещениям и размещению сварочного оборудования, транспортировке материалов, а также требования к персоналу и применению СИЗ.

Выбрав источник питания, защитную среду (аргон в баллонах) и печь нагрева, определимся с их габаритными размерами, что позволит перейти к проектированию участка на два сварочных поста.

Сварочный пост представляет собой кабину для сварщика, оснащенный всем необходимым оборудованием, аксессуарами и приспособлениями, необходимыми для бесперебойного выполнения работ по наплавке. Стационарный пост

представляет собой кабину с открытым верхом. В таких кабинах сваривают детали малых и средних размеров. Кабина обычно выполняется из негорючих материалов. Пол должен быть бетонным (или стяжка). Вход/выход закрывают брезентовым полотном. Площадь поста не менее 3 м<sup>2</sup>, высота стен кабины (1,8 – 2)м, высота потолка помещения, в котором устанавливается кабина более 2 м для свободной циркуляции воздуха. Стенд для работы в сидячем положении должен быть высотой 50-60см. На стенде предусмотрены клеммы для крепления «массы». Над столом обязательно наличие специальной вытяжки. Обмен воздуха в помещении должен быть не менее 40 м<sup>3</sup>/час согласно нормативной документации. Все оборудование заземляют [21]. При организации стационарного поста для восстановления шнека экструдера предусмотрен сварочный инвертор GROVERS WSME-200 AC/DC PULSE - аппарат для аргонодуговой сварки при питании от сети 220В, сборочно-сварочный стенд, электропечь для нагрева типа НОВЭЛ ЭПСЭ-10-400. Печь для нагрева оборудуется терморегулятором, который регулирует температуру в печи нагрева в диапазоне от 100 до 400 градусов. Для хранения баллонов с аргоном предусмотрен металлический шкаф[5]. Сварочный участок предполагает установку двух стационарных постов (рис.20).

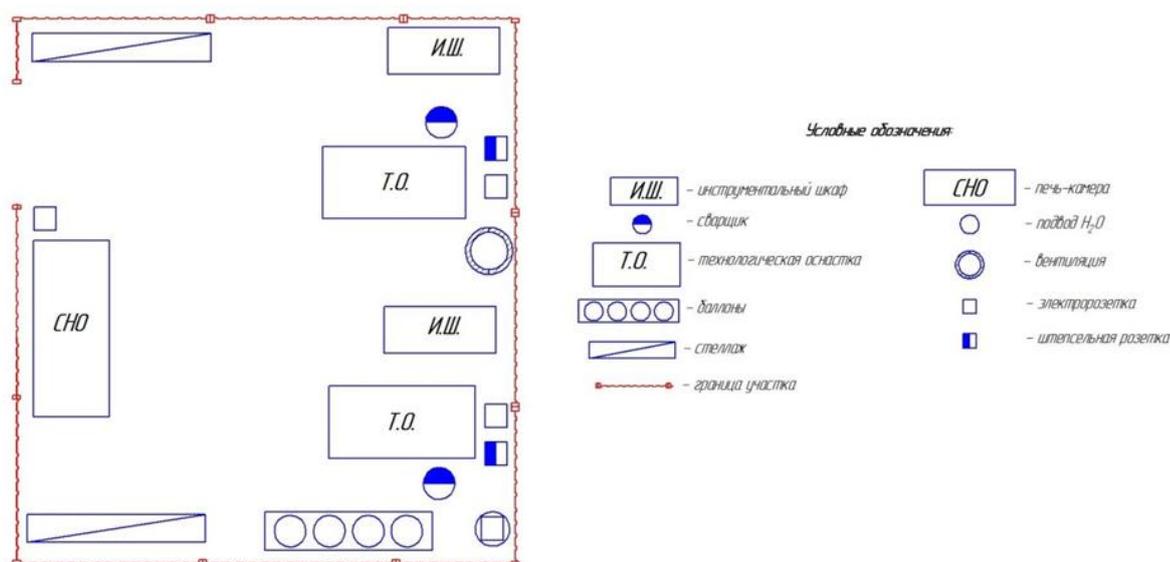


Рисунок 20 – Сварочный участок для восстановления шнека экструдера  
Сварочный участок спроектирован исходя из программы по восстановлению шнека экструдера .

Сварочный пост и выбранный комплект оборудования позволяют провести исследовательские работы по определению параметров режима восстановления шнека экструдера.

#### 4. Металлографические исследования структуры наплавки

«Металлографический анализ - это изучение микроструктуры металлов и сплавов, а также их макроструктуры в условиях металлографической лаборатории при помощи специального оборудования, приспособлений и по специализированным методикам. Основным инструментом исследования металла является металлографический микроскоп. В настоящее время существует большой выбор специализированных металлографических микроскопов. Кроме того, получили широкое распространение полуавтоматические системы металлографического анализа изображений, включающие в себя цифровую камеру и программное обеспечение» [24]. Металлографический анализ - это непосредственное изучение шлифа. Данный процесс ведется по двум направлениям - микроскопическое изучение структуры металла и измерение твердости.

##### 4.1 Разработка методики исследования

Для оценки сопротивляемости износу наплавленных слоев разработана единая методика исследования наплавленного металла.

Объект исследования – восстановленный шнек экструдера из ст.20Х толщиной  $t = 65\text{мм}$  путем наплавки (рис.21).

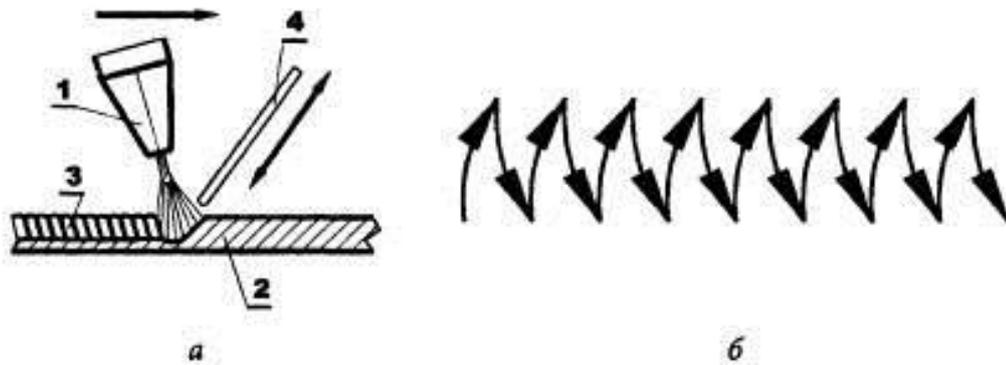


Рисунок 21 - Восстановленный шнек экструдера

Способ наплавки – дуга неплавящимся электродом типа WL-20 диаметром 3мм с наплавочными прутками марки УТР А73G3 диаметром 1,6мм на постоянном токе прямой полярности (минус на вольфрамовом электроде, плюс на изделии) в смеси защитных газов (рис. 12).

Исследуются три состава компонентов газовой смеси: 100%Ar; 98%Ar + 2%CO<sub>2</sub> и 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>.

Ориентировочные параметры режима, обеспечивающие получение заданной геометрии наплавленной поверхности шнека: ток дуги в пределах 60-80 А, напряжения 10-12 В, скорость наплавки 5 м/ч с применением поперечных колебаний горелки с вольфрамовым электродом. Для изменения скорости охлаждения горелки использовано принудительное охлаждение водой и поперечные колебания электрода.



1- сварочная горелка; 2 – свариваемое изделие; 3 – металл сварного шва; 4 – присадочный пруток

Рисунок 21 - Схема аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом (а) и схема движения электрода (б)

Оборудование для наплавки: установка фирмы GROWERS, источник питания постоянного тока, горелка для сварки неплавящимся электродом с принудительным охлаждением водой.

Оборудование для замера твердости (HRC) на поверхности и в поперечном сечении наплавки: универсальный прибор WilsonWolpert 930N (рис.22).



Рисунок - 22 Универсальный твердомер WilsonWolpert 930N

Вдавливание конуса выполняли при нагрузке 1500 Н.

