

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

РАБОТА ПРОВЕРЕНА  
Рецензент

\_\_\_\_\_ /Гойдо М.Е./  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ /Радионова Л.В./  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

**РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ  
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ  
ДАВЛЕНИЕМ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА**

*ЮУрГУ – 22.04.02 – 2020 – 158 – 00.00.00 ПЗ*

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф.

Самодурова Марина Николаевна

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф.

Самодурова Марина Николаевна

\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы П-247

\_\_\_\_\_   
Быков Виталий Алексеевич  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск, 2020

## АННОТАЦИЯ

Быков В.А. Ремонт и восстановление инструментальной оснастки оборудования для процессов обработки металлов давлением. – Челябинск: ЮУрГУ, П-247, 64 с., 67 иллюстраций, 16 табл., библиогр. список – 7 наим.

Данная дипломная работа выполнена в рамках проектного обучения ЮУрГУ. Работа заключается в ремонте и восстановлении инструментальных оснасток путем создания технологического покрытия на рабочих поверхностях. Для упрочнения инструментальных оснасток были выбраны метод лазерной наплавки и метод детонационного напыления. Целью работы было создание типовых режимов по ремонту и восстановлению инструментальной оснастки методами аддитивных технологий.

В дипломной работе были поставлены следующие задачи:

1. Подбор порошкового материала для восстановления типовых изделий;
2. Разработка режимов нанесения порошкового материала на восстанавливаемые изделия;
3. Проведение металлографических исследований, определение пористости и твердости полученных покрытий;
4. Написание программ движения лазерного комплекса для восстановления инструментальных оснасток;
5. Ремонтно-восстановительные работы инструментальной оснастки по требованиям предприятия-заказчика.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ПЯТЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	7
1.1. Прокатка.....	7
1.2. Волочение .....	10
1.3. Штамповка.....	10
1.4. Прессование.....	12
1.5. Ковка.....	13
1.6. Требования, предъявляемые к инструментальной оснастке для процессов обработки металлов давлением.....	14
2. ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА.....	15
3. ДЕТОНАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС .....	17
3.1. Технология и оборудование детонационного комплекса CCDS2000 ...	17
3.2. Подготовка обрабатываемой поверхности перед детонационным напылением.....	23
4. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ.....	24
4.1. Восстановление шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления .....	24
4.2. Восстановление рабочей поверхности валка для холодной прокатки методом прямого лазерного сплавления .....	34
4.3. Восстановление рабочей поверхности роликов ЛСО методом прямого лазерного сплавления .....	40
5. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ	

ПОВЕРХНОСТИ ТЯНУЩЕГО БАРАБАНА ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯ.....	48
6. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ ПУТЕМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ .....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	62
БИБИЛОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Износ – одна из основных причин выхода из строя механизмов различного назначения. По данным [1] до 50 % всех проблем, связанных с износом, приходится на абразивный износ. Интенсивный износ тяжело нагруженных деталей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания, воздействия повышенных температур и агрессивных сред является одной из основных проблем современного машиностроения. Высокая концентрация напряжений в поверхностных слоях деталей при ударном и циклическом нагружении, а также в условиях контакта с абразивными частицами и химически агрессивной средой сопровождается развитием процессов трещинообразования, изнашиванием и коррозионным разрушением материалов. Ужесточение условий эксплуатации многих видов современного оборудования является причиной повышения требований, предъявляемых к материалам, которые используются при его производстве.

Один из путей решения отмеченных проблем связан с формированием на поверхности деталей слоев, уровень эксплуатационных свойств которых значительно превышает свойства основного материала. Нанесение функциональных защитных слоев на детали машин позволяет повысить уровень надежности и долговечности изделий, работающих в экстремальных условиях. Возможность восстановления геометрии изношенных поверхностей эксплуатируемых деталей многократно снижает экономические потери, обусловленные выводом из эксплуатации и необходимостью последующей замены оборудования. [2]

В настоящее время аддитивные технологии находятся в фазе бурного роста. Аддитивные технологии позволяют изготавливать детали любой формы и покрытия с любыми физико-механическими свойствами. Данная работа заключается в создании функционального покрытия на рабочих поверхностях инструментальной оснастки оборудования для обработки металлов давлением.

Суть используемых в промышленном производстве методов формирования поверхностных слоев заключается в нагреве напыляемого материала, переносе пластифицированных частиц транспортирующей средой, их столкновении с поверхностью заготовки, деформировании и фиксации на рабочей поверхности.

# 1. ПЯТЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

## 1.1. Прокатка

Прокатка — способ обработки металлов давлением, при которой заготовка обжимается вращающимися валками прокатного стана (рисунок 1.1). Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую.

При продольной прокатке валки вращаются в различных направлениях, захватывают заготовку, деформируют ее и перемещают перпендикулярно своим осям (рисунок 1.2, а). Продольной прокаткой получают листовой и сортовой прокат.

Поперечная прокатка осуществляется параллельными однонаправленно вращающимися валками, когда заготовка деформируется и перемещается вдоль осей валков (рисунок 1.2, б). Прокатка этого вида используется для получения круглых профилей.

При поперечно-винтовой прокатке валки вращаются в одном направлении, но расположены под углом один к другому. Заготовка получает вращательно-поступательное движение по винтовой линии. Поперечно-винтовую прокатку применяют при получении труб и изделий с переменным по длине сечением (рисунок 1.2, в). [3]

Прокатный стан – это комплекс машин и агрегатов, предназначенных для осуществления пластической деформации металла в валках для получения изделий широкого ассортимента.

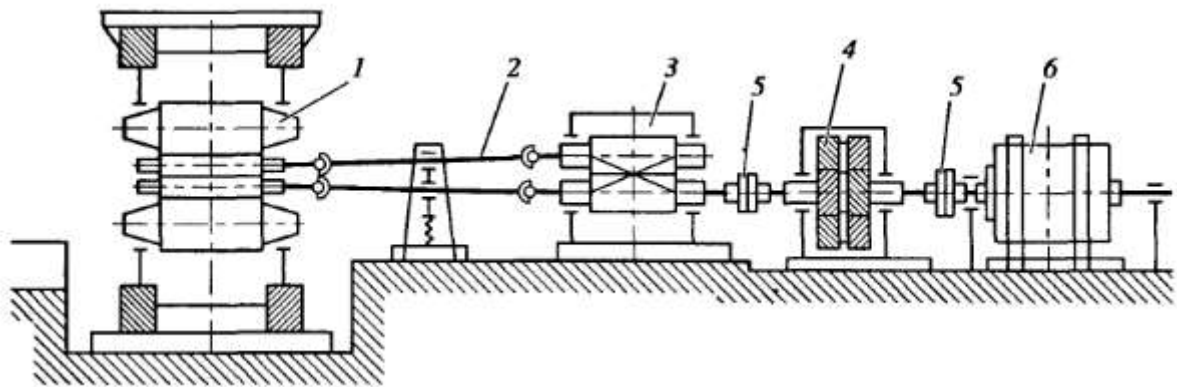


Рисунок 1.1 – Схема главной линии прокатки клетки: 1 – рабочая клетка;  
 2 – шпиндель; 3 – шестеренная клетка; 4 – редуктор; 5 – муфта;  
 6 – электродвигатель

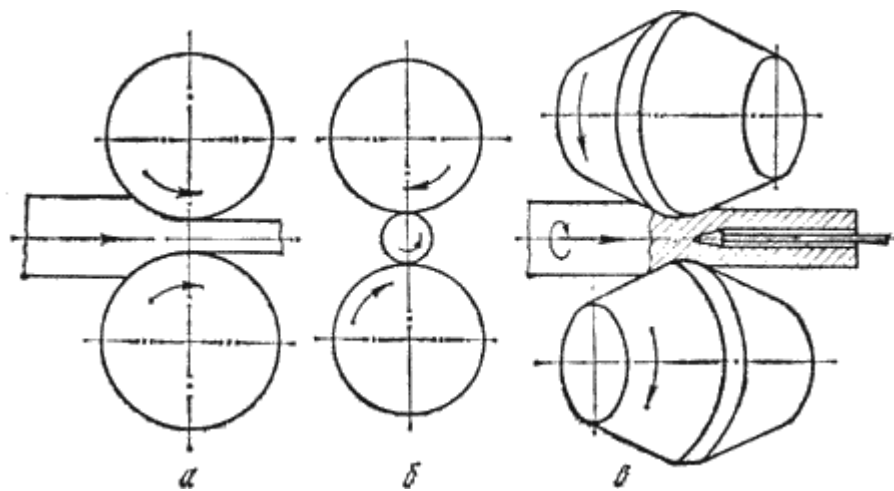


Рисунок 1.2 – Схема основных видов прокатки: а – продольная; б –  
 поперечная; в – поперечно-винтовая

В процессе эксплуатации прокатных валков происходит износ не только рабочей части валка (рисунок 1.3), но и повреждение шеек валков (рисунок 1.4) вызванного разрушением подшипниковых опор. Валки с поврежденными шейками не пригодны к дальнейшей эксплуатации, хотя рабочий слой их бочек еще не выработан. [4]





Рисунок 1.3 – Разрушенная рабочая часть бочки прокатного валка



Рисунок 1.4 – Изношенная шейка валка

## 1.2. Волочение

Волочение – процесс обработки металлов давлением в результате которого получают длинномерные металлоизделий из стали и цветных металлов. Проволоку изготавливают в большом ассортименте из самых различных цветных и черных металлов и их сплавов, с разными физико-химическими и механическими свойствами. Для каждого вида и размера проволоки требуется определенная технология изготовления и соответствующее оборудование. Оборудование, на котором производят процессы волочения, называют волочильными станами. Проволоку изготавливают в основном этим способом. Любой процесс волочения основан на одном и том же принципе.

В процессе волочения металлическое изделие круглого или фасонного сечения протягивают через отверстие волочильного инструмента (волоки) (рисунок 1.5).

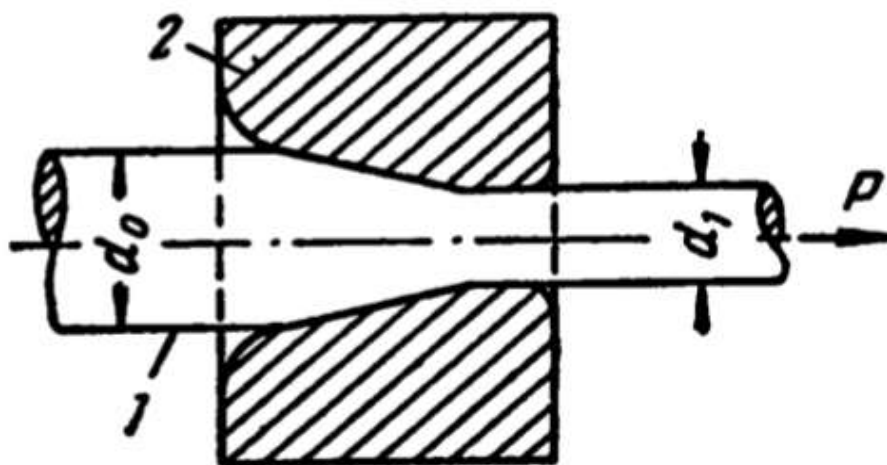


Рисунок 1.5 – Схема процесса волочения: 1 – протягиваемое металлическое изделие; 2 – волока

## 1.3. Штамповка

Штамповка — процесс пластической деформации материала с изменением формы и размеров тела. Чаще всего штамповке подвергаются металлы или пластмассы. Существуют два основных вида штамповки — листовая (рисунок 1.6) и объёмная (рисунок 1.7). Листовая штамповка подразумевает в исходном виде тело, одно из измерений которого

пренебрежимо мало по сравнению с двумя другими (лист до 6 мм). Примером листовой штамповки является процесс пробивания листового металла, в результате которого получают перфорированный металл. В противном случае штамповка называется объёмной. Для процесса штамповки используются прессы — устройства, позволяющие деформировать материалы с помощью механического воздействия.

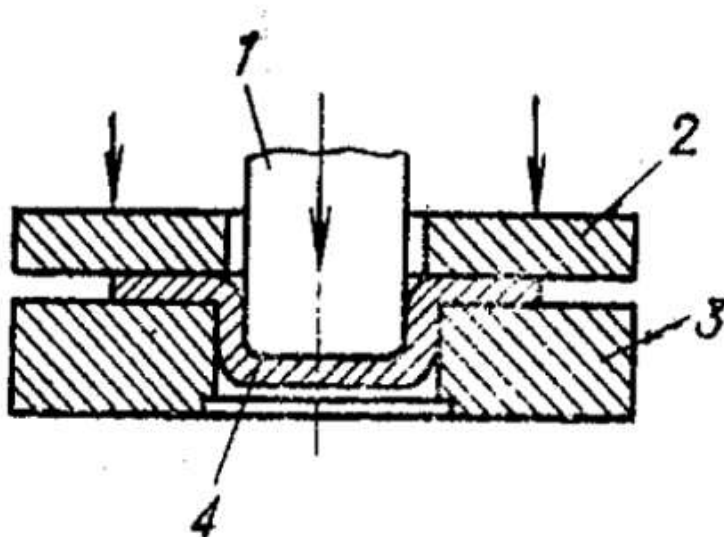


Рисунок 1.6 – Схема листовой штамповки: 1 – пуансон; 2 – прижим;  
3 – матрица; 4 – изделие

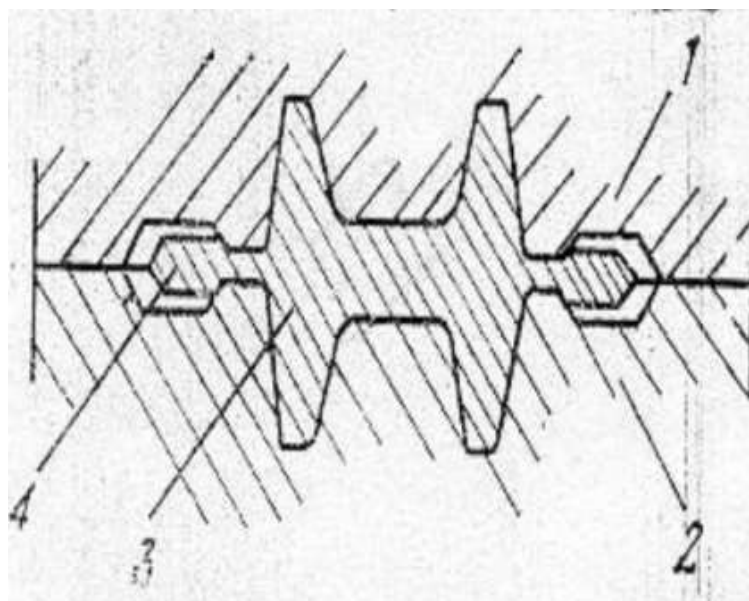


Рисунок 1.7 – Схема объёмной штамповки: 1 – верхняя часть штампа;  
2 – нижняя часть штампа; 3 – изделие; 4 – заусенец

#### 1.4. Прессование

Прессование – процесс обработки материалов давлением, производимый с целью увеличения плотности, изменения формы, перераспределения фаз материала, для изменения механических или иных его свойств.

Прессование представляет собой процесс выдавливания помещенной в контейнер заготовки через отверстие в матрице усилием пресс-штемпеля (пуансона), снабженного пресс-шайбой. В случае прессования полых заготовок, в том числе труб, оснастка дополняется иглой, закрепленной либо на пуансоне, либо в иглодержателе, имеющем независимый привод. Форма матрицы определяет форму профиля получившегося изделия.

Прессование осуществляется на гидравлических прессах горизонтального или вертикального исполнения. На рисунке 1.8 и рисунке 1.9 показана конструкция контейнера и инструмента для прессования профилей и труб.