Оборудование для исследования микроструктуры наплавленного металла и состава фаз: оптический микроскоп Leica DM1LM с программой обработки изображения Quip (рис.23).



Рисунок - 23 Микроскоп оптический Leica DM1LM

#### 4.2 Подготовка шлифов для металлографического исследования

Для исследования микроструктуры изготавливается шлиф. Шлиф изготавливают в нескольких сечениях шнека с размерами, которые рекомендованы. При вырезке образца необходимо исключить изменение твердости и структуры исследуемой поверхности вследствие нагрева при абразивной (электроэрозионной) резке.

Определение микроструктур проводится в соответствии с ГОСТ 8233. Размеры иглы мартенсита определяются при увеличении X 1000 согласно ГОСТ 8233. Для выявления наличия металлургических дефектов (пор, трещин и т.д) по ГОСТ 21014 и неметаллических включений по ГОСТ 1778 полированную поверхность шлифа просматривают под микроскопом в нетравленном состоянии. Далее производится травление образца для исследований структуры и заливка его в специальную оболочку. В соответствии требованиям НД на материал вели-

чины зерна аустенита определяется при увеличении X 500 согласно ГОСТ 5639. Наличие мелкого зерна свидетельствует о недогреве стали при закалке, крупное зерно и скопление карбидов по границам зерен – о перегреве и повышенной хрупкости стали.

Возможные дефекты микроструктуры при исследовании шнека из инструментальной легированной стали : наличие недоотпущенной структуры , ликвационных участков в виде скоплений карбидной фазы , отдельных крупных угловатых или скелетообразных карбидов.

Для определения, какая из причин вызвала снижение твердости, выполняют дополнительный отпуск при температуре стали 560°C. Повышение твердости служит признаком недостаточного отпуска. Понижение твердости или сохранение ее на прежнем уровне указывает на неправильное выполнение закалки (отклонение от режимов нагрева или выдержки) или на излишне высокий нагрев при предшествовавшем отпуске (т.е отклонение от технологии термообработки). Исправляется отклонение от технологии термообработки нормализацией или отжигом шнека экструдера с последующей нормальной закалкой и отпуском [22].

В результате металлографического исследования необходимо определить микроструктуру и твердость наплавленного слоя, что позволит оценить качество восстановленного шнека и его ресурс работы.

#### 4.3 Результаты металлографического исследования

«При наплавке шнека прутками марки УТР А73G3, которые обеспечивают формирование и рост упрочняющих фаз в процессе кристаллизации, твердость рабочего слоя по глубине наплавки не изменяется, а на поверхности наплавленного слоя составляет 50...53 HRC.

Поверхностное натяжение расплавленного металла сварочной ванны снижается при добавлении в аргон углекислого газа. Установлено, что применение сварочной смеси Ar — CO<sub>2</sub> с содержанием 20% CO<sub>2</sub> позволяет уменьшить краевые углы между поверхностью подложки и профилем наплавки до  $\phi < 90^\circ$ , но при этом повышается разбрызгивание.

Для исследуемых параметров режима наплавки определена доля участия основного металла в наплавленном слое в зависимости от состава защитного газа, скорости охлаждения, применения колебаний и изменения силы тока.

Увеличение доли участия основного металла в смеси с содержанием  $\text{CO}_2$  20% в аргоне  $\Delta 3$  больше, чем в смеси с 2%  $\text{CO}_2$  в аргоне  $\Delta 2$ . Это обусловлено увеличением жидкотекучести наплавляемого металла и изменением характеристик дуги, что приводит к выгоранию легирующих элементов и увеличению перемешивания основного металла с наплавленным. Следовательно, большее содержание углекислого газа может вызвать снижение износостойкости наплавленного покрытия» [39] (табл.13).

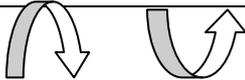
Таблица 13 – Влияние смеси защитного газа на свойства наплавленного слоя

Смесь газов	Твердость, HRC		Доля участия ст.20Х в наплавл. слое, $\Delta$
	поверхность	рабочий слой, $h=3\text{мм}$	
100% Ar	50-53	53	$\Delta 1$
98% Ar+2% $\text{CO}_2$	55	54	$\Delta 2$
80% Ar+ 20% $\text{CO}_2$	50-52	49	$\Delta 3 > \Delta 2$

«Наплавка с колебаниями также вызывает снижение доли участия основного металла, по сравнению с наплавкой, выполненной без колебаний. Это связано с уменьшением нагрева подложки за счет увеличения скорости перемеще-

ния конца электрода и как следствие, снижение мгновенного значения погонной энергии» [39].

Таблица 14 - Влияние способа охлаждения на долю участия ст.20Х в наплавленном слое,  $\Delta$

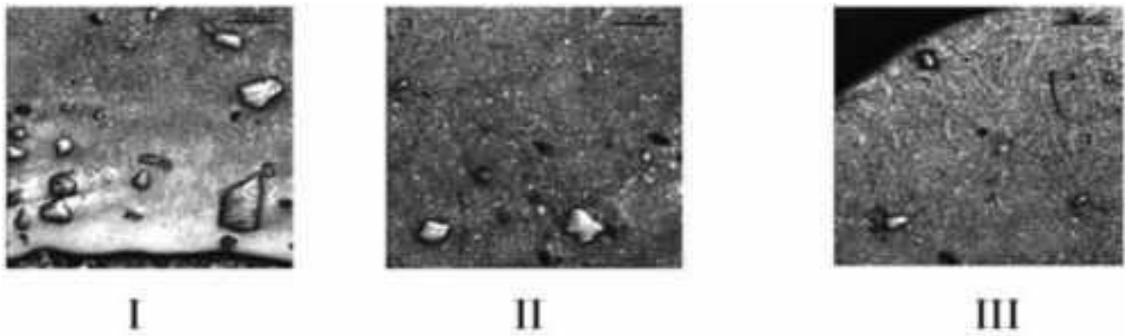
Способ охлаждения	Эскиз	Доля участия ст.20Х в наплавленном слое, $\Delta$
Колебания электрода		$\Delta_4$
Расход $H_2O$ в горелке	5-8л/час	$\Delta_5$
Воздушное охлаждение	5-8л/час	$\Delta_6$

«В наплавленном шве, выполненном согласно технологии, отмечается в матрице наличие армирующих частиц WC(вольфрам углерод). При этом у поверхности наплавленного шва частиц меньше, чем в зоне сплавления покрытия с основным металлом из-за осаждения их на дно наплавленного слоя. Такое неоднородное разделение по сечению наплавленного шва свидетельствует на изменение твердости по глубине слоя и может сказаться на стойкости покрытия к изнашиванию» [39].

На (рис.24) приведены строения покрытий по глубине валика для разнообразных систем легирования:

а) система легирования — Fe(железо)-Si(кремний)-Mn(марганец)-VC(ванадий-углерод);

б) система легирования — Fe(железо)-Si(кремний)-Mn(марганец)-Cr(хром)-Mo(молибден)-Nb(ниобий)-W(вольфрам)-B(бор)

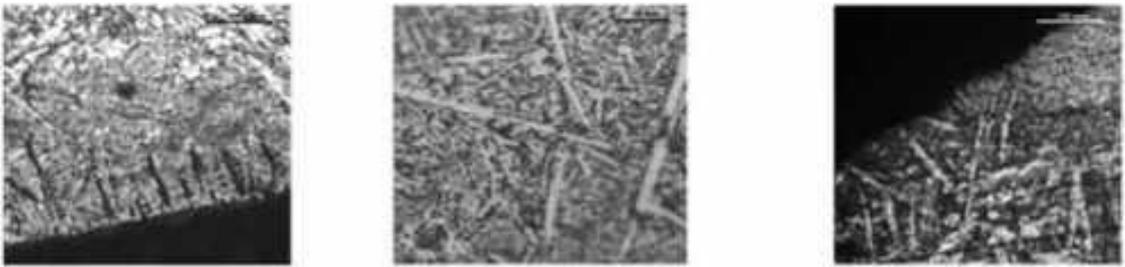


I

II

III

a



б)

I — линия сплавления; II — средняя часть валика; III — верхняя часть валика

Рисунок 24 - Структуры покрытий по глубине валика различных систем легирования

«В наплавленном шве, исполненном по разработанной технологии, обеспечивающей формировочный рост армирующих фаз в процессе кристаллизации сварочной ванны, наблюдается дендритная структура, свидетельствующая об эпитаксиальной кристаллизации в области сплавления валика с основным металлом, и образование игольчатой разноориентированной дисперсной армирующей фазы по всему сечению наплавленного сварного шва. Для определения оценки влияния армирующих фаз, сформированных в процессе кристаллизации, на механизм изнашивания был разработан и проведен анализ величины армирующей фазы по всему сечению наплавленного шва.