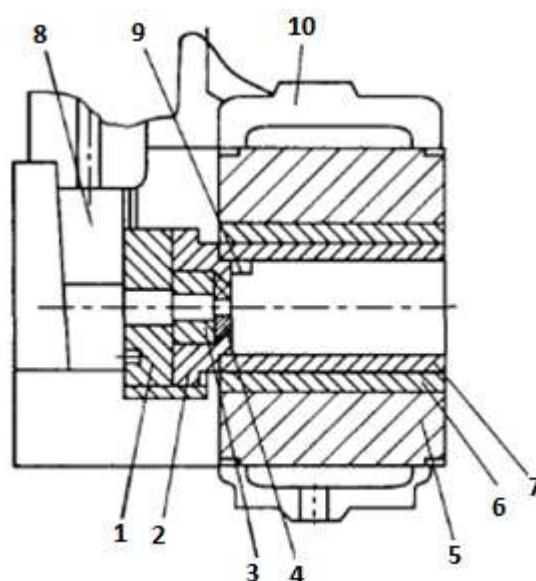


Рисунок 1.8 – Конструкция контейнера: 1 – каретка; 2 – матрицедержатель; 3 – подкладное кольцо; 4 – матрица; 5 – наружная втулка; 6 – средняя втулка; 7 – рабочая втулка; 8 – конусное устройство для предотвращения осевого смещения; 9 – запор-фиксатор; 10 – подвижный траверс

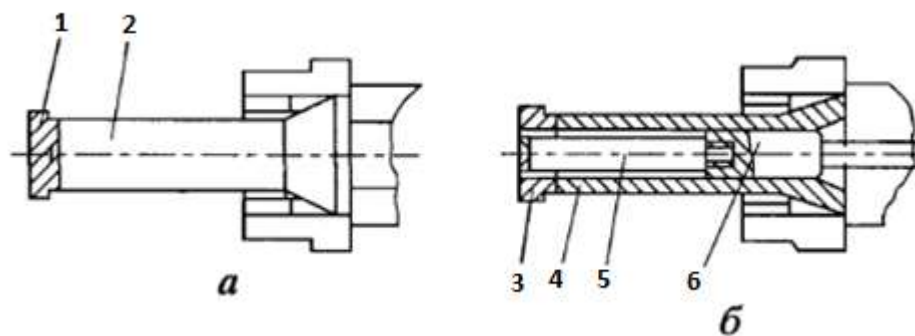


Рисунок 1.9 – Конструкция инструмента: а – для прессования профилей; б – для прессования труб: 1 – пресс-шайба; 2 – пресс-штемпель; 3 – полая пресс-шайба; 4 – полый пресс-штемпель; 5 – прошивная игла; 6 – вал

### 1.5. Ковка

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением пресса. Свободную ковку (рисунок 1.10) осуществляют между двумя бойками, один из которых (нижний) неподвижный, второй (верхний) совершает возвратно-поступательные движения вверх-вниз. При ходе вниз осуществляется пластическая деформация заготовки (рабочий ход), при ходе вверх (холостой ход) заготовку продвигают на ширину бойка. При этом, если необходимо обжимать заготовку по высоте и ширине, ее кантуют поочередно на  $90^\circ$ .

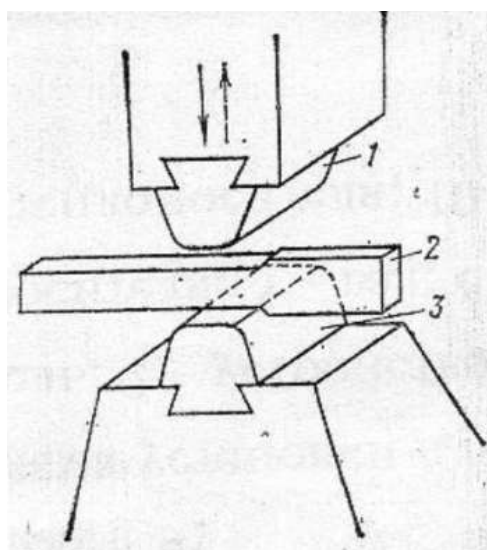


Рисунок 1.10 – Схема процесса свободнойковки: 1 – верхний боек; 2 – заготовка; 3 – нижний боек

Процесс осуществляется преимущественно в горячем состоянии, используют для получения крупных поковок из черных металлов для последующей механообработки в машиностроении и механических цехах металлургических заводов. [5]

1.6. Требования, предъявляемые к инструментальной оснастке для процессов обработки металлов давлением

В данной работе рассматривается ремонт и восстановление инструментальной оснастки для процессов прокатки, волочения и прессования. Были рассмотрены такие инструментальные оснастки как: прокатный валок (рабочая поверхность бочки и шейки), тянувший барабан и плунжер.

Требования, предъявляемые к прокатному валку: для осуществления процесса прокатки в рабочей поверхности бочки валка, требуется отсутствие внешних и внутренних дефектов (отсутствие трещин и микротрещин; закрытая пористость не должна превышать 5%), согласно ГОСТ3541-79 твердость по HSD должна составлять от 60 до 75 единиц; в рабочей поверхности шейки валка также должны отсутствовать внешние и внутренние дефекты (трещины и микротрещины, закрытая пористость не должна превышать 5%), должна быть поверхность с твердостью согласно ГОСТ3541-79 от 30 до 55 HSD.

Требования, предъявляемые к тянущему барабану: для осуществления процесса волочения поверхность барабана должна быть гладкой и твердой, чтобы проволока могла скользить по барабану; твердость составлять 50-65 HRC, отсутствовать внешние и внутренние дефекты (образование трещин и микротрещин, закрытая пористость не превышать 3%).

Эксплуатационным требованием к плунжерной паре является высокая износостойкость, которая характеризуется твердостью плунжера после прохождения процесса термической закалки заводских условиях на уровне от 58 до 62 HRC, а также отсутствие внешних и внутренних дефектов.

## 2. ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА

Лазерная наплавка является известной технологией создания поверхностного покрытия. Лазерная наплавка как перспективная многообещающая технология позволяет осуществлять послойное нанесение материала, что дает возможность создавать трехмерные металлообъекты любой степени сложности. На основе лазерной наплавки появился новый способ лазерной обработки, который в литературе получил название метода прямого нанесения материала DMD (Direct Material Deposition). Метод DMD предназначен для создания однородных, прочных покрытий инженерных поверхностей. Характерный размер частиц порошка составляет 50 - 100 мкм, диаметр лазерного пятна 2-4 мм.

Физико-математическое описание DMD-процессов включает три главных задачи моделирования: газовую динамику струйных течений несущего и защитных газов; транспортировку и нагрев частиц в газовом потоке с участием лазерного излучения; динамическое и тепловое взаимодействие потока частиц с подложкой и наращивание валика или слоя покрытия.

Предположения и упрощения, которые использованы при построении модели, сводятся к следующему:

- рассматривается течение вязкого, сжимаемого и теплопроводного газа;
- внутренняя геометрия тройного коаксиального сопла близка к реальной;
- во всех каналах сопла подается один и тот же газ аргон с постоянными значениями вязкости, теплопроводности и показателя адиабаты;
- материалы подложки и частиц являются сплошными и однородными с гомогенными теплофизическими свойствами;
- рассеяние лазерного и теплового излучения двухфазным потоком не рассматривается;

- наличие частиц не оказывает влияние на газ и на распределение плотности мощности в пучке лазерного излучения;

- механизмы взаимодействия частиц со стенкой сопла сводятся к столкновениям, которые считаются упругими (без потери энергии) или неупругими (с потерей энергии) при ударе о стенку;

- содержание частиц в потоке несущего газа настолько мало, что влияние частиц на течение газа, а также столкновение частиц между собой не рассматривается. [6]

В настоящей работе был использован роботизированный комплекс, установленный в НИЛ «Механики, лазерных процессов и цифровых производственных технологий»:

1. Установка предназначена для наплавки внешних поверхностей плоских деталей и тел вращения, при помощи металлического порошка.

2. Обработка тел вращения происходит с использованием двухосевого позиционера KUKA DKP-400 и трех-кулачкового патрона ДУ 250.

3. В состав Установки входит иттербиевый волоконный лазер ЛС-4, максимальная допустимая выходная мощность излучения 4 кВт на длине волны от 1064 до 1080 нм.

4. По степени лазерной опасности Установка относится к 4 классу (согласно ГОСТ 31581-2012, СанПин 2.2.4.3359-16).

5. Установка оборудована ручным графическим терминалом KUKA Smart Pad для управления промышленным роботом-манипулятором KUKA KR-120 и двухосевым позиционером KUKA DKP-400.

6. Лазерный луч доставляется к Голове оптической FLW-D50L (далее ГО) посредством волоконно-оптического кабеля.

7. Позиционирование ГО в рабочей зоне осуществляется при помощи промышленного робота-манипулятора KUKA KR-120.

Внешний вид Установки представлен на рисунке 2.1.



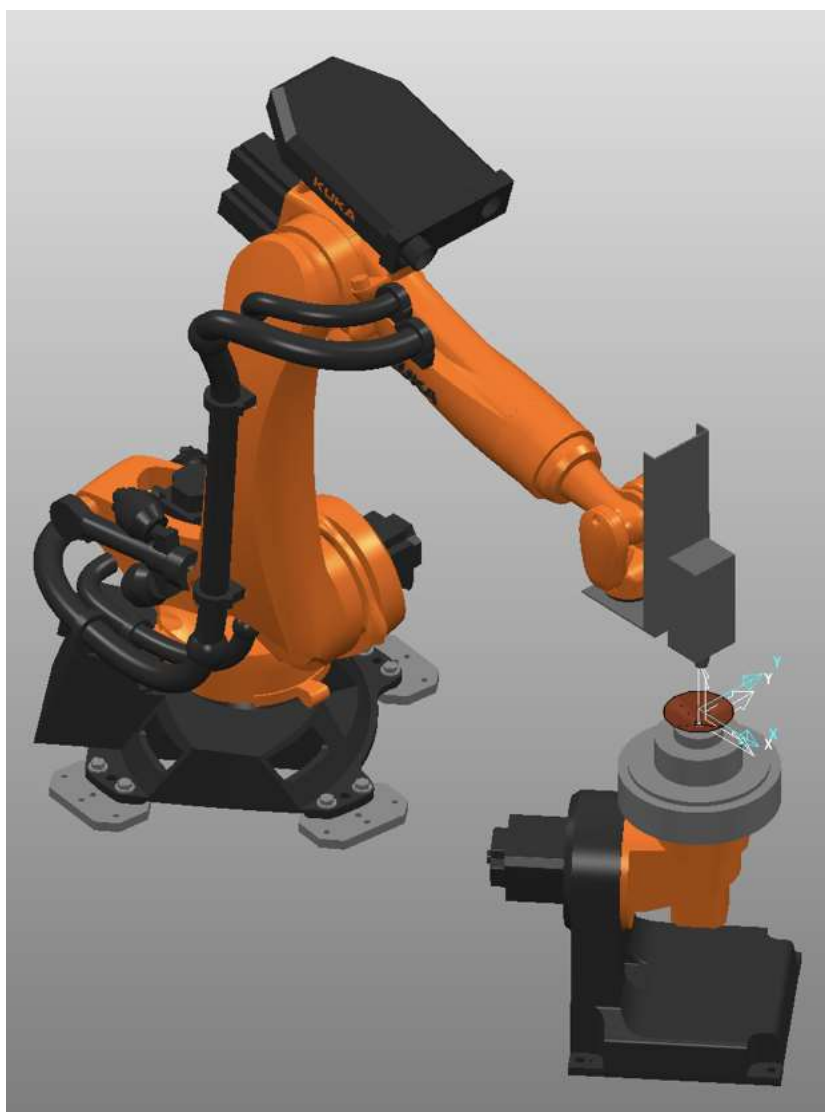


Рисунок 2.1 – Внешний вид лабораторной установки

### 3. ДЕТОНАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

#### 3.1. Технология и оборудование детонационного комплекса CCDS2000

Детонационный комплекс CCDS2000 (рисунок 3.1) состоит из четырех основных блоков: Детонационная пушка с двумя дозаторами (рисунок 3.2), компьютерный блок управления (рисунок 3.3), система охлаждения (рисунок 3.4) и панель манометров. Все блок и соединены специальными электрическими кабелями и шлангами.



Рисунок 3.1 – Изображение установки детонационного комплекса CCDS2000



Рисунок 3.2 – Пушка



Рисунок 3.3 – Компьютерный блок управления



Рисунок 3.4 – Чиллер (система охлаждения)

Комплекс детонационного напыления CCDS2000 предназначен для нанесения порошкового покрытия путем напыления различных материалов на поверхность объектов, открытых для попадания высокоскоростного потока частиц. Комплекс состоит из детонационной пушки, порошковых дозаторов, панели манометров, блока управления и системы охлаждения (комплекс может оснащаться различными системами манипулирования, как пушкой, так и деталью). Принцип работы пушки CCDS2000 основывается на нескольких основных процессах:

- открытый на конце ствол заполняется газовой смесью;
- дозированная порция порошка вбрасывается в ствол;
- детонация возбуждается у закрытой части ствола; продукты детонации ускоряют порошок, разогревая его частицы до температуры плавления и наносят его на поверхность напыляемого объекта;
- после каждого выстрела ствол продувается азотом, для очистки от остатков продуктов детонации;
- как только разогретые частицы порошка достигают напыляемой поверхности объекта, они прочно закрепляются на поверхности, образуя покрытие толщиной до 10 микрон;
- желаемая толщина наносимого слоя достигается за счет последовательных серий выстрелов, во время которых объект может перемещаться при помощи манипулятора;

Номинальная скорострельность пушки CCDS200 составляет 5 выстрелов в секунду. Максимальная скорострельность достигает 10 выстрелов в секунду. Управление пушкой CCDS2000 осуществляется промышленным компьютерным блоком, который используется для программирования процесса напыления и координации движения манипулятора (если комплекс укомплектован штатной системой манипулирования), перемещающего напыляемое изделие; в процессе напыления компьютерный блок контролирует ход выполнения заданной программы. Технология напыления может быть легко изменена, и все заданные параметры могут быть сохранены на внешних дисковых накопителях(flash-карты).

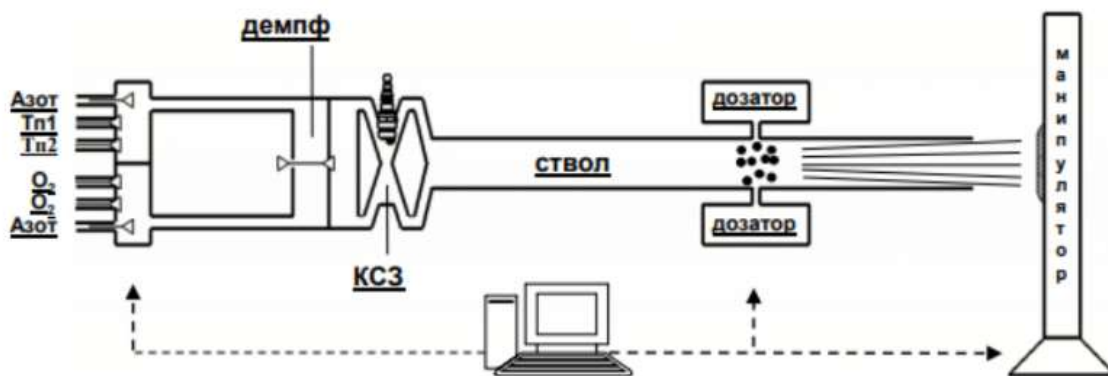


Рисунок 3.5 – Схема системы компьютеризированного комплекса детонационного напыления CCDS2000

Пушка CCDS2000 состоит из четырех основных элементов: газовый коммутатор, ствол, ствольный клапан, дозатор порошка. При детонационном напылении смесь ацетилена, кислорода и порошка подается в камеру и взрывается при помощи искры. Ударная волна в сопловой трубе ускоряет распыляемые частицы. После каждого взрыва камеру сгорания и трубу продувают азотом. В условиях детонации температура продуктов сгорания достигает  $4\ 000^{\circ}\text{C}$  (при свободном горении температура сжигания кислородно-ацетиленовой смеси  $3\ 140^{\circ}\text{C}$ ). Это позволяет повысить давление в сопловой трубе и разогнать частицы до высоких скоростей. Скорость перемещения поверхности, дистанция и угол столкновения частиц являются

важными критериями в процессе напыления и получении желаемого качества покрытия. В основном, скорость перемещения напыляемой поверхности должна быть рассчитана с целью получить идеальное перекрытие пятен (рисунок 3.7). Такое перекрытие пятен дает равномерный слой покрытия и определяет качественные характеристики получаемого покрытия.

На рисунке 3.6 показаны три варианта схем формирования слоя, удовлетворяющие этим требованиям. В первом варианте (рисунок 3.6, а) центры пятен образуют квадратную сетку с шагом, равным половине диаметра пятна. Анализ показывает, что в этом случае слой покрытия содержит фрагменты с 2-х, 3-х и 4-х кратным перекрытием основных пятен. При этом в зонах с 2-х кратным перекрытием наблюдается наибольшая концентрация «грязи» - перекрытие основным пятном происходит после накопления 3-х кратного слоя «грязи», в зонах с 3-х кратным перекрытием основных пятен, накапливается 2-х кратный слой «грязи» и в зонах с 4-х кратным перекрытием - слой «грязи» сразу же перекрывается основным пятном.

За счет параллельного сдвига соседних рядов на четверть пятна при сохранении смещения пятен в ряду и одного ряда относительно другого (рисунок 3.6, б) можно увеличить площадь зон основной толщины (с 3-х кратным наложением основных пятен). В целом же структура слоя остается прежней.

Наиболее однородна структура слоя, когда центры пятен располагаются в узлах правильной треугольной сетки (рисунок 3.6, в). Слой состоит из фрагментов с 3-х и 4-х кратным перекрытием основных пятен и зона «грязи», накладываясь не более двух раз, уже перекрывается основным пятном.

Без сдвига слоев при наращивании слоя покрытия возникает эффект «накопления» неоднородности толщины в результате последовательного суммирования. Для предотвращения этого эффекта необходимо производить

сдвиг слоев по схеме: узел сетки - в центр ячейки, последовательно уменьшая размер ячейки от слоя к слою.

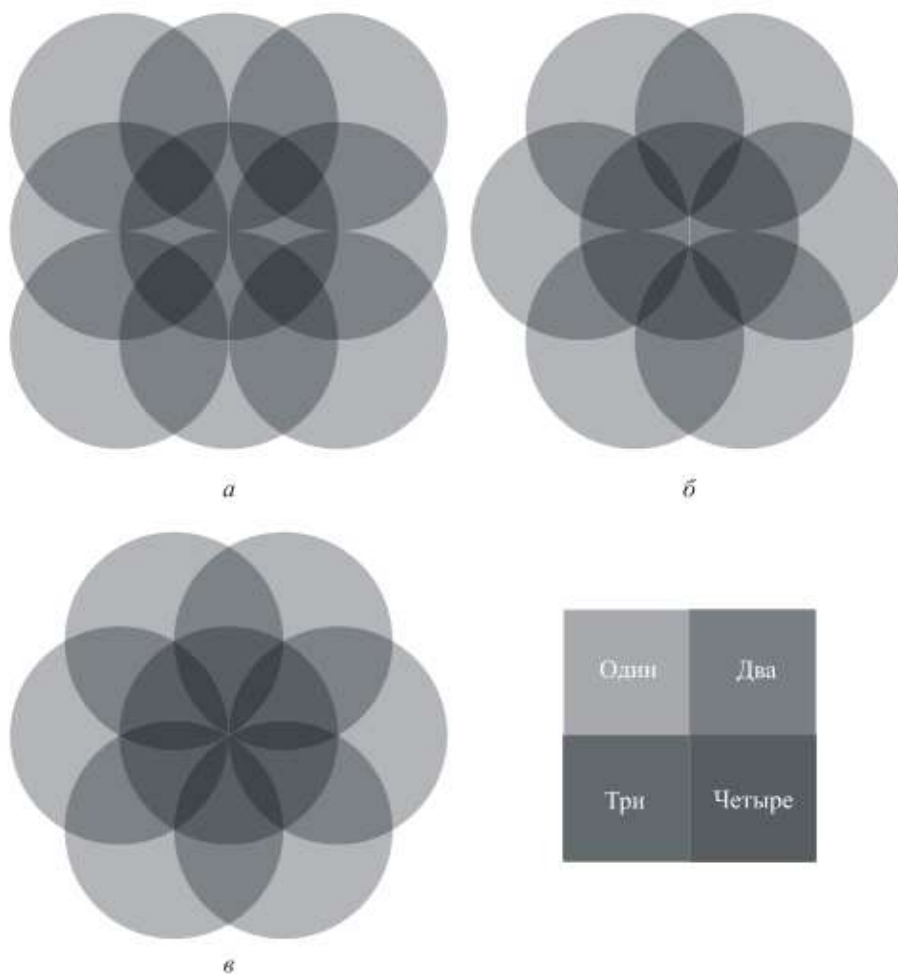


Рисунок 3.6 – Варианты наложения пятен

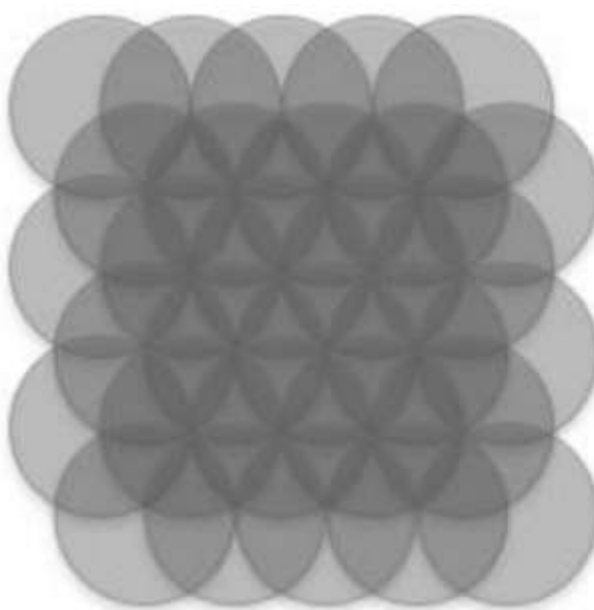


Рисунок 3.7 – Перекрытие пятен

Дистанция напыления – это расстояние от среза ствола детонационной пушки до поверхности напыляемой детали. Это расстояние может варьироваться в пределах 50–300 мм. Для каждого материала существует своя соответствующая дистанция.

### 3.2. Подготовка обрабатываемой поверхности перед детонационным напылением

Основные требования к «эффективному» рельефу:

- глубокая проработка;
- развитый спектр;
- масштаб, сравнимый с размером напыляемых частиц.

Предварительная подготовка поверхности заключается в пескоструйной обработке и последующем обезжиривании поверхности. Поверхность обрабатывается потоком частиц твердого кристаллического материала, например, электрокорунда. Поток создается в результате разгона частиц в пневматическом пистолете.

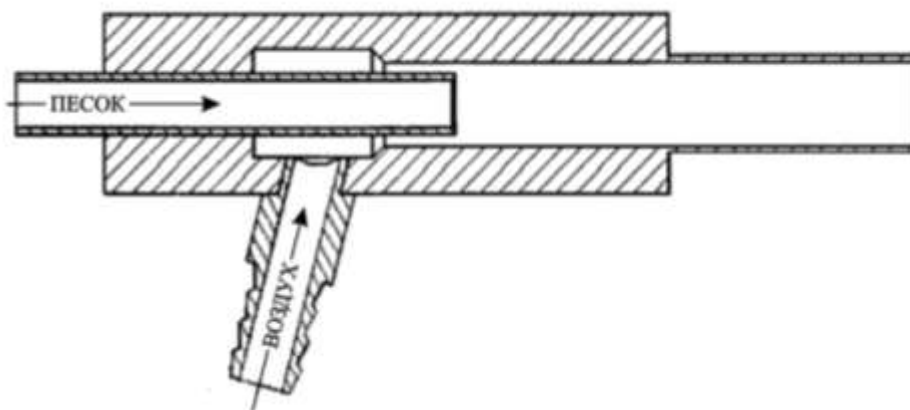


Рисунок 3.8 – Схема пневматического пистолета для пескоструйной обработки

На поверхности «отпескоструенной» детали образуется рельеф, который способствует лучшему схватыванию напыляемого слоя и поверхности детали. Последующее обезжиривание обязательно для получения высокой адгезии.

## 4. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ

4.1. Восстановление шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления

Для проведения исследований шейки валков из стали марки X2CrNiMo17-12-3 (наш аналог 02X17H14M3) предоставлены компанией SMS Group.

В ходе работы необходимо было подобрать такие режимы наплавки, которые обеспечили бы минимальную пористость, отсутствие трещин и позволили получить поверхность с твердостью согласно ГОСТ3541-79 не менее 30 HSD.

В ходе работы были проведены эксперименты по нанесению одиночных валиков разных параметров лазерной наплавки. При этом изменялись параметры: мощность, скорость движения лазера, смещение пятна лазера; на основании полученных образцов были отобраны режимы для дальнейшей наплавки на шейки валков.

После анализа рынка порошкового материала для данной работы по восстановлению шеек прокатных валков был выбран порошковый материал наиболее близкий по химическому составу к основному материалу шеек из представленного на рынке порошкового материала. Это порошок под номером сплава 30.46.2 с размером частиц от 61 до 151 мкм компании GTV химического состава согласно сертификата, указанного в таблице 2, который соответствует нержавеющей стали аустенитного класса марки 316L или российской марки 03X17H14M2.

Для экспериментов были взяты две подложки из марки стали 02X17H14M3. Режимы первого эксперимента приведены в таблице 1. В ходе проведения первой наплавки все валики наносились на пластины с постоянной скоростью движения пятна лазера 0,01 м/с и постоянным диаметром пятна 2 мм. Внешний вид полученных образцов приведен на рисунок 4.1.



Таблица 1 – Режимы лазерной наплавки при нанесении валиков на первую пластину

№ режима	Мощность P, Вт	Скорость перемещения V, м/с	Подача порошка W, %	Диаметр пятна d, мм	Масса подложки до наплавки, кг	Смещение, мм	Расход порошка, г/мин
1	900	0,01	9±0,3	2	0,564	1	13,5
2	1200	0,01	8±0,3			1,2	12
3	1200	0,01	12±0,3			1	18
4	1000	0,01	8±0,3			1,2	12
5	1000	0,01	10±0,3			1	15
6	1200	0,01	10±0,3			1	15

Таблица 2 – Химический состав порошкового материала марки 03X17H14M2

Химический состав, %					
Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Основа	17	12,5	0,1	2,5	1



Рисунок 4.1 – Внешний вид наплавленных валиков

После анализа внешнего вида полученных валиков на первой пластине было выявлено, что сплавление порошка и подложки, на образцах №4 и №5, не случилось.

Режимы второго эксперимента приведены в таблице 3. В ходе проведения второй наплавки все валики наносились на пластину с постоянной скоростью движения пятна лазера 0,02 м/с и постоянным диаметром пятна 2 мм.

Таблица 3 – Режимы лазерной наплавки при нанесении валиков на вторую пластину

№ режима	Мощность P, Вт	Скорость перемещения V, м/с	Подача порошка W, %	Диаметр пятна d, мм	Масса подложки до наплавки, кг	Смещение, мм	Расход порошка, г/мин
1	900	0,02	9±0,3	2	0,576	1	13,5
2	1000	0,02	10±0,3			1	12
3	1200	0,02	12±0,3			1	15

После анализа внешнего вида полученных валиков на второй пластине было выявлено, что высота наплавленного слоя, на всех образцах, была незначительной.

Для определения качества поверхности, полученных в ходе работы образцов, было проведено металлографическое исследование и измерение твердости наплавленных валиков.

Прежде чем проводить металлографическое исследование и измерение твердости пластины требовалось подготовить:

- были разрезаны на образцы;
- запрессованы в бакелит;
- проведена шлифовка и полировка образцов для дальнейшей работы на микроскопе и твердомере.

Образцы для металлографического исследования представлены на рисунке 4.2. Также образцы были потравлены. Травление образцов осуществлялось 3% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.



Рисунок 4.2 – Шлифы для металлографического исследования

После металлографического исследования оказалось, что на режиме № 1 и № 2 произошло капельное формирование поверхности (рисунок 4.3). Режим № 3 приводил к растеканию наплавленного слоя (рисунок 4.4).

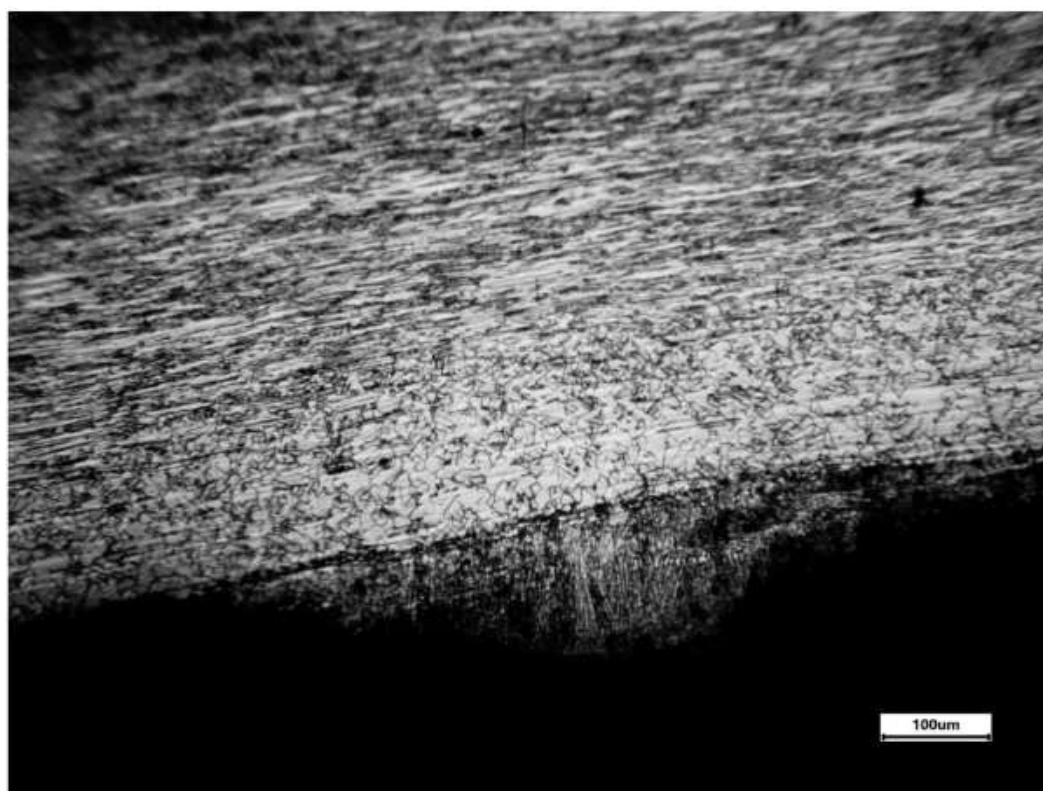


Рисунок 4.3 – Капельное формирование поверхности наплавленного слоя, нанесенного на вторую пластину (x100)

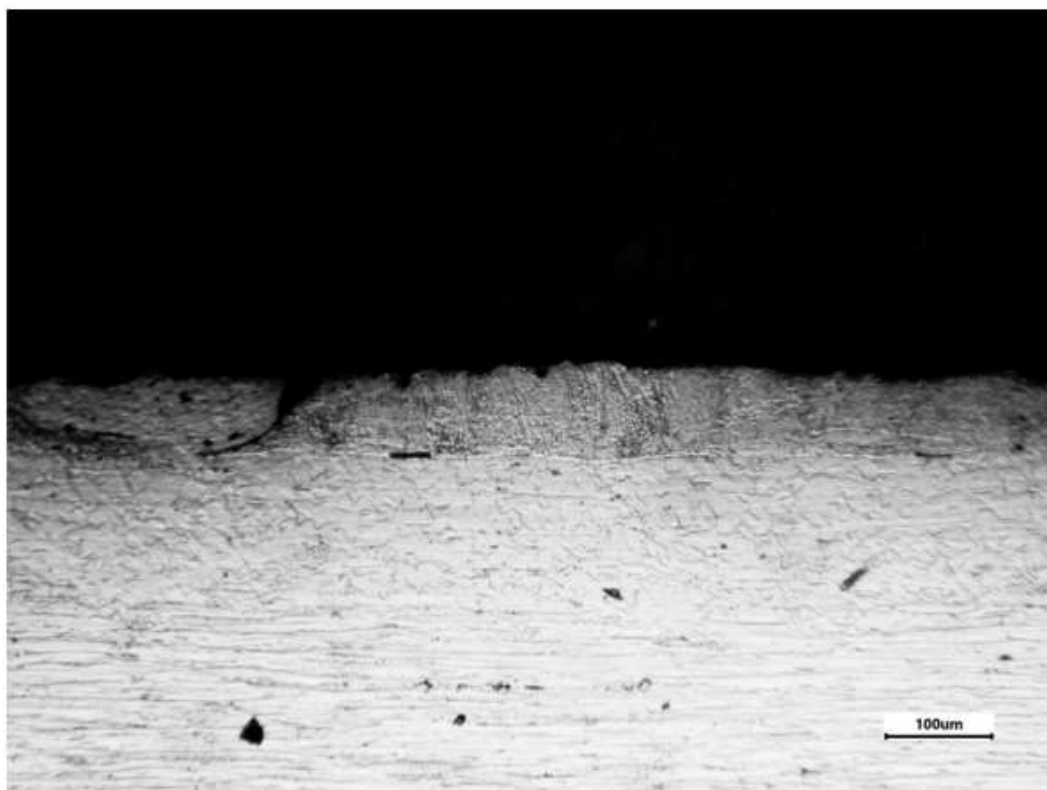


Рисунок 4.4 – Режим №3 наплавленного слоя, нанесенного на вторую пластину (x100)

Проведя металлографическое исследование получившихся образцов, вырезанных из первой пластины, оказалось, что микроструктура (рисунок 4.5, 4.6, 4.7, 4.8), высота и переплавка подложки с наплавляемым порошком подходят под заданные требования. На изображениях микроструктуры при увеличении x100 отчетливо наблюдается переход зерна металла из одного трека в другой, из этого можно сделать вывод о неразрывности слоев наплавленного валика.