Допустим, что если наибольшая величина армирующих фаз наблюдается при минимальной скорости охлаждения на наплавленном шнеке, выполненном с использованием поперечных колебаний. А при увеличении скорости охлаждения происходит уменьшение величины игл карбоборидных кристаллов. Объемное содержание фазы и ее размер, в соответствии с имеющимися критериями изнашивания, наиболее благоприятны при наименьшей скорости охлаждения, это объясняется тем, что величина фазы превосходит размер абразива. Так как эти фазы являются высокотемпературными, они занимают ведущее место в формировании структуры наплавленного шва. Поэтому, состав фаз определяет их твердость и прочностные свойства, которые необходимы для обеспечения требуемой сопротивляемости к разрушению наплавленного слоя при испытаниях. После проведенного изучения и обнаруженных особенностей износа были разработаны технологические рекомендации для наплавки износостойкого покрытия при разработке технологии» [39].

Для удовлетворительных результатов, необходимых для стойкости к изнашиванию наплавленного покрытия, рекомендуется использование наплавочных материалов на железной основе с системой легирования Fe(железо)-C(углерод)-Si(кремний)-Cr(хром)-Mo(молибден)-Nb(ниобий)-W(вольфрам)-B(бор), позволяющие образовывать структуру наплавленного шва с разноориентированной игольчатой упрочняющей фазой состава Fe(железо)-C(углерод)-Cr(хром) и мелкодисперсными карбидами в матрице. Твердость по всему сечению наплавленного шва составляет не менее 55 HRC.

Изучение микроструктуры восстановленного путем наплавки шнека показало следующее.

Микроструктура наплавленного слоя – дендриды, как следует из рис.28а.