После анализа получившихся образцов был выбран один режим для дальнейшей работы по восстановлению поверхности шеек. Выбор пал на режим №2 наплавленный на первую пластину, который позволял получить удобную для наплавления высоту валика.



Рисунок 4.5 – Режим № 1 наплавленного слоя, нанесенного на первую пластину (x100)



Рисунок 4.6 – Режим №2 наплавленного слоя, нанесенного на первую пластину (x100)

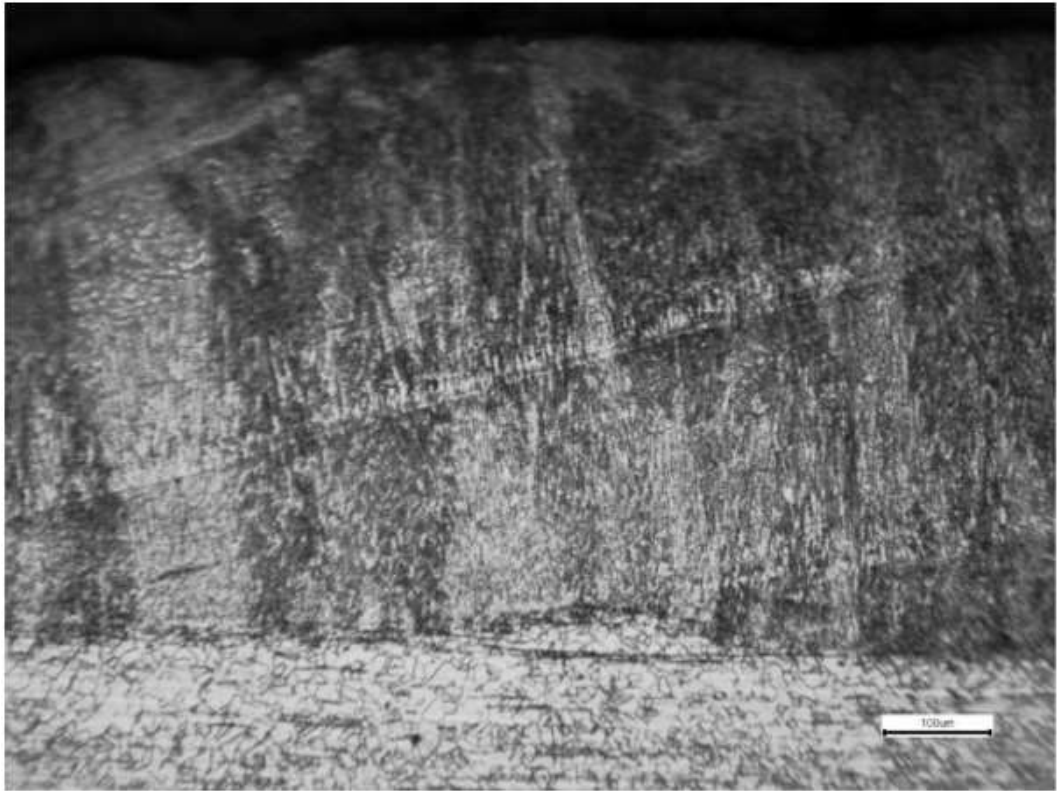


Рисунок 4.7 – Режим №3 наплавленного слоя, нанесенного на первую пластину (x100)

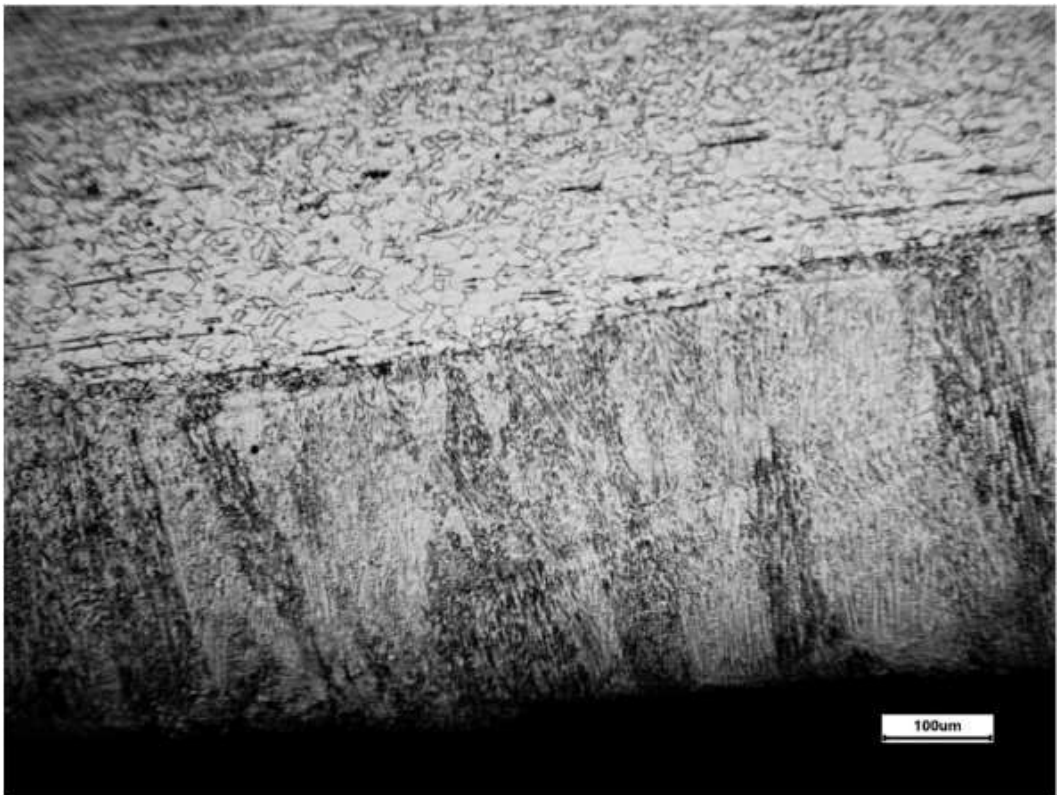


Рисунок 4.8 – Режим №6 наплавленного слоя, нанесенного на первую пластину (x100)

Исследования микроструктуры наплавленного валика при увеличении  $\times 500$  (рисунок 4.9) и микрошлифа (рисунок 4.10) образца показали, что качество поверхности соответствует требуемым характеристикам, а именно позволяет получить в покрытии минимальную пористость не менее 1% и исключить образование трещин и микротрещин.

Были проведены измерения микротвердости по схеме, приведенной на рисунке 4.11. Измерения проводились на стационарном универсальном твердомере модели HV-1000. График результатов измерения твердости по горизонтали и вертикали приведен на рисунке 4.12.

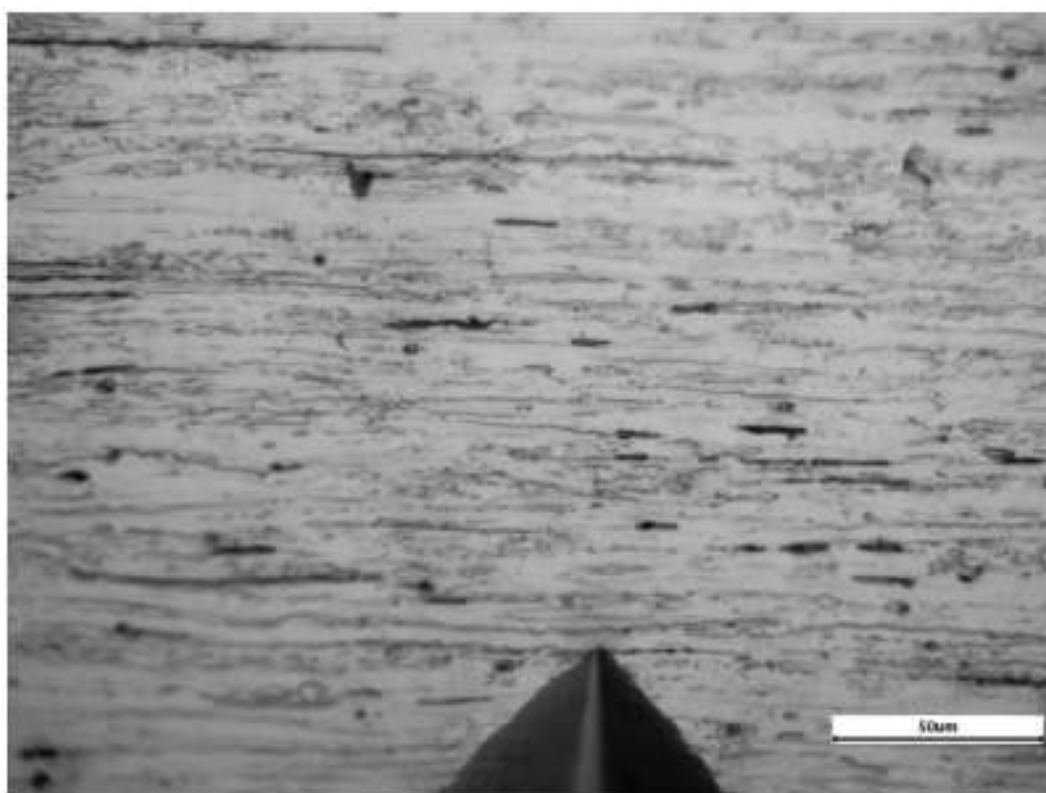


Рисунок 4.9 – Микроструктура наплавленного валика ( $\times 500$ )

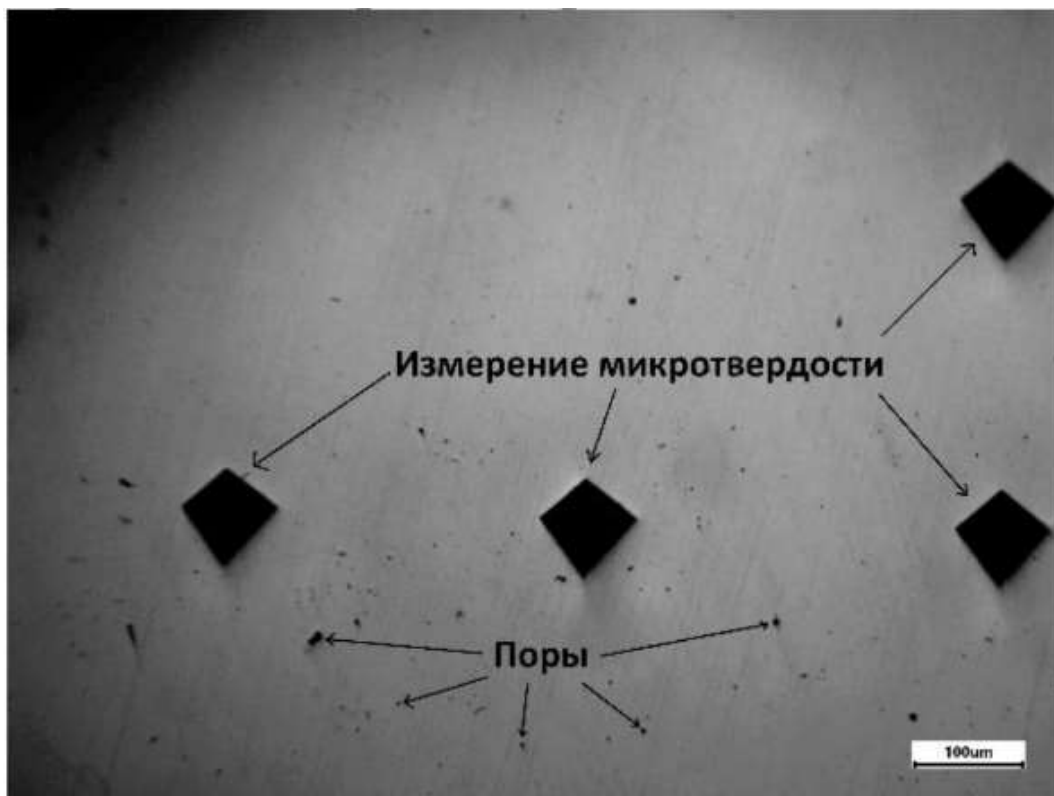


Рисунок 4.10 – Микрошлиф наплавленного слоя для определения пористости

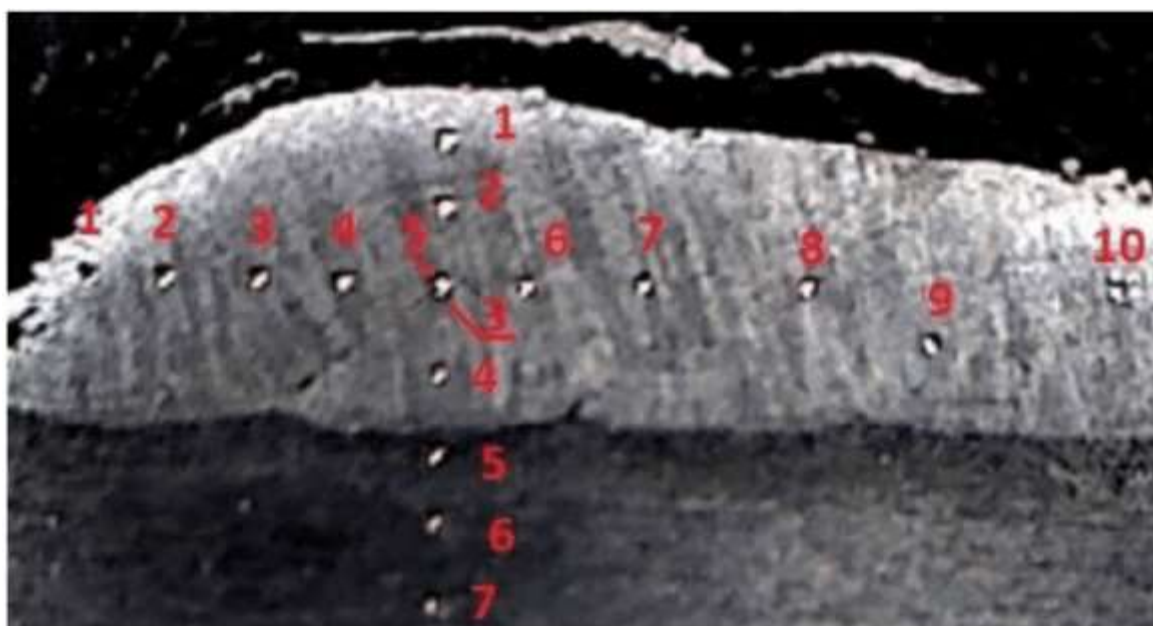


Рисунок 4.11 – Схема измерения микротвердости (x50)