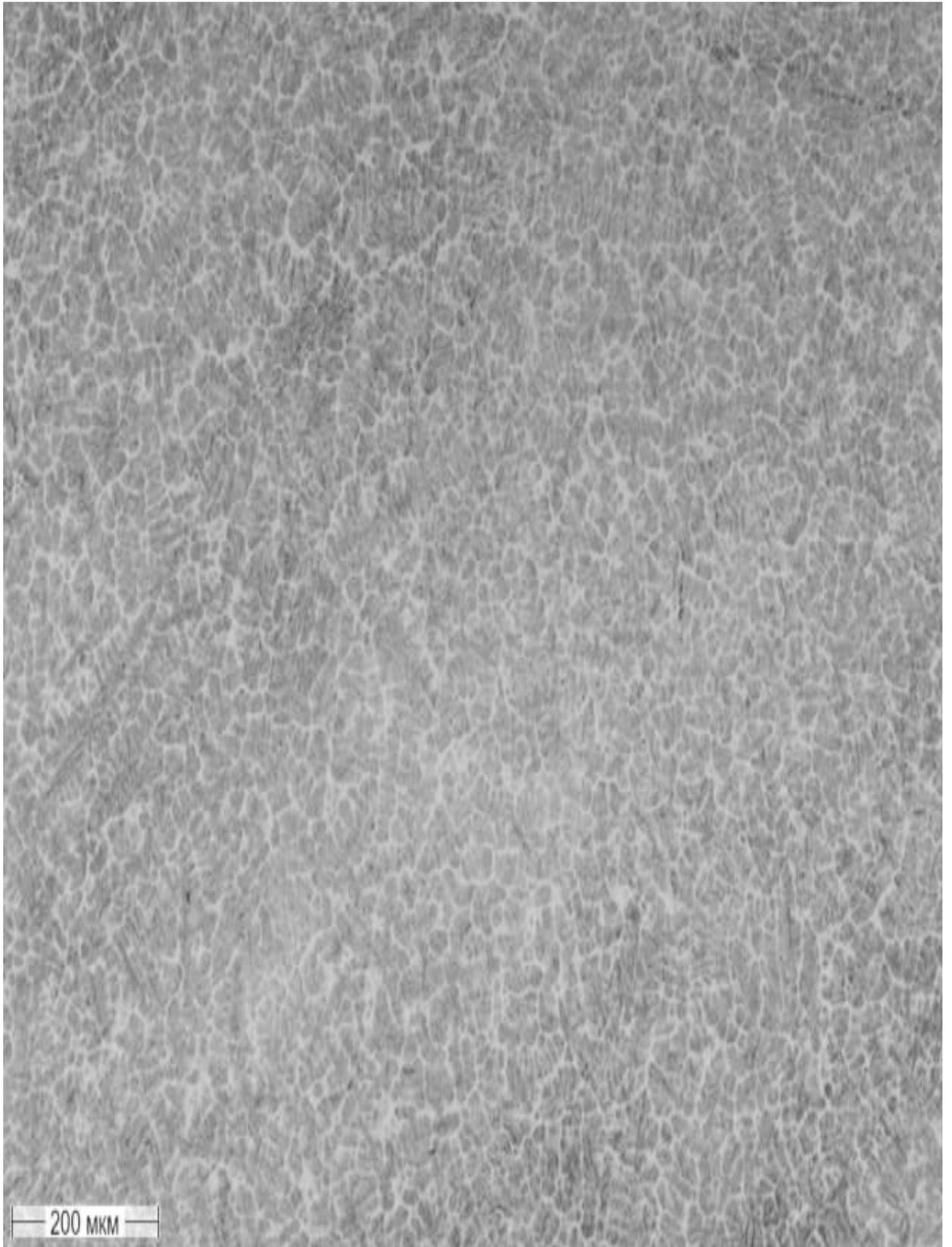


Рисунок 25 - Микроструктура наплавленного слоя шнека

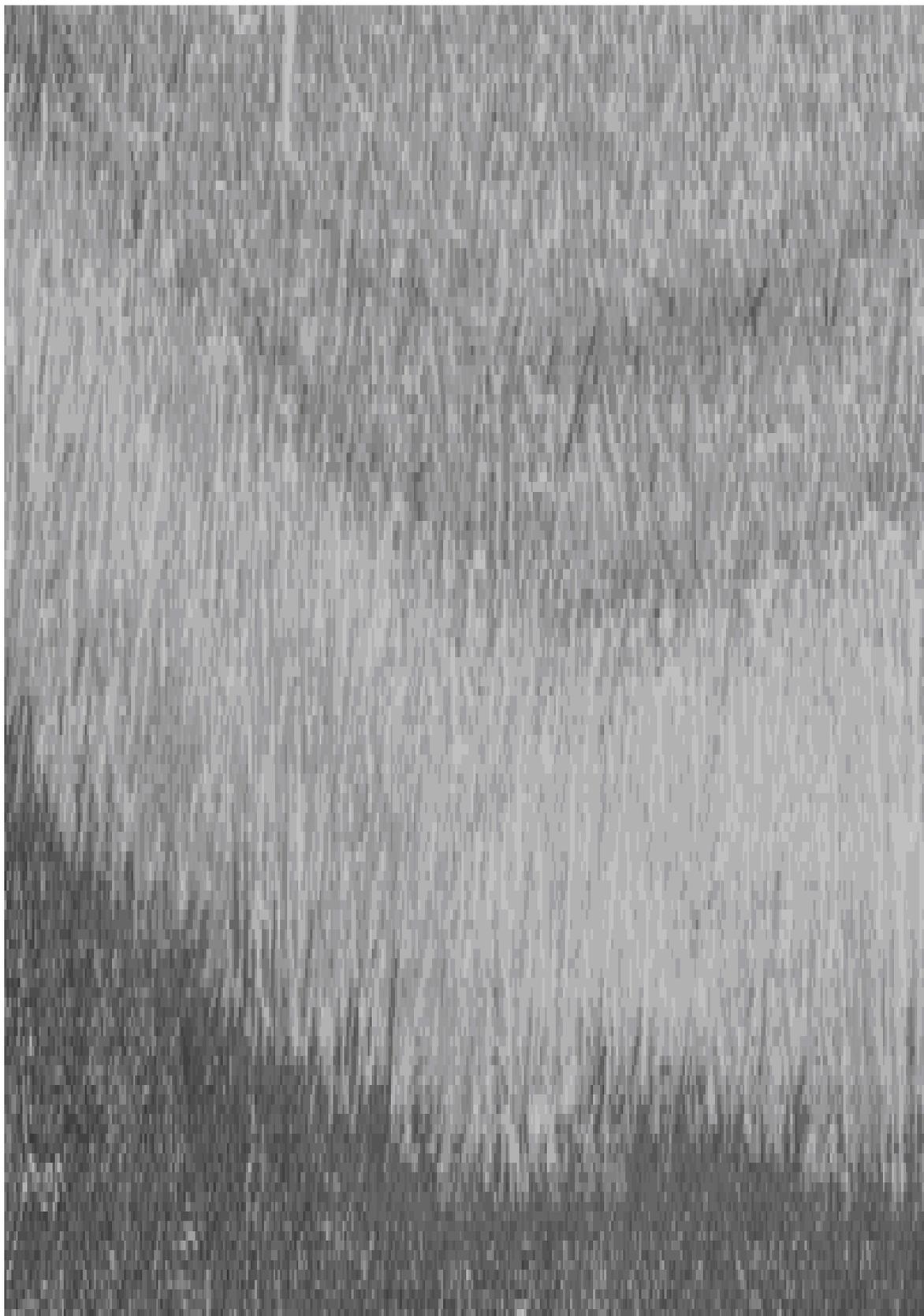


Рисунок 26 – Микроструктура переходного слоя к металлу щека

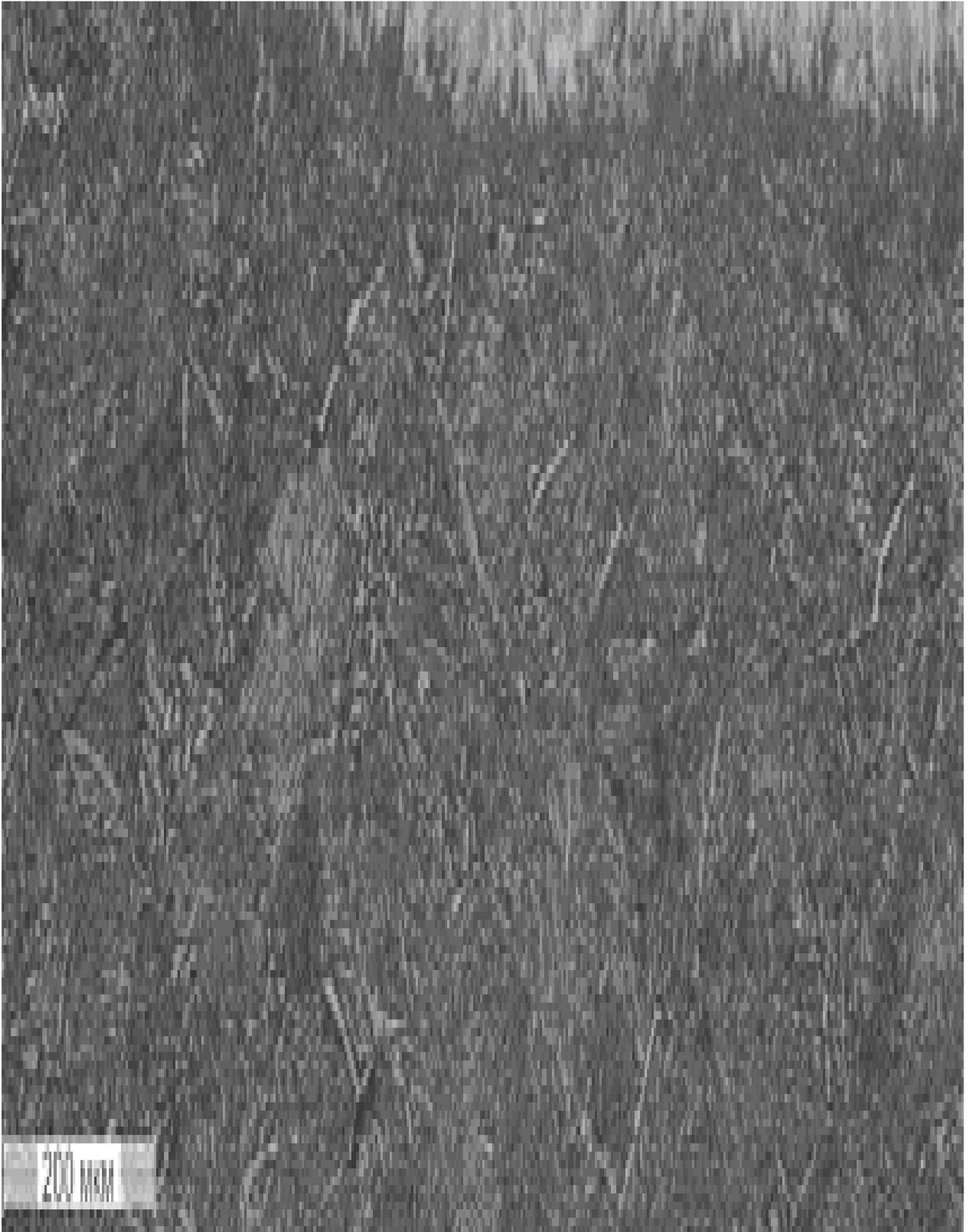


Рисунок 27 – Микроструктура Ст20Х шнека

Результаты металлографического исследования выполнены в управлении лабораторно-испытательных работ завода и оформлены в виде протокола № 12032.

Таблица 15- Протокол исследований восстановленного шнека экструдера

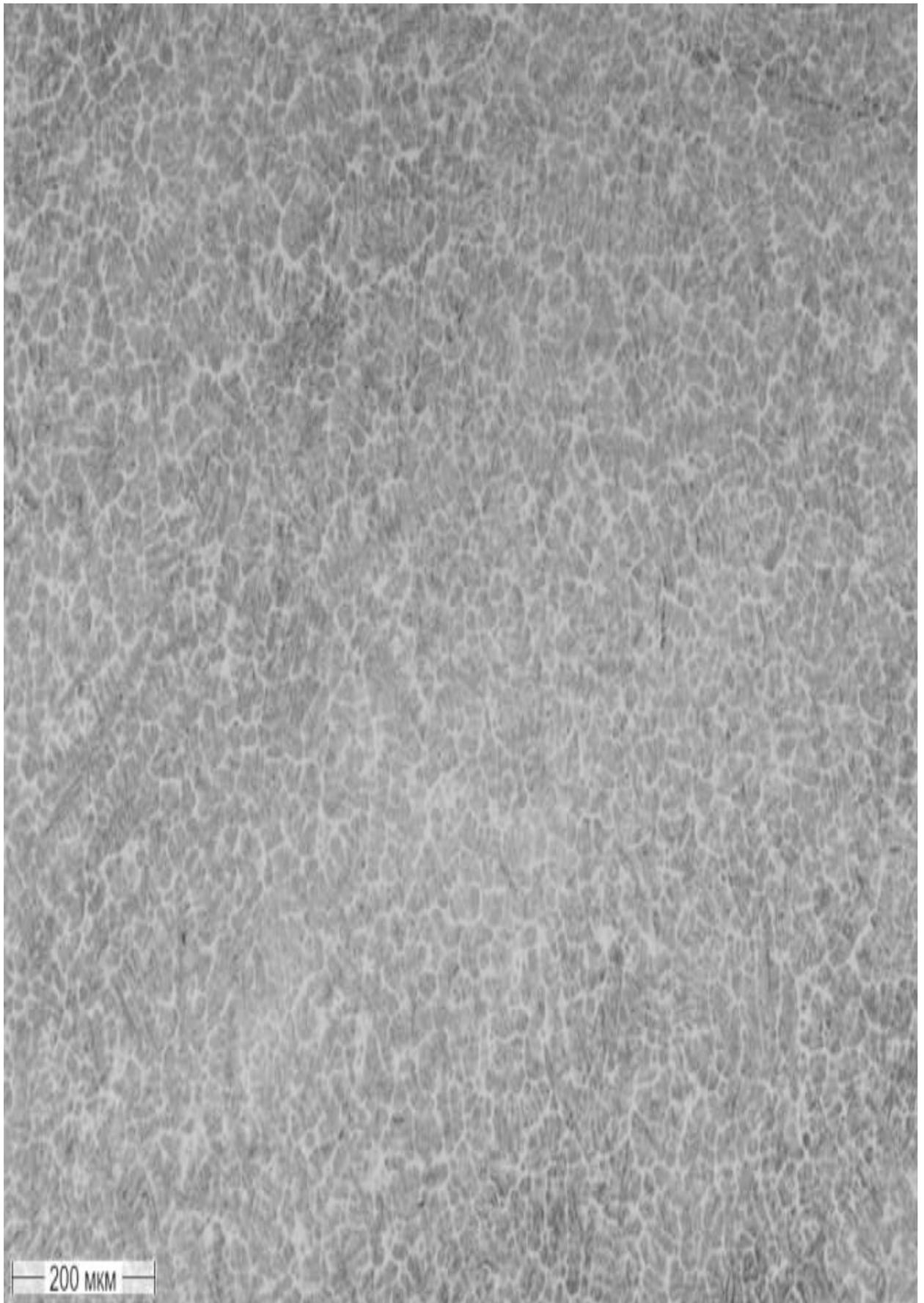
Управление лабораторно-испытательных работ	Протокол	Отдел технологии металлов и термической обработки
	Исследование наплавки шнека экструдера	Дата : 2018. 04

Деталь: шнек экструдера после наплавки, 1шт.

Необходимость исследования: определить микроструктуру и твердость наплавленного слоя.

Результаты исследования  
Металлографический анализ

Параметр (НД на испытание)	Факт
Твердость, HRC (ГОСТ 9013)	50...53
Микроструктура наплавленного слоя	дендриды (рис.28а)
Дефекты наплавленного слоя	не выявлены (рис.28б)



a)



б)

Рисунок 28 – Микроструктура наплавленного слоя

Выводы:

1. Твердость материала наплавленного слоя – 50...53 HRC.
2. Микроструктура дендридного строения, что характерно для наплавленного слоя.
3. Признаков дефектов наплавленного слоя не выявлено.
4. Смесь защитного газа  $98\%Ar+2\%CO_2$  повышает твердость наплавленного слоя
5. Интенсивное охлаждение водой горелки и колебания электрода снижают долю участия ст. 20X в наплавленном слое.

## 5. Проектирование технологического процесса восстановления шнека экструдера

Технологический процесс восстановления шнека экструдера методом наплавки W - Ст20X<sup>+</sup> проводится по следующей схеме:

1. Отжиг шнека перед наплавкой
2. Подготовка под наплавку
3. Подогрев в печи
4. Наплавка
5. Медленное охлаждение в печи
6. Контроль качества наплавки
7. Механическая обработка

### **Отжиг шнека перед наплавкой**

Перед механической обработкой восстанавливаемый шнек необходимо отжечь для снятия остаточных напряжений, вызванных эксплуатационными нагрузками и уменьшения твердости обрабатываемой поверхности. Операция «отжиг» состоит в нагреве шнека, выдержке при температуре нагрева в течение определенного времени и последующем медленном охлаждении .

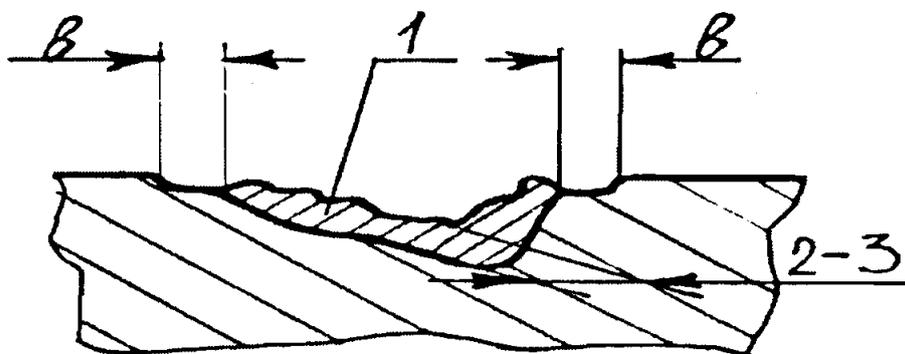
Отжиг шнека перед наплавкой производится в печи нагрева «Новел-400» при температуре 500-510°С, продолжительность операции составляет 2,5-3,0 часа.



Рисунок 29 - Внешний вид печи нагрева Новел-400.

### Механическая подготовка шнека под наплавку

Поверхности шнека качественно зачищают под наплавку. Дефекты на рабочих поверхностях необходимо удалять на всю глубину до «здорового металла», но не менее чем на 2мм от поверхности, исключая разделку глубоких трещин, при разработке которых возможно образование сквозных отверстий. Подготовленные под наплавку поверхности должны быть с зачищенными углублениями, без следов загрязнения и масла (рис. 30). При больших объемах разделываемого металла и глубине разделки более 10мм зачистку следует производить на фрезерном станке, в остальных случаях зачистка производится шлифовальной машинкой FUBAG GSC 4000 (рис.31).



1- зона очистки, b - ширина дополнительной зачистки

Рисунок 30 - Зачистка сколов, вмятин



Рисунок 31- Внешний вид шлифовальной машинки FUBAG GSC 4000

### **Подогрев в печи**

Изделия из конструкционных, легированных и инструментальных сталей, содержащих более 0,3 % углерода, перед наплавкой необходимо подогревать в печи. В процессе наплавки шнека экструдера происходит неравномерный нагрев различных участков. Это приводит к значительному напряженному состоянию, вследствие чего возникают различные разрушения.



a)



б)

Рисунок 32 - Внешний вид наплавленного шнека с дефектами:  
трещины (а), сколы (б)

Образец шнека экструдера представленный на рисунке 32 (а, б) наплавлен с нарушением технологического процесса. Со шнеком перед наплавкой не проводилась термическая обработка (подогрев в печи) и медленное охлаждение в печи после наплавки. Наплавка производилась на сварочном посту ручной дуговой сваркой покрытым электродом ОЗШ-3 на постоянном токе от инвертора Sturm AW97I22N, диаметром электрода 3 мм при токе 60-80 А. Напряжение на дуге 30-32 В, скорость сварки не более 5 м/ч. Высота наплавленного слоя не менее 4 - 5мм. Контроль качества наплавки визуальный. Исходя из этого, учитывая полученный опыт и при разработке проектирования технологического процесса восстановления шнека экструдера, вводим обязательную операцию – подогрев и охлаждение в печи.

Для снижения внутренних напряжений необходимо производить равномерный нагрев и охлаждение при восстановлении шнека экструдера наплавкой. Предварительный, равномерный нагрев позволяет получить наплавленный слой без трещин.

Подогревать изделия в печи перед наплавкой необходимо до температуры +350°С. Данная температура подогрева унифицирована для изделий из различных марок стали с содержанием более 0,3 % углерода .

Общему подогреву подлежат как закаленные детали, так и детали прошедшие отжиг.

Температура окружающего воздуха при наплавке должна быть не ниже плюс 20 °С, не допускаются сквозняки.

На предварительно подогретую деталь наплавку следует производить непрерывно, не допуская остывания более чем на 100 °С. При производстве больших объемов наплавочных работ, для предотвращения остывания детали, применять сопутствующий подогрев в печи.