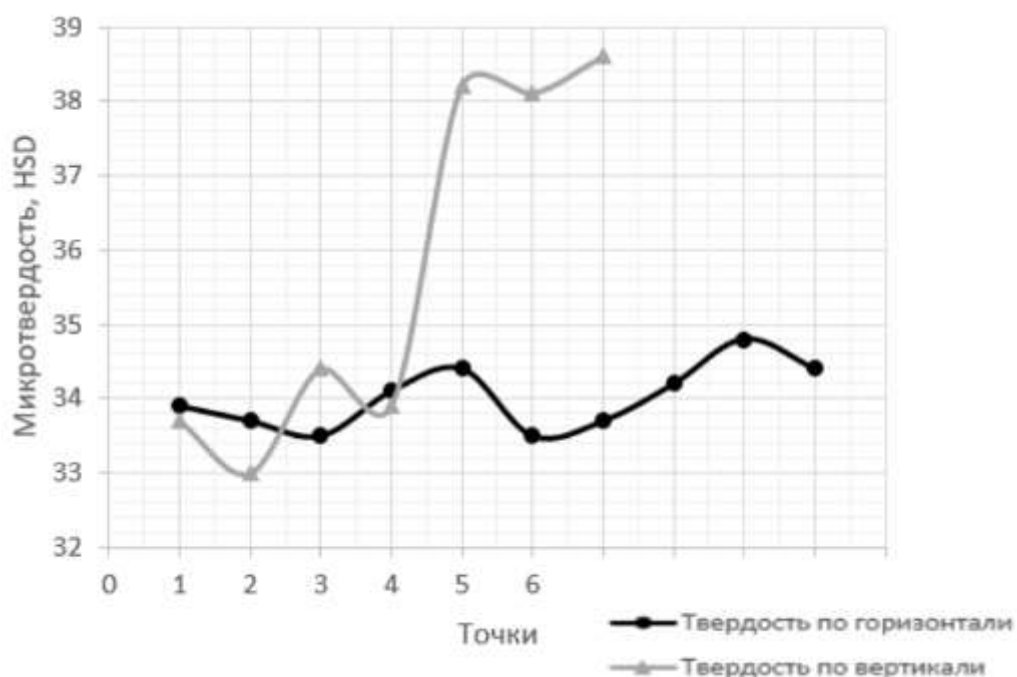


Рисунок 4.12 – График результатов измерения микротвердости

Следует отметить, что для нанесения покрытия на поверхность шейки валка, необходимо было задать траекторию движения оптического лазера, повторяющую геометрию поверхности изделия. Для этого была написана специальная программа движения робота. Для этого были взяты геометрически схожие цилиндрические образцы. Проведя несколько пробных наплавки на цилиндрическом образце и скорректировав движение робота, было получено требуемое по толщине покрытие (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Цилиндрический образец для отработки геометрии после наплавки

После завершения всего цикла экспериментов и отработки движения лазерной установки следовала наплавка на шейки валков. На рисунке 4.14 представлено готовое покрытие на рабочей поверхности шейке валка. [4]



Рисунок 4.14 – Готовое покрытие рабочей поверхности шеек валков

4.2. Восстановление рабочей поверхности валка для холодной прокатки методом прямого лазерного сплавления

Для проведения исследований был взят валок для холодной прокатки со стана кварта 200 из марки стали 9ХС.



Рисунок 4.15 – Валок для холодной прокатки

В ходе работы необходимо было подобрать такие режимы наплавки, которые обеспечили бы минимальную пористость, отсутствие трещин и позволили получить поверхность с твердостью согласно ГОСТ3541-79 не менее 60 HSD.

В ходе работы были проведены эксперименты по нанесению одиночных валиков разных параметров лазерной наплавки. При этом

изменялись параметры: мощность, расход порошка; на основании полученных образцов были отобраны режимы для дальнейшей наплавки на рабочую поверхность вала для холодной прокатки.

После анализа рынка порошкового материала для данной работы по восстановлению вала для холодной прокатки был выбран порошковый материал под номером сплава 16006 с размером частиц от 75 до 130 мкм компании Castoline Eutalloy для защиты от абразивного износа и коррозии химического состава согласно сертификата, указанного в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав порошкового материала

Химический состав, %		
Co	Cr	W
Основа	28	4,5

Для экспериментов была взята подложка из марки стали 9ХС. Режимы эксперимента приведены в таблице 5. В ходе проведения наплавки все валики наносились на пластины с постоянной скоростью движения пятна лазера 0,012 м/с, подачей порошка 12% и постоянным диаметром пятна 3 мм. Внешний вид полученных образцов приведен на рисунок 4.1.

Таблица 5 – Режимы лазерной наплавки при нанесении валиков на пластину

№ режима	Мощность Р, Вт	Скорость перемещения V, м/с	Подача порошка W, %	Диаметр пятна d, мм	Расход порошка, г/мин
1	700	0,012	12±0,3	3	13,5
2	1000	0,012	12±0,3	3	12
3	1340	0,012	12±0,3	3	12
4	1860	0,012	12±0,3	3	12
5	2500	0,012	12±0,3	3	15



Рисунок 4.16 – Внешний вид наплавленных валиков

Для определения качества поверхности, полученных в ходе работы образцов, было проведено металлографическое исследование и измерение твердости наплавленных валиков.

Прежде чем проводить металлографическое исследование и измерение твердости пластины требовалось подготовить:

- были разрезаны на образцы;
- запрессованы в бакелит;
- проведена шлифовка и полировка образцов для дальнейшей работы на микроскопе и твердомере.

Образцы для металлографического исследования представлены на рисунке 4.17. Также образцы были потравлены. Травление образцов осуществлялось 3% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.



---

Рисунок 4.17 – Шлифы для металлографического исследования

После анализа получившихся образцов был выбран режим №3 для дальнейшей работы по восстановлению поверхности валика, который позволяет получить удобную для наплавления высоту валика.

Исследования микроструктуры наплавленного валика при увеличении  $\times 100$  (рисунок 4.18) и  $\times 500$  (рисунок 4.19) образца показали, что качество поверхности соответствует требуемым характеристикам, а именно позволяет получить в покрытии минимальную пористость не менее 1% и исключить образование трещин и микротрещин.

Были проведены измерения микротвердости по схеме, приведенной на рисунке 4.20. Измерения проводились на стационарном универсальном твердомере модели HV-1000. График результатов измерения твердости по горизонтали и вертикали праведен на рисунке 4.21.

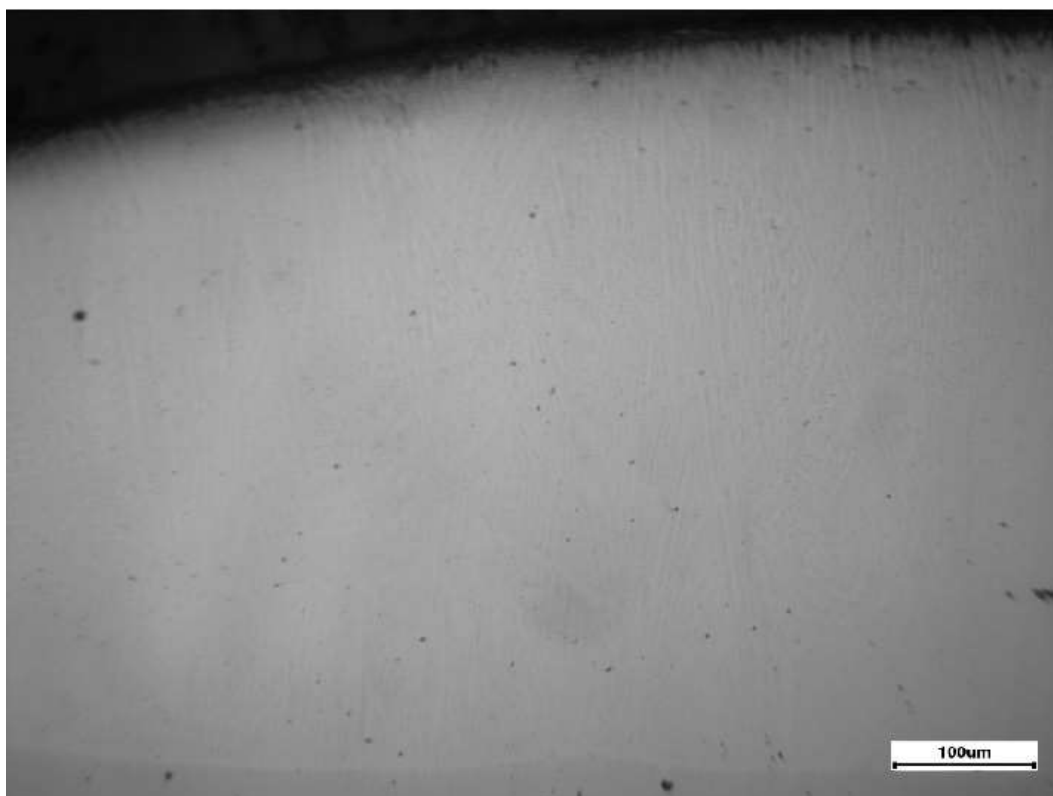


Рисунок 4.18 – Микроструктура наплавленного валика (x100)

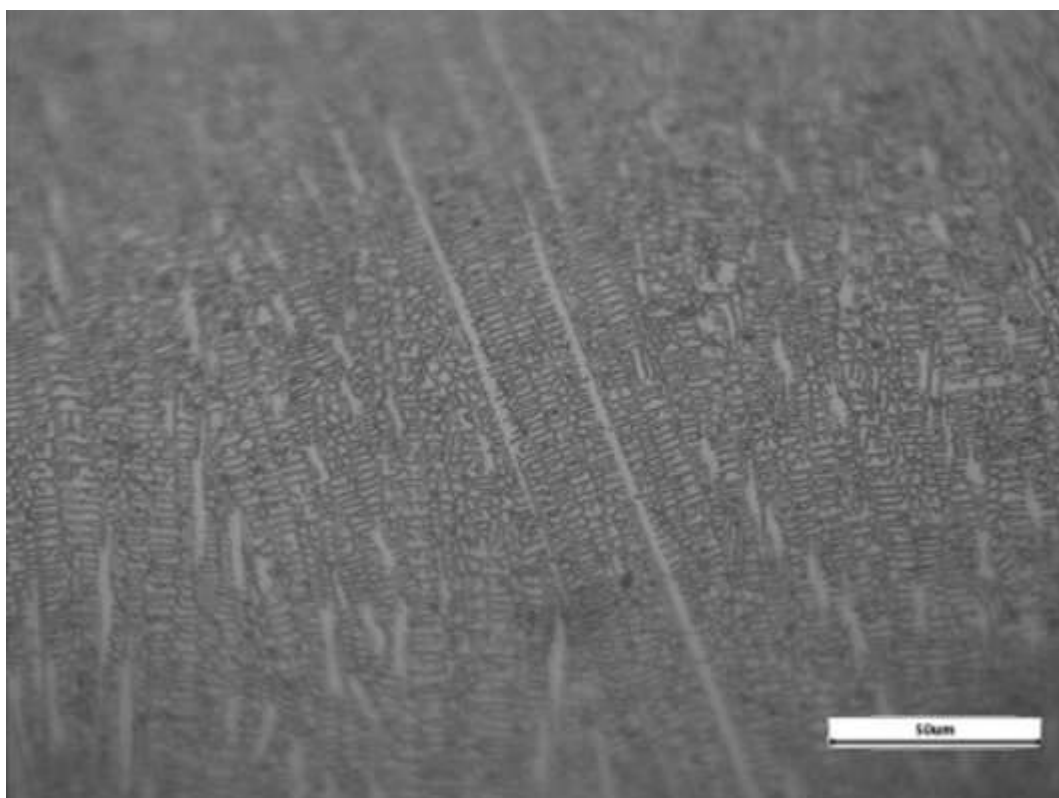


Рисунок 4.19 – Микроструктура наплавленного валика (x500)



Рисунок 4.20 – Схема измерения микротвердости (x50)

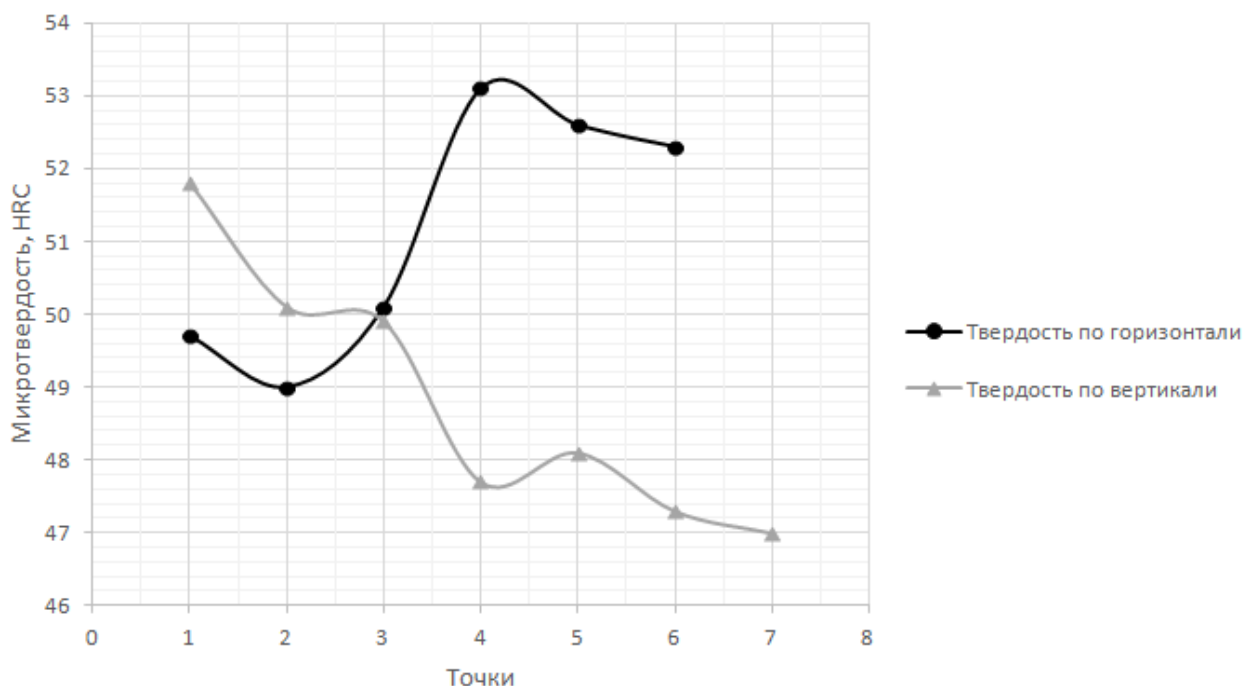


Рисунок 4.21 – График результатов измерения микротвердости

Следует отметить, что для нанесения покрытия на поверхность вала, необходимо было задать траекторию движения оптического лазера, повторяющую геометрию поверхности изделия. Для этого была написана специальная программа движения робота. Для этого были взяты геометрически схожие цилиндрические образцы. Проведя несколько пробных наплавки на цилиндрическом образце и скорректировав движение робота, было получено требуемое по толщине покрытие (рисунок 4.22).

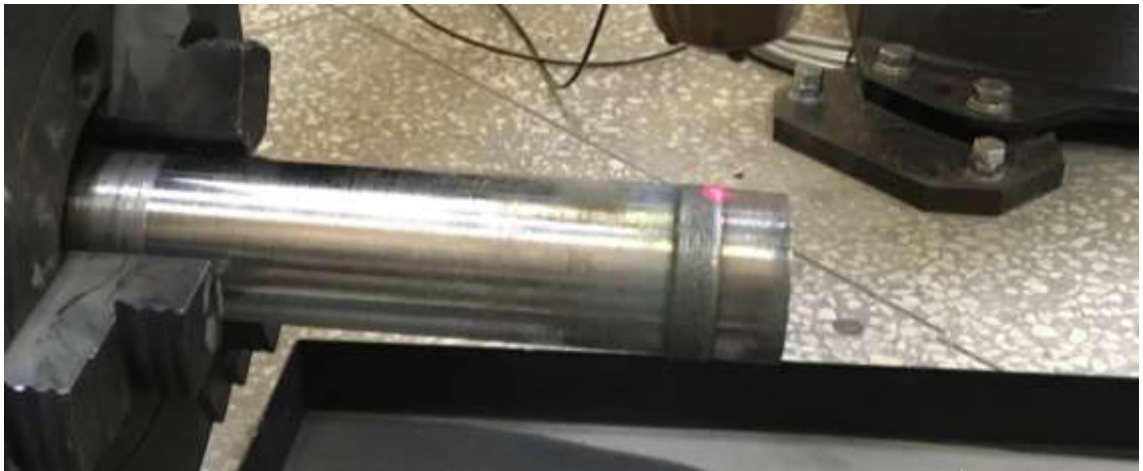


Рисунок 4.22 – Цилиндрический образец в процессе отработки геометрии

После завершения всего цикла экспериментов и отработки движения лазерной установки следовала наплавка на валок. На рисунке 4.23 представлены три зоны поверхности валка: изношенный слой, наплавленный слой и слой после механической обработки наплавленного слоя. Однако на поверхности металла прилегающей к зоне наплавки появились цвета побежалости.