#### **Наплавка шнека экструдера W- электродом в среде аргона**

В качестве источника питания дуги следует применять установки, оснащенные осциллятором для бесконтактного возбуждения дуги, устройством регу-

лирования сварочного тока с дистанционным педальным управлением для плавного изменения величины тока, регулятором спада сварочного тока для заварки кратера. На рисунке 32 приведен комплект сварочного оборудования, который выбран для проведения наплавочных работ со шнеком экструдера по предлагаемой технологии.



Рисунок 33 - Внешний вид сварочного инвертора GROVERS WSME-200 AC/DC

В качестве защитного газа необходимо использовать аргон высшего и 1 сортов по ГОСТ 10157.

В качестве электродов применяются вольфрамовые прутки диаметром 3мм (WL-20), так как они допускают сварку с большой плотностью тока, и длительное время сохраняют форму заточки в процессе работы, и стойки к налипанию расплавленного металла.



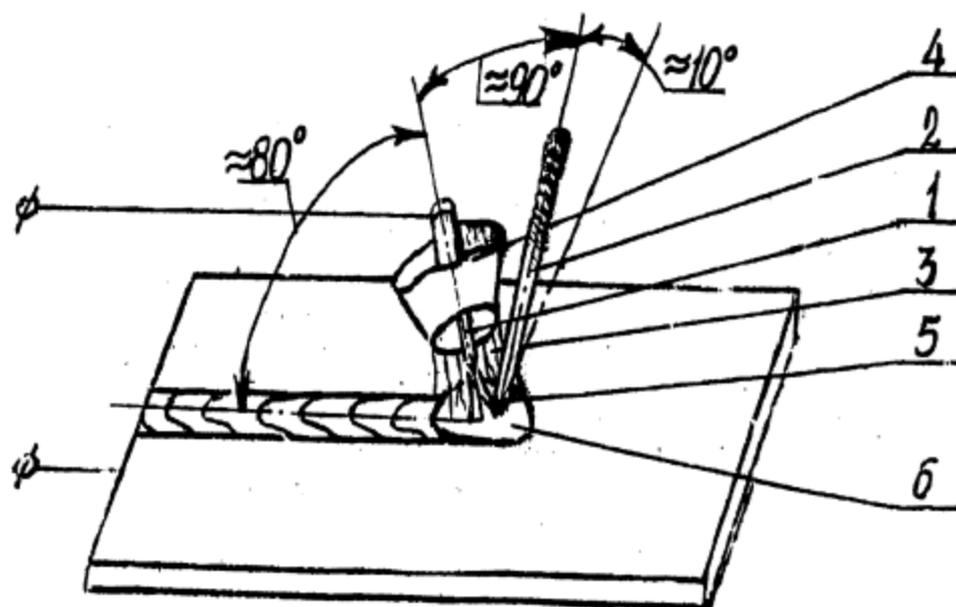
Рисунок 34 - Вольфрамовый электрод WL-20

При работе на постоянном токе прямой полярности вольфрамовый электрод необходимо затачивать на конус. Правильная заточка обеспечивает высокую плотность тока на конце электрода, концентрацию дуги, малую глубину проплавления основного металла.

Таблица 16 – Максимальная величина тока на W-й электрод

Диаметр электрода, мм	Постоянный ток, А					
	прямая полярность			обратная полярность		
	ЭВЛ	ЭВИ	ЭВТ	ЭВЛ	ЭВИ	ЭВТ
3	250	320	300	35	50	30

При наплавке шнека экструдера применяется преимущественно правый способ - сварка углом вперед в соответствии с рис. 35.



1 – неплавящийся электрод, 2- присадка,  
3- защитный газ, 4 – сопло горелки, 5 – дуга, 6 – сварочная ванна.

Рисунок 35 - Расположение горелки и присадки

Угол наклона горелки к изделию (шнеку) составляет от 70°С до 80°. Присадочный материал (УТР А 73 G 3) в зону сварки подается поступательно пер-

пендикулярно направлению движения горелки (рис.35). Угол между присадкой и электродом должен составлять от 90° до 105°.

Необходимо обеспечивать защиту зоны наплавки аргоном до начала возбуждения дуги. После обрыва дуги ванна расплавленного металла и околошовная зона должны находиться в струе защитного газа до полного затвердевания металла сварочной ванны.

Если не возникает необходимость в наплавке на повышенных токах больших объемов металла за 1 проход, то наплавка ведется на пониженных токах с малой скоростью перемещения сварочной горелки для повышения газовой защиты и улучшения свойств металла шва.

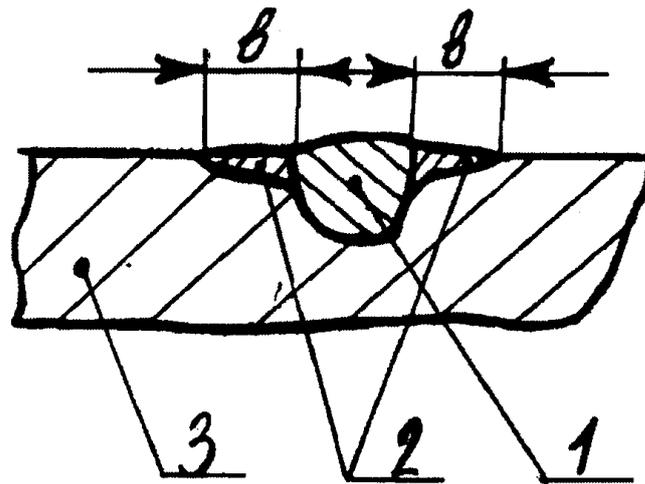
При качественной газовой защите наплавленный металл должен быть преимущественно серого цвета без цветов побежалости, свидетельствующих об окислении.

Таблица 17- Рекомендации по выбору параметров режима наплавки

Пруток	h, мм	d <sub>w</sub> , мм	I <sub>д</sub> , А	u <sub>д</sub> , В	V <sub>НАПЛ</sub> , м/ч	Q, л/ч	d <sub>пр</sub> , мм
УТР А 73G 3	4	3	60-80	10-12	3-5	8-10	2,4

При наплавке необходимо «выводить» расплавленный металл на прилегающую поверхность (рис.36). Если наплавляется только валик 1, то на границе валика с основным металлом 3 концентрируются сварочные напряжения, загрязнения, возможны локальные непровары. Более технологичной является наплавка валика с «выводом» наплавленного металла на прилегающую поверхность.

После наплавки валика 1 поперечными колебаниями горелки необходимо «развести» наплавленный металл по прилегающей поверхности 2 (рис.36). У наплавленного таким образом металла выше прочность соединения с основным металлом 3, маловероятны непровары, снижена концентрация напряжений на границе шва - основной металл. Ширина зоны b определяется экспериментально и обычно равна ширине валика наплавленного металла [25].



1- наплавленный валик, 2 - наплавленный металл, «выводимый» на поверхность, 3 - основной металл, b- ширина дополнительной зачистки.

Рисунок 36 - Наплавка металла на прилегающую поверхность

Вылет электрода из сопла горелки не должен превышать 5мм. А при наплавке в угол и глубокую разделку - 7 мм. Длина дуги не должна превышать 5мм.

Чтобы исключить возникновение кратеров, обрыв дуги следует производить с применением регулятора спада сварочного тока или снижением тока сварки посредством дистанционного педального пульта. При отсутствии у сварочной установки вышеуказанных устройств обрыв дуги необходимо производить вручную, постепенным ее удлинением.

Для снижения сварочных напряжений сразу же после наплавки производится проковка горячего металла. Проковка выполняется притупленным бойком. Наносится максимально возможное количество несильных ударов в минимально короткий промежуток времени.

#### **Медленное охлаждение шнека в печи**

Наплавляемые детали шнеков необходимо медленно охладить для предупреждения образования трещин. Медленное охлаждение с печью (рис.29), предварительно нагретой до температуры от 480 °С до 500 °С, обеспечивает наилучшие условия для равномерного охлаждения и позволяет получить наплавленный слой без трещин.



Рисунок 37 - Внешний вид наплавленного шнека

### **Контроль качества наплавки шнека**

Контроль качества наплавки шнека проводится на сварочном посту. Наплавленные детали подвергаются визуальному осмотру при достаточном освещении. При осмотре выявляются непровары, наплывы, прожоги, не заваренные кратеры, подрезы, поры, трещины в сварных швах и зоне термического влияния [22].

## Механическая обработка шнека

Выбор вида обработки наплавленных поверхностей зависит от их твердости и хрупкости, припуска для наплавленного слоя, производительности процессов, требуемой точности. Предварительная обработка деталей после наплавки, как правило, выполняется на токарном станке резцами с пластинами из твердого сплава Т5К10 и Т5К15.



Рисунок 38 - Внешний вид наплавленного шнека перед обработкой на токарном станке

Заточку резцов выполняют с отрицательным передним углом  $\gamma = 8 \text{ — } 10^\circ$ , положительным задним углом  $\alpha = 10 \text{ — } 15^\circ$  и главным углом в плане  $\Phi = 65 \text{ — } 75^\circ$ . Указанная геометрия резца дает возможность увеличить его износостойкость и прочность в результате улучшения отвода тепла, уменьшения усилия резания и улучшения условий работы режущей кромки. Значительное влияние на работоспособность резцов и качество наплавленной поверхности оказывает ско-

рость резания. В результате изменения скорости резания можно снизить шероховатость поверхности на 1 - 2 класса и повысить твердость наплавленного слоя на 15 - 20 %. В этом случае глубина наклепа поверхностного слоя будет равна 120 - 160 мкм. Глубина распространения остаточных тангенциальных напряжений 150 - 380 Н/М. Доработка обработанных поверхностей шнека экструдера выполняется шлифовальной или пневматической машинкой в соответствии с размерами чертежа. На рис. 38 приведены образцы шнека после выполнения всех операций технологического процесса восстановления [26].

Результаты проектирования технологического процесса восстановления шнека экструдера сведены в таблицу 18.

Таблица 18 - Технологический процесс восстановления шнека [22]

№ п/п	Операция	Эскиз	Оборудования и материалы	Режимы	Технические требования
1	Ожиг шнека перед наплавкой		Печь для отжига, нагрева "Новел-400"	$t=500-510^{\circ}\text{C}$ 3,0 ч.	$\pm 20^{\circ}\text{C}$ не менее 2,5 ч.
2	Подготовка под наплавку		Шлифмашинка FUBAG GSC 4000	Обороты (об/мин) -4000; макс. давление - 6,3 расход воды (л/мин) -127	Зачистка до "здорового металла", не менее чем 2 мм.
3	Подогрев в печи		Печь для отжига, нагрева "Новел-400"	$t=350^{\circ}\text{C}$ 1,5 ч.	$\pm 20^{\circ}\text{C}$ не менее 1,0 ч.
4	Наплавка шнека		Инвертор GROVERS WSME-200 AC/DC, вольфрамовые прутки $d=3$ мм (WL-20), аргон высшего сорта ГОСТ 10157	$I_{\text{г}}, \text{A} - 60-80$ $U_{\text{г}}, \text{В} - 10-12$ $V_{\text{напл.}}, \text{м/ч} - 3-5$ $Q, \text{л} - 8-10$ $d_{\text{пр.}}, \text{мм} - 2,4$	$t$ окр. воздуха при наплавке должна быть не ниже $+20^{\circ}\text{C}$ , не допускаются сквозняки, высота валика не менее 4 мм.
5	Медленное охлаждение в печи		Печь для отжига, нагрева "Новел-400"	$t=480-500^{\circ}\text{C}$	медленное охлаждение в печи до $t=35-60^{\circ}\text{C}$
6	Контроль качества наплавки		Лупа х4	100% визуальный контроль	Отсутствие дефектов: пор, трещин, сколов
7	Механическая обработка		Токарный станок 1К625, резцы твердосплавные: Т5К10 (черновые) Т5К15 (чистовые) Т30К4 (чистовая обработка)	от 50-100 об/мин подача 0,15 мм/об	Чистота поверхности обрабатываемой детали

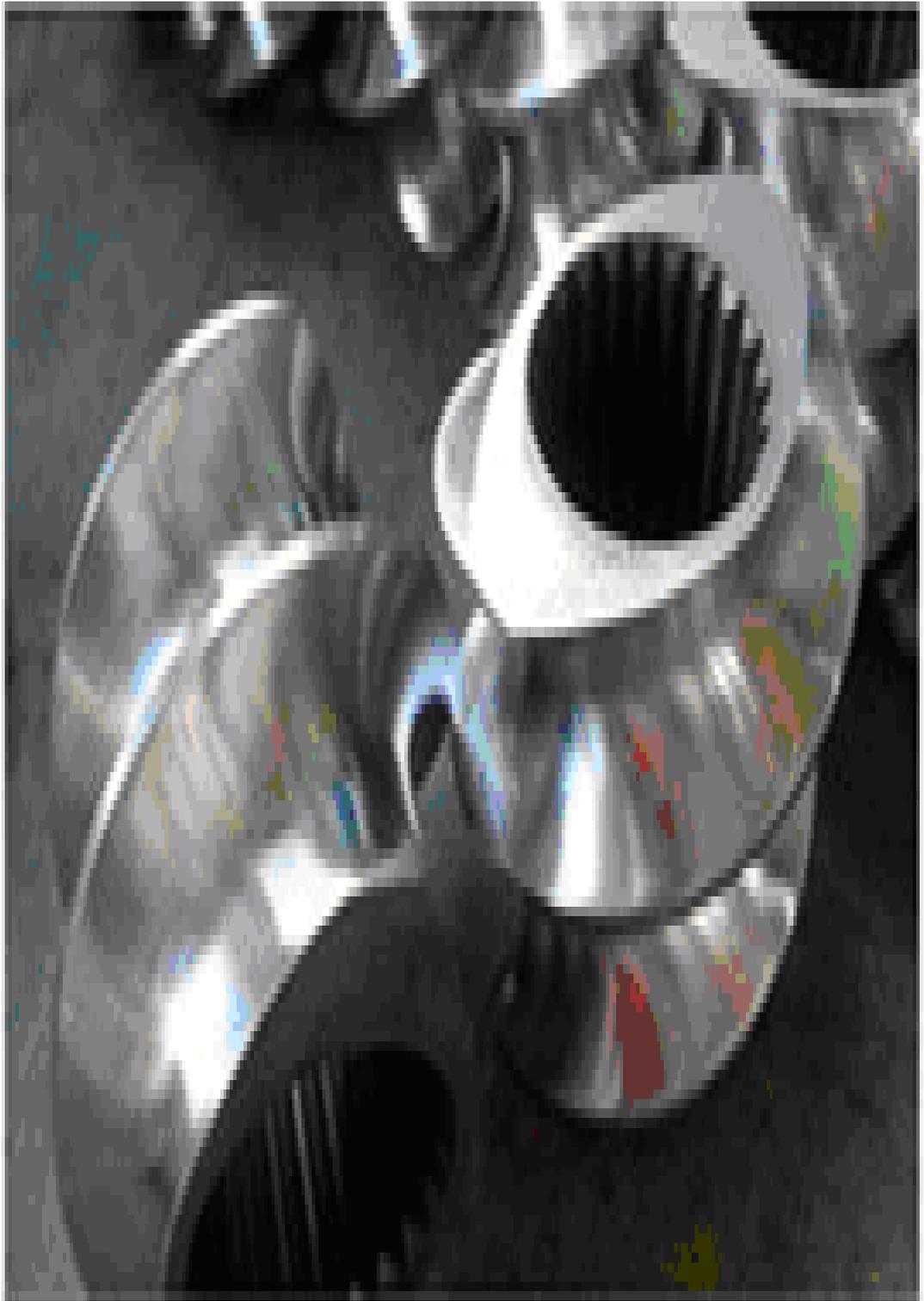


Рисунок 39 - Внешний вид шнека после выполненного ремонта

## Заключение

В результате выполненной работы для восстановления шнека экструдера из ст. 20Х выбраны омедненные прутки марки УТР А73G3 диаметром 2,4мм, длиной 1000мм. Пруток марки УТР А73G3, благодаря высокой твердости, прочности, и жаростойкости идеально подходит для наплавки деталей подверженных сильному трению, сжатию, умеренным динамическим нагрузкам при повышенных температурах. Кроме этого химический состав прутка и ст. 20Х хорошо между собой согласуются.