Рисунок 4.23 – Валок для холодной наплавки с тремя зонами поверхности

4.3. Восстановление рабочей поверхности роликов ЛСО методом прямого лазерного сплавления

Для проведения исследований были взяты два ролика ЛСО предоставлены компанией SMS Group (рисунок 4.24) из марки стали 25X1МФ. Стоит отметить, то что выработка рабочего слоя у роликов разная. Основным требованием служило то, что по завершению работы диаметры роликов должны были быть одинаковыми.



В ходе работы необходимо было подобрать такие режимы наплавки, которые обеспечили бы минимальную пористость, отсутствие трещин и позволили получить поверхность с твердостью согласно ГОСТ3541-79 не менее 60 HSD.



Рисунок 4.24 – Изношенные ролики ЛСО

В данной работе были проведены эксперименты по нанесению одиночных валиков разных параметров лазерной наплавки. При этом изменялись параметры: мощность, скорость движения пятна, расход порошка; на основании полученных образцов были отобраны режимы для дальнейшей наплавки на рабочую поверхность роликов ЛСО.

После анализа рынка порошкового материала для данной работы по восстановлению вала для холодной прокатки был выбран порошковый материал под номером сплава 16004 с размером частиц от 61 до 151 мкм компании Castoline Eutalloy для упрочняющей наплавки с очень тонкой мартенситной структурой химического состава согласно сертификата, указанного в таблице 6. Отличная устойчивость к нагреву, тепловым ударам и коррозии. Хорошая устойчивость к растрескиванию. Хорошая стойкость к адгезии в паре трения металл-металл.

Таблица 6 – Химический состав порошкового материала

Химический состав, %			
Fe	Cr	Co	Mo
База	15	15	2,5

Предварительную отработку режимов наплавки осуществляли на толстостенные трубы из марки стали 25. Режимы эксперимента приведены в таблице 7. Внешний вид полученных образцов приведен на рисунок 4.25.

Таблица 7 – Режимы лазерной наплавки при нанесении валиков на пластину

№	Мощность, Вт	Скорость перемещения V, мм/с	Количество подаваемого порошка W, %	Диаметр пятна d, мм	Смещение	Расход порошка, г/мин	Расход газа, м <sup>3</sup>
1	2200	18	20	2	1,44	30	24
2	2200	25	20	2	1,44	30	24
3	3200	21	27	2	1,44	40,5	26
4	3000	27	27	2	1,44	40,5	26



Рисунок 4.25 – Внешний вид наплавленных валиков

Для определения качества поверхности, полученных в ходе работы образцов, было проведено металлографическое исследование и измерение твердости наплавленных валиков.

Прежде чем проводить металлографическое исследование и измерение твердости пластины требовалось подготовить:

- были разрезаны на образцы;
- запрессованы в бакелит;
- проведена шлифовка и полировка образцов для дальнейшей работы на микроскопе и твердомере.

Образцы для металлографического исследования представлены на рисунке 4.26. Также образцы были потравлены. Травление образцов осуществлялось 3% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.



Рисунок 4.26 – Шлифы для металлографического исследования

После анализа получившихся образцов были выбраны режим №1 и №2 для дальнейшей работы по восстановлению поверхности роликов ЛСО, которые позволяют получить удобное для наплавления высоту валика. Режим №1 позволяет получить высоту валика 2 мм, а режим №2 высоту 1,5 мм.

Исследования микроструктуры при увеличении  $\times 100$  (рисунок 4.27) и  $\times 500$  (рисунок 4.28) образца показали, что качество поверхности соответствует требуемым характеристикам, а именно позволяет получить в покрытии минимальную пористость не менее 1% и исключить образование трещин и микротрещин.

Были проведены измерения микротвердости по схеме, приведенной на рисунке 4.29. Измерения проводились на стационарном универсальном твердомере модели HV-1000. График результатов измерения твердости по горизонтали и вертикали праведен на рисунке 4.30.

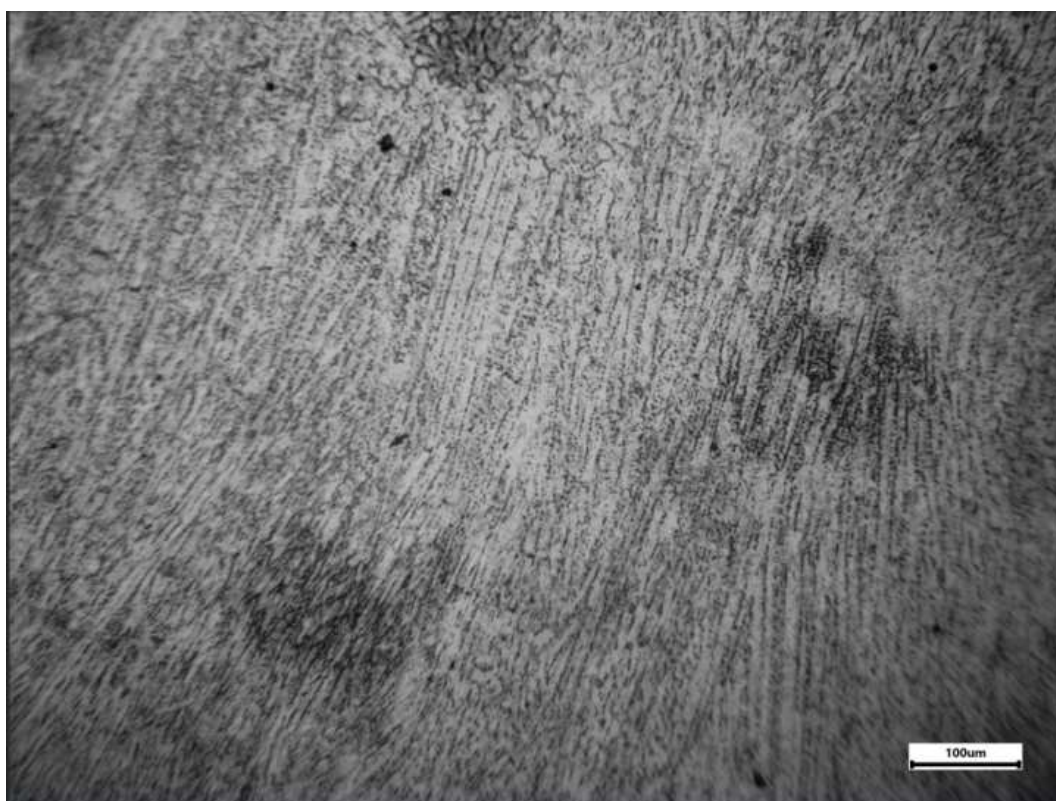


Рисунок 4.27 – Микроструктура наплавленного слоя ( $\times 100$ )

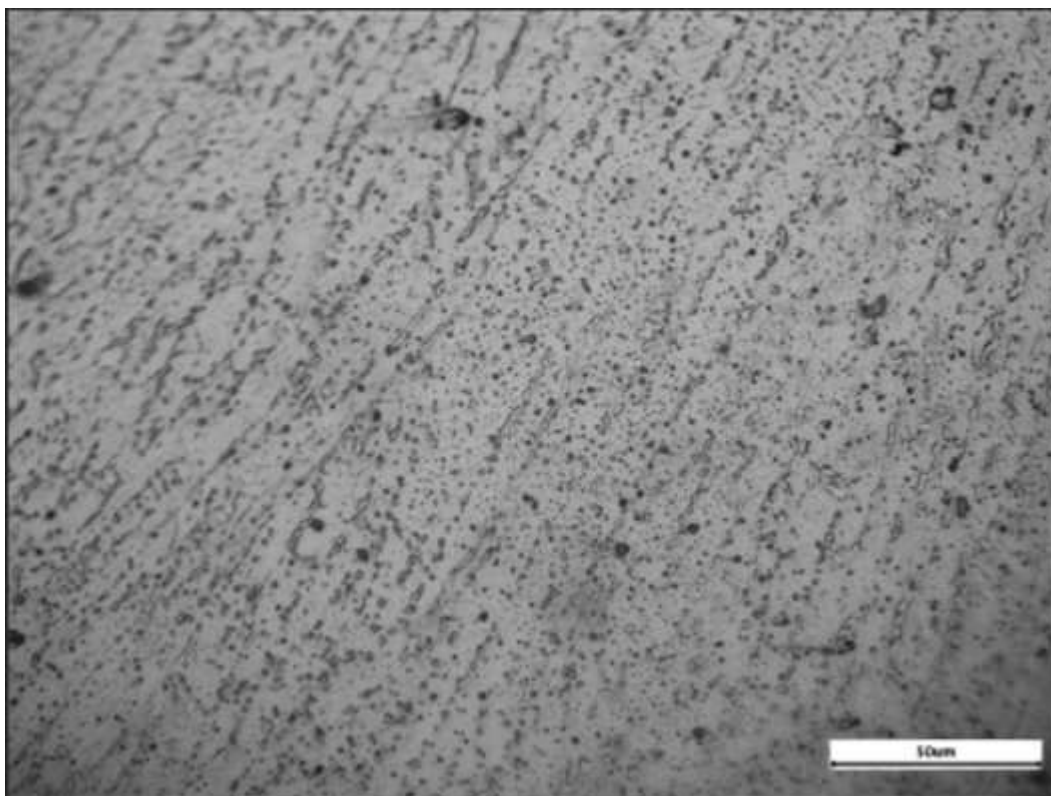


Рисунок 4.28 – Микроструктура наплавленного слоя (x500)



Рисунок 4.29 – Схема измерения микротвердости (x50)

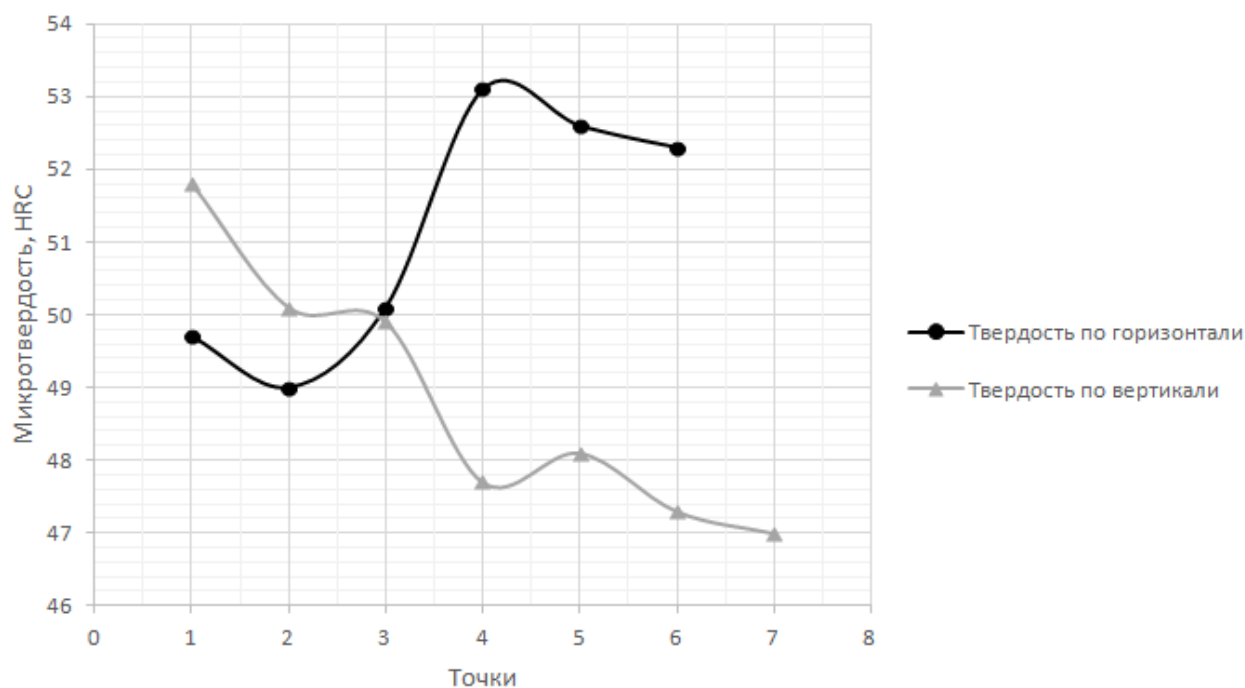


Рисунок 4.30 – График результатов измерения микротвердости

Для нанесения покрытия на поверхность роликов ЛСО, необходимо было задать траекторию движения оптического лазера, которая повторяла бы геометрию поверхности изделия. Для этого была написана специальная программа движения робота. Были взяты геометрически схожие цилиндрические образцы, на которых проводились пробные наплавки. Скорректировав движение робота, было получено требуемое по толщине покрытие.

Перед проведением работ по наплавке была проведена механическая обработка роликов с целью удаления оксидного слоя и дефектов с поверхности. После завершения цикла экспериментов и отработки движения лазерной установки следовала наплавка на ролики ЛСО. На рисунке 4.31 представлены ролики ЛСО с готовым покрытием. После наплавки технологического слоя на ролики была проведена операция финишной проточки на токарном станке с целью доведения геометрического размера и достижения требуемой чистоты поверхности (рисунок 4.32). Следует отметить, что после наплавки диаметры роликов одинаковы.

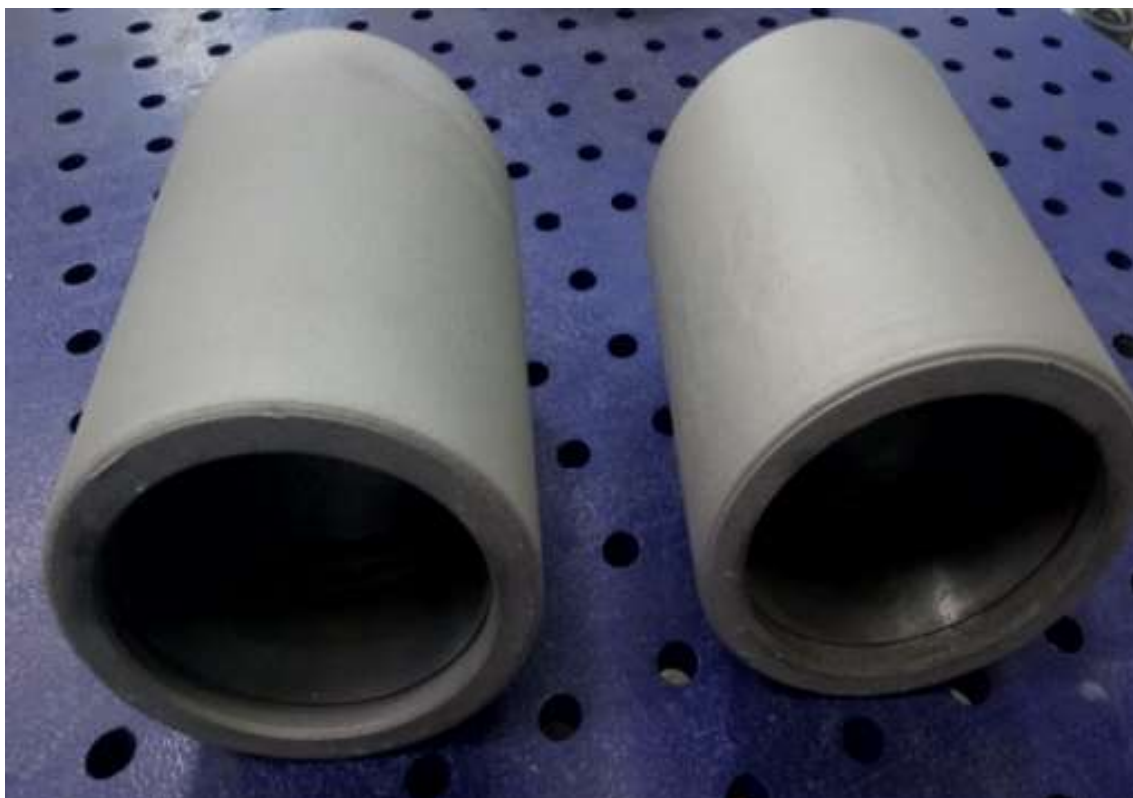


Рисунок 4.31 – Готовое покрытие на роликах ЛСО до механической обработки



Рисунок 4.32 – Ролики ЛСО после проточки на токарном станке технологического слоя

## 5. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЯНУЩЕГО БАРАБАНА ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯ

Целью данной работы является разработка технологии получения функционального поверхностного слоя тянущего барабана (рисунок 5.1) волочильного стана с повышенными эксплуатационными свойствами.

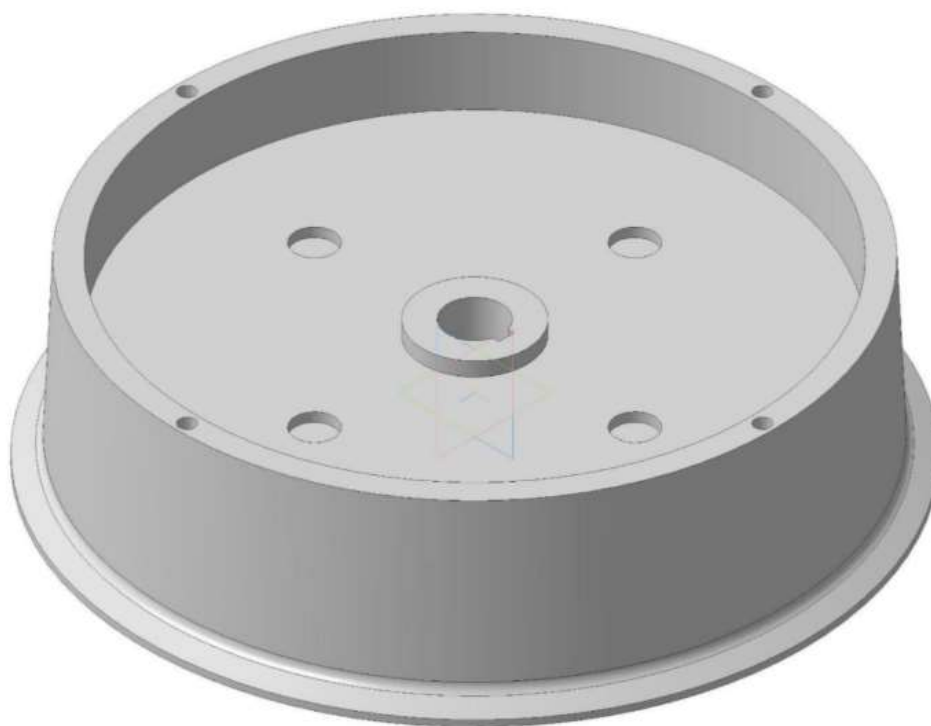


Рисунок 5.1 – Тянущий барабан

Поскольку тянущий барабан является изделием достаточно массивным, диаметр его составляет 400 мм, а масса более 50 кг, то отработку технологии получения функционального слоя осуществляли на моделирующих образцах (подложка для отработки режимов).

Для восстановления тянущего барабана и получения на рабочей поверхности функционального поверхностного слоя было рассмотрено два метода упрочнения поверхности: детонационное напыление с последующим проправлением нанесенного слоя лазером и лазерная наплавка порошкового материала.



Для детонационного напыления был выбран порошок компании Castoline под номером 55586С. Порошок на основе карбида вольфрама применяется для защиты от износа и коррозии при температуре ниже 480°С. Химический состав согласно сертификату, приведен в таблице 8.

Таблица 8 – химический состав порошкового материала

Химический состав, %		
WC	Co	Cr
Основа	10	4

Поскольку тянувший барабан является изделием достаточно массивным, диаметр его составляет 400 мм, а масса более 50 кг, то отработку технологии получения функционального слоя осуществляли на моделирующих образцах (рисунок 5.2). Поверхность образцов (подложки) из марки стали 40Х перед нанесением упрочняющего слоя подверглась зачистке в абразивоструйной кабине.



Рисунок 5.2 – Образцы (подложка) из марки стали 40Х

При упрочнении детонационным методом с последующим проплавлением на подложку было сделано 35 выстрелов порошком на основе карбида вольфрама WC-10Co-4Cr. Полученное покрытие было равномерным. Для исследования микроструктуры и определения микротвердости изготавливались металлографические шлифы (рисунок 5.3). Травление образцов осуществлялось 3% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

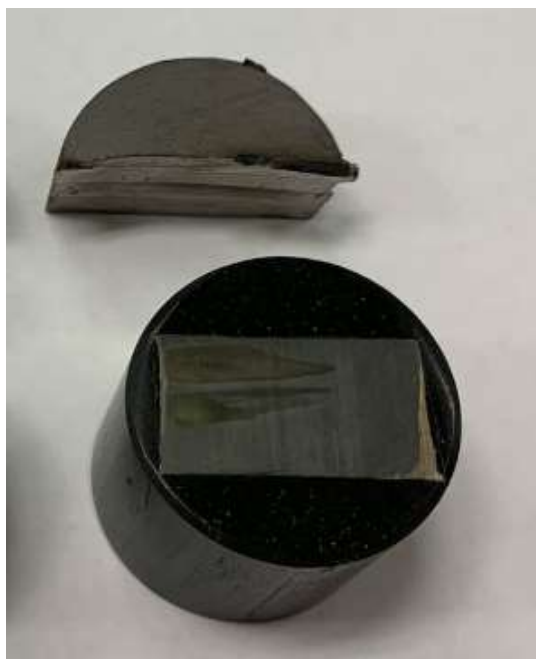


Рисунок 5.3 – Шлиф с детонационным напылением для металлографического исследования

Металлографическое исследование при увеличении  $\times 100$  показало, что толщина покрытия в пределах  $0,25$  мм (рисунок 5.4), покрытие очень плотное и равномерное. На рисунке 5.5 показана зона сцепления покрытия с основным металлом при увеличении  $\times 500$ .

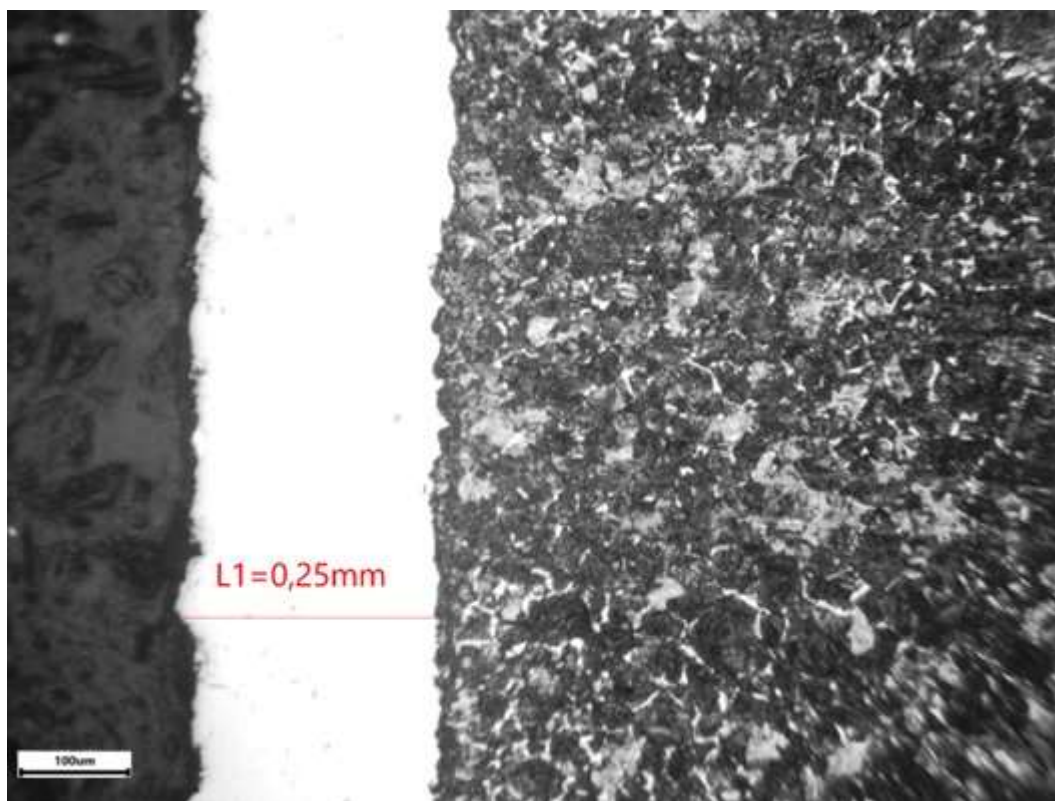


Рисунок 5.4 – Слой детонационного напыления ( $\times 100$ )

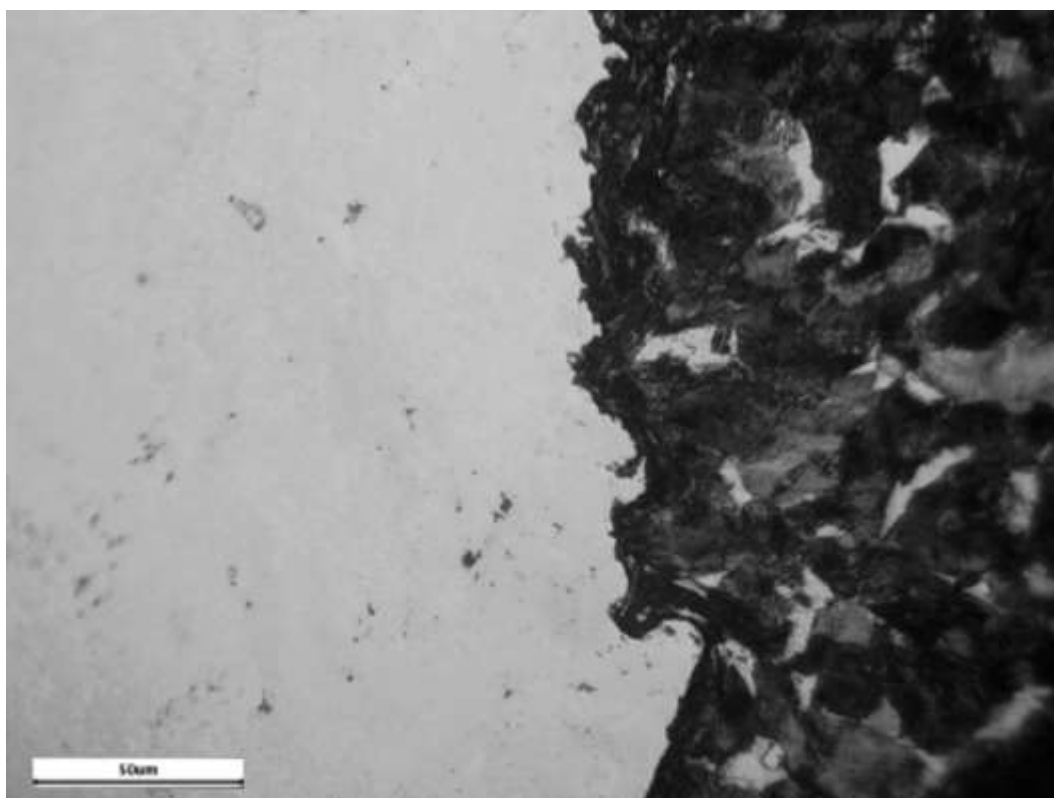


Рисунок 5.5 – Зона сцепления основного металла и нанесенного слоя (x500)

Эксплуатационные свойства поверхностного слоя оценивались через твердость. Определение микротвердости осуществлялось с помощью универсального стационарного твердомера HV-1000. Результаты замера и перевод полученных значений в единицы HRC приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты измерения твердости поверхности слоя, полученного детонационным напылением

Номер измерения	1	2	3	4	5
Твердость, HV	840	733	763	763	727
Твердость, HRC	65,3	61,8	62,5	62,5	61,5

После детонационного напыления полученный слой был подвергнут проплавлению на лазерной установке. После чего также был подготовлен металлографический шлиф (рисунок 5.6) для исследования микроструктуры и определения микротвердости.



Рисунок 5.6 – Шлиф после проплавления слоя, нанесенного детонационным напылением для металлографического исследования

В ходе металлографических исследований при увеличении  $\times 100$  было выявлено, что после проплавления в слое образовались трещины и присутствуют поры (рисунок 5.7).

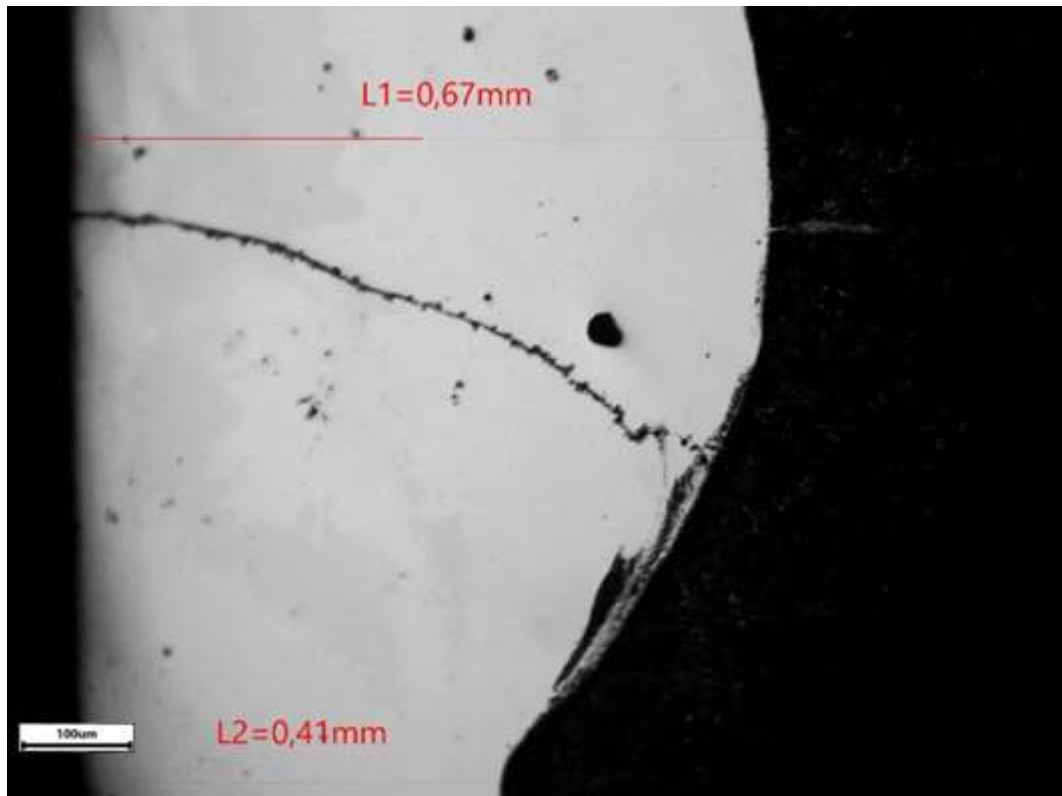


Рисунок 5.7 – Переплавленный слой ( $\times 100$ )

Причиной образования трещин, является существенная разница в коэффициентах теплового линейного расширения стали 40Х ( $14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ ) и сплавом на основе карбида вольфрама ( $3,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ ). Толщина проплавленного слоя по всей поверхности варьируется в пределах от 0,41 мм до 0,67 мм. Измерения микротвердости осуществлялись по схеме, приведенной на рисунке 5.8, а результаты этих замеров приведены в таблице 10.