В работе обоснован выбор способа наплавки. Выбран способ сварки неплавящимся электродом постоянного тока прямой полярности в защитной среде аргона. Для этого способа наплавки обоснован выбор сварочного оборудования: инвертор GROVERS WSME-200 AC/DC PULSE в комплекте с горелкой для РАД, так как он обладает крутопадающей ВАХ, что позволит убрать возмущения по длине дуги. Инвертор обладает широким диапазоном регулирования тока ( $K=20$ ) и малой потребляемой мощностью, что дает возможность экономить затраты на электроэнергию.

Для проведения восстановительных работ для предприятия разработана планировка участка и проведены исследовательские работы по восстановлению шнека с заданными свойствами наплавленного слоя шнека.

Выполненный металлографический анализ наплавленного слоя шнека показал, что:

- 1) твердость материала наплавленного слоя – 50...53 HRC;
- 2) микроструктура дендридного строения, что характерно для наплавленного слоя;
- 3) смесь защитного газа  $98\%Ar+2\%CO_2$  повышает твердость наплавленного слоя;
- 4) колебания электрода снижают долю участия ст. 20Х в наплавленном слое.

По результатам работы спроектирован технологический процесс восстановления шнека экструдера.

## Список используемых источников

1. Винокуров, В. А. Сварка в машиностроении [Текст]: Справочник в 4-х т./В.А. Винокуров. – М.: Машиностроение, 1979. - т. 3. – 312с.
2. Сварка в машиностроении [Текст]: справочник: в 4 т. / под ред. Ю.Н. Зорина. - М. : Машиностроение, 1979. – т.4. - 512 с.
3. Бондин, И.Н. Справочник сварщика / И. Н. Бондин / под ред. Н.О.Окерблома. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.-Л. [Текст] : Машиностроение, 1965. - 400 с.
4. Колганов, Л.А. Сварочное производство [Текст]: Учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов н/Д: Феникс, 2002. - 504 с.
5. Стеклов, О.И. Основы сварочного производства [Текст]: учеб. пособ. /О.И.Стеклов. – Москва : Высшая школа, 1981г. – 159 с.
6. Маслов, В.И. Сварочные работы [Текст]: учебник / В. И. Маслов. - М.: Академия, 1998. - 234 с.
7. Сварка в машиностроении[Текст] : справочник: в 4 т. / под ред. А.И. Акулова. - М. : Машиностроение, 1978. – т.2. - 462 с.
8. Малышев, Б.Д. Сварка и резка в промышленном строительстве [Текст]: справочник / Б. Д. Малышев, А. И. Акулов, Е. К. Алексеев [и др.] / под ред. Б.Д. Малышева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1980. - 784 с.
9. Ильяшенко, Д.П. Оборудование для полуавтоматической сварки [Текст] / Д.П. Ильященко // Сварочное производство. – 2005. - №1. - С. 18-30.
10. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки [Текст] : учеб. для вузов / А. И. Акулов [и др.] / под ред. А. И. Акулова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Машиностроение, 2003. – С.559.
11. Милютин, В.С. Источники питания для сварки [Текст] : учеб. для вузов / В. С. Милютин ,М. П. Шалимов, С. М. Шанчуров. - М. : Айрис Пресс, 2007. - 379 с.
12. Ильяшенко, Д.П. Оборудование для полуавтоматической сварки [Текст] / Д.П. Ильященко // Сварочное производство. – 2006. - №7. - С. 18-30.

13. Краснов, А.П. Оборудование для полуавтоматической сварки [Текст] / А.П. Краснов // Сварочное производство. – 2003.- №7. - С. 5 - 11.
14. Сварочное оборудование [Текст]: каталог / ОАО ВНИИТЭМР. - М.: Каталог, 2002. - 130 с.
15. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов [Текст] учебное пособие / Ельцов В.В. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012.-176с.
16. Зайцев, Н.Л. Экономика промышленного предприятия[Текст]: учеб. пособие – М. : ИНФРА-М, 2000.- 234с.
17. Журавлев В. Н., Николаев О. И. Машиностроительные стали [Текст]. Справочник. Изд. 3-е – М.:Машиностроение, 1981.
18. Николаев Г. А. Сварка в машиностроении [Текст]:Справочник в 4-х т. – М.: Машиностроение, 1978-т. 1.
19. Материалы технологической инструкции по наплавке деталей металлургической оснастки в производствах[Текст],2005.-52с.
20. Сварка в машиностроении [Текст]: Справочник в 4-х томах / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1979. – т.3 / Под ред.В.А. Винокурова. 1979. – 567 с., ил.
21. Справочник сварщика [Текст] / Под ред. В.В. Степанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 560 с., ил.
22. А.А.Москвин. Технология и оборудование для восстановления шнека экструдера [Текст]: курсовой проект по дисциплине «Технология и оборудование для производства сварных конструкций газонефтехимической отрасли». – Тольятти : ТГУ, 2017. – 25с.
23. А.А.Москвин. Восстановление шнека экструдера [Текст] / науч. рук. Г.М.Короткова // Сварка-пайка-обработка материалов давлением: XIV студенческая науч.-техн. конф. : сборник науч.трудов / под ред. В.В.Ельцова, А.С.Климова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018.- с.....
24. А.А.Москвин. Металлографические исследования наплавленного металла шнека [Текст] : отчет по преддипломной практике – Тольятти: ТГУ, 2018. – 15с.

25. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая с обработка цветных металлов и сплавов [Текст]- М.: изд-во МИСИС, 1999. - 413
26. Тиходеев Г.М. Энергетические свойства электрической сварочной дуги [Текст] - М-Л. : Изд. АН СССР, 1961. - 251 с.
27. Леушин А.И. Дуга горения [Текст] - М. : Металлургия, 1973. - 238 с.
28. ГОСТ 30480-97 - Обеспечение износостойкости изделий методы испытаний на износостойкость. Общие требования
29. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://cyberleninka.ru> для доступа к информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения с 17.01.2017 по 25.05.2018
30. «FB.ru» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://fb.ru> для доступа к информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения с 13.02.2017 по 25.04.2018
31. Winczek J. Structure and Properties of Coatings Made with Self Shielded Cored Wire [Текст] Archives of Foundry Engineering. *Gucwa M. (Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Czestochowa University of Technology)* 2016;16(3) Pages 39-42
32. J. Szajnar Methods of improvement in hardness of composite surface layer on cast steel[Текст] [Archives of Foundry Engineering](#). P.Wróbel T. Wróbe 2008;8(SI 3), Pages 111-116
33. Piwnik J. Shaft Wear After Surfacing with Micro-Jet [Текст] Cooling Archives of Metallurgy and Materials. 2015;60(4), Pages 25-30
34. J. Szajnar, Electron Beam Welding of Gear Wheels by Splitted Beam Research Papers[Текст] . Faculty of Materials Science and Technology. Slovak University of Technology in Trnava. 2014;22(34), Pages 35-41
35. P. Wróbel Methods of improvement in hardness of composite surface layer on cast steel [Текст] Archives of Foundry Engineering. 2008;8(SI 3), Pages 111-116
36. ГОСТ 33258-2015 Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавленных поверхностей. Технические требования - 16с.

37. А. А. Москвин - Технология восстановления матрицы штампа. [Текст] : дипломный проект – Тольятти: ТГУ, 2016.

38. «Лекции.нет» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://lektsii.net/> для доступа к информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения с 14.03.2017 по 19.05.2018

39. Библиотека технических наук «Техносфера» [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://tekhnosfera.com/> для доступа к информационным ресурсам авторизация не требуется. Дата обращения с 18.02.2018 по 19.05.2018