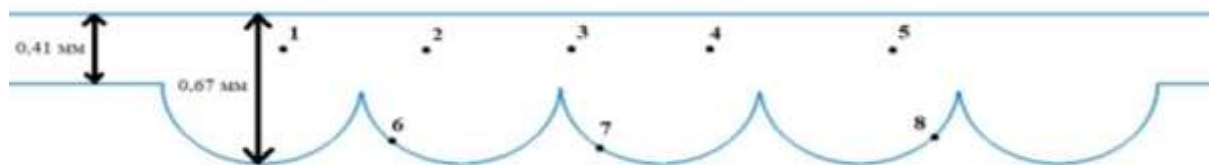


Рисунок 5.8 – Схема измерения микротвердости после проплавления слоя, нанесенного детонационным напылением

Таблица 10 – Результаты измерения твердости поверхности слоя, полученного детонационным напылением с последующим проплавлением

Номер измерения	Нанесенный слой					Зона перемешивания		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Твердость, HV	857	876	903	822	723	527	541	551
Твердость, HRC	65,9	66,4	67	64,7	61,4	51,1	51,7	52,3

Для третьего метода упрочнения использовалось прямое лазерное сплавление порошкового материала. На подложку наплавлялся порошковый материал под номером сплава 16006 с размером частиц от 75 до 130 мкм компании Castoline Eutalloy для защиты от абразивного износа и коррозии химического состава согласно сертификата, указанного в таблице 11, с помощью отработанного ранее режима, приведенного в таблице 12. Был подготовлен металлографический шлиф (рисунок 5.9) для определения микротвердости и исследования микроструктуры.

Таблица 11 – Химический состав порошкового материала

Химический состав, %		
Co	Cr	W
Основа	28	4,5

Таблица 12 – Режим наплавки порошкового сплава Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V

Мощность, Вт	Положение коллиматора	Количество подаваемого порошка W, %	Скорость перемещения V, мм/с	Диаметр пятна d, мм	Смещение, мм
1200	0	12	12	3	1,4



Рисунок 5.9 – Шлиф после лазерной наплавки порошкового материала для металлографического исследования

Результаты металлографических исследований и полученного слоя показали, что в структуре отсутствуют трещины и микротрещины, а также пористость наплавленного слоя не превышает 3%, а также толщина наплавленного слоя находится в пределах 0,73...0,76 мм (рисунок 5.10). При необходимости толщину наплавленного слоя можно увеличивать, так как технологических препятствий для этого нет. Микроструктура наплавленного слоя при увеличении  $\times 100$  приведена на рисунке 5.11.

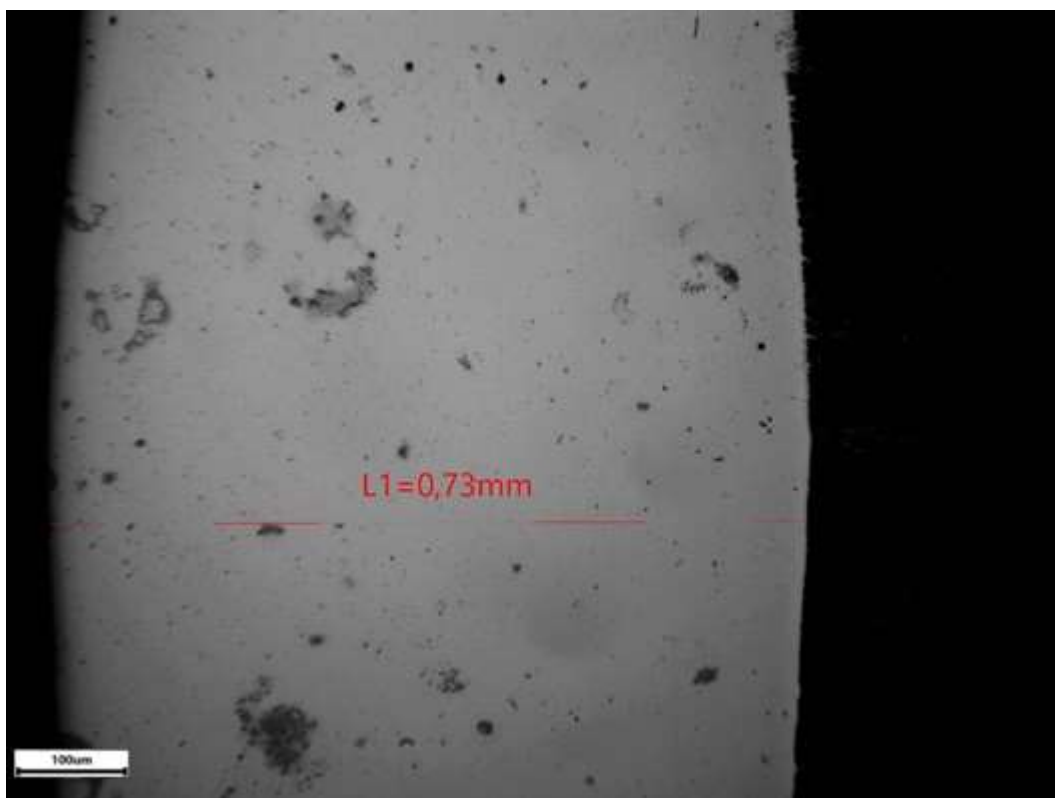


Рисунок 5.10 – Наплавленный слой до травления

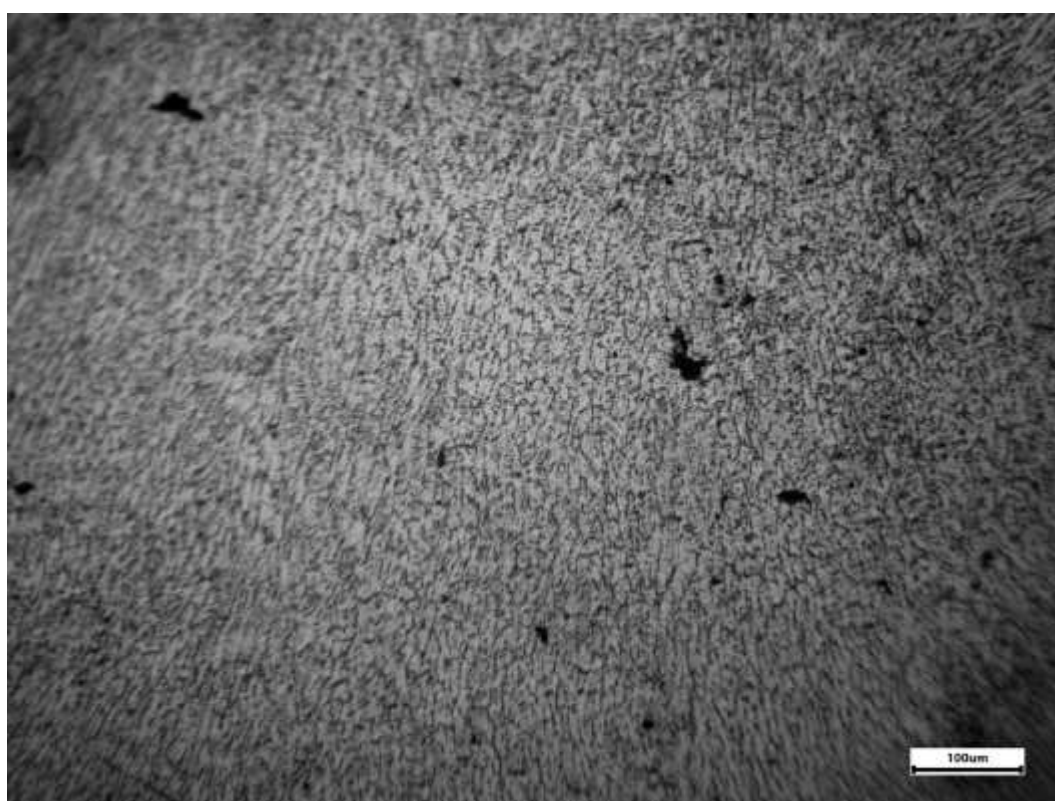


Рисунок 5.11 – Микроструктура наплавленного слоя (x100)

Под наплавленным слоем образуется слой основного материала стали марки 40Х, подвергнутый термическому воздействию в ходе направки.

Микроструктура этого участка приведена на рисунке 5.12. Толщина зоны термического влияния составляет около 0,6 мм. При этом под наплавленным слоем образуется мартенситная зона толщиной около 0,3 мм. Следовательно, упрочненный слой в общей сложности составляет около 1,5 мм. Результаты измерения твердости наплавленного слоя приведены в таблице 13.

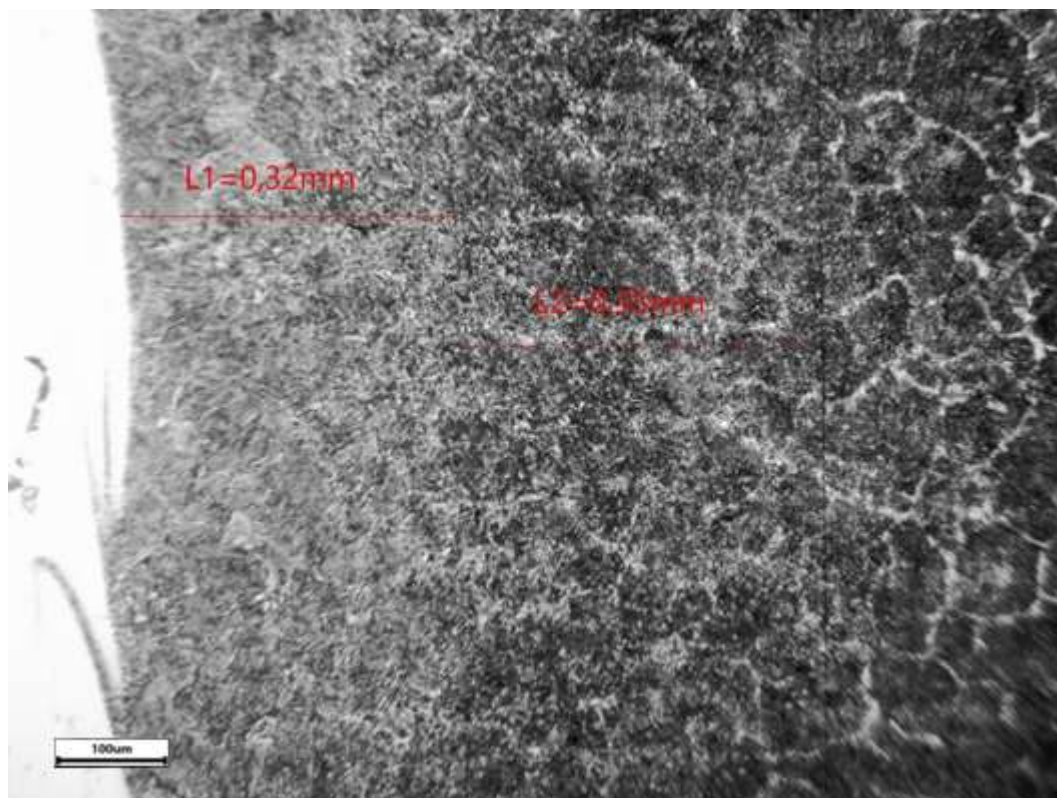


Рисунок 5.12 – Микроструктура зоны термического влияния (x100)

Таблица 13 – Результаты измерения твердости поверхности слоя, полученного лазерной наплавкой

Номер измерения	1	2	3	4	5
Твердость, HV	570	555	555	551	551
Твердость, HRC	53,6	52,4	52,4	52,3	52,3

В результате проведенных исследований установлено, что для повышения износостойкости рабочей поверхности тянущего барабана волоочильного стана целесообразно применять лазерную наплавку порошкового материала состава Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V, которая обеспечивает получение упрочненного слоя с твердостью 52-54 HRC на



глубину не менее 1,5 мм. В структуре наплавленного слоя отсутствуют трещины и микротрещины, а пористость не превышает 3%.

Применение детонационного напыления с последующим проплавлением для данного вида изделия оказалось не эффективным. Само детонационное покрытие порошковым материалом на основе карбида вольфрама получилось однородным и имело твердость в диапазоне 61-65 HRC, но после проплавления в нем появились достаточно крупные поры и трещины, что связано с существенной разницей в коэффициентах теплового линейного расширения стали 40X ( $14 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ) и сплава на основе карбида вольфрама ( $3,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ).

## 6. РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРНОЙ ПАРЫ ПУТЕМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Для проведения исследований был взят плунжер, который отработал положенный ему срок и был снят с действующего насоса. После анализа химического состава основного металла было установлено, что изготовлен он из стали 20Г, а хромоникелевое покрытие было нанесено гальваническим способом.

После обзора рынка порошкового материала, для данной работы был выбран порошок компании Castoline под номером сплава 55586С, что представляет из себя сплав на основе карбида вольфрама для защиты от износа и коррозии при температуре ниже 480°С. Химический состав порошка приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Химический состав порошкового материала

Химический состав, %		
WC	Co	Cr
Основа	10	4

Для удобства работы из плунжера были изготовлены заготовки-образцы, на которые детонационным способом будет нанесен порошковый материал. Перед нанесением функционального покрытия образец был подвергнут предварительной зачистке поверхности в абразивоструйной

кабине. После зачистки образец был помещен в детонационный комплекс для напыления на поверхность порошка. Было сделано 250 выстрелов и покрытие представляло из себя плотную равномерную структуру (рисунок 6.1).

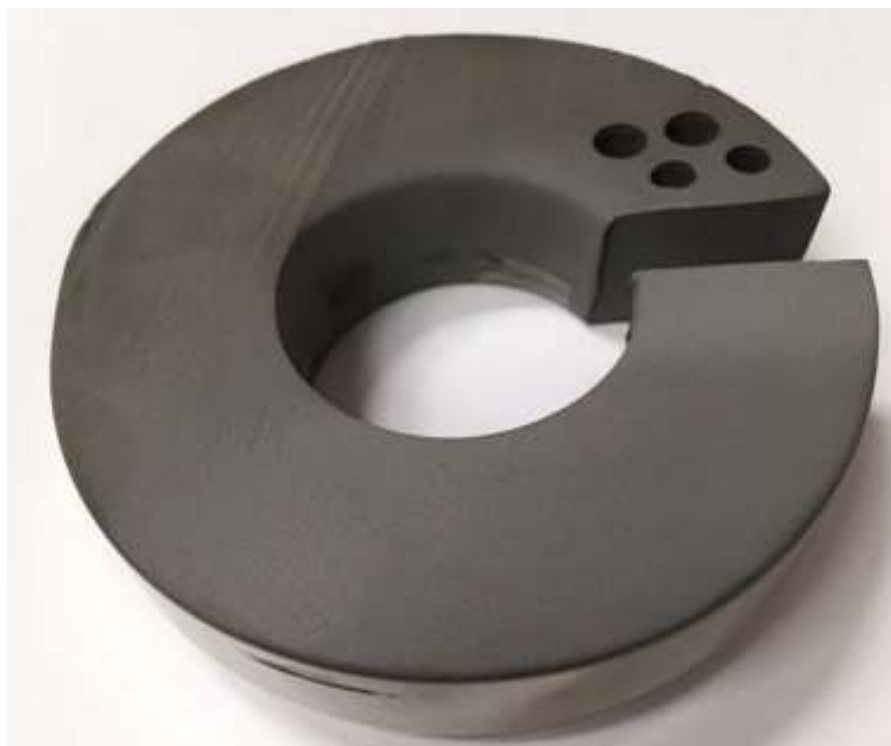


Рисунок 6.1 – Образец после детонационного напыления

Для исследования микроструктуры, измерения твердости и определения химического состава покрытия был изготовлен металлографический шлиф (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2 – Шлиф с детонационным напылением для металлографического исследования

Химический состав функционального покрытия, определенный с помощью электронного микроскопа представлен в таблице 15. Определение твердости поверхностного слоя было выполнено на образцах с помощью стационарного твердомера HV-1000. Результаты приведены в таблице 16.

Таблица 15 – Химический состав порошкового материала, определенный на электронном микроскопе

Номер пробы	Химический состав, %			
	W	Co	Cr	C
1	73,28	12,07	4,31	5,91
2	74,12	11,71	4,46	6,0
3	73,64	12,03	4,28	5,86

Таблица 16 – Твердость поверхностного слоя плунжера

Номер измерения	1	2	3
Твердость, HRC	58	60	59

Металлографические исследования показали, что толщина нанесенного слоя находится в пределах 1,31...1,32 мм (рисунок 6.3), покрытие очень плотное и равномерное. Микроструктура покрытия при увеличении в 1600 крат приведена на (рисунок 6.4). Размер зерен, согласно рисунку 6.5 находится в пределах от 1,55 до 3,51 мкм. Также стоит отметить, что качество сцепления покрытия с основой плунжера очень высокое. Однако, необходимо отметить, что для оценки износостойкости следует провести дополнительные исследования.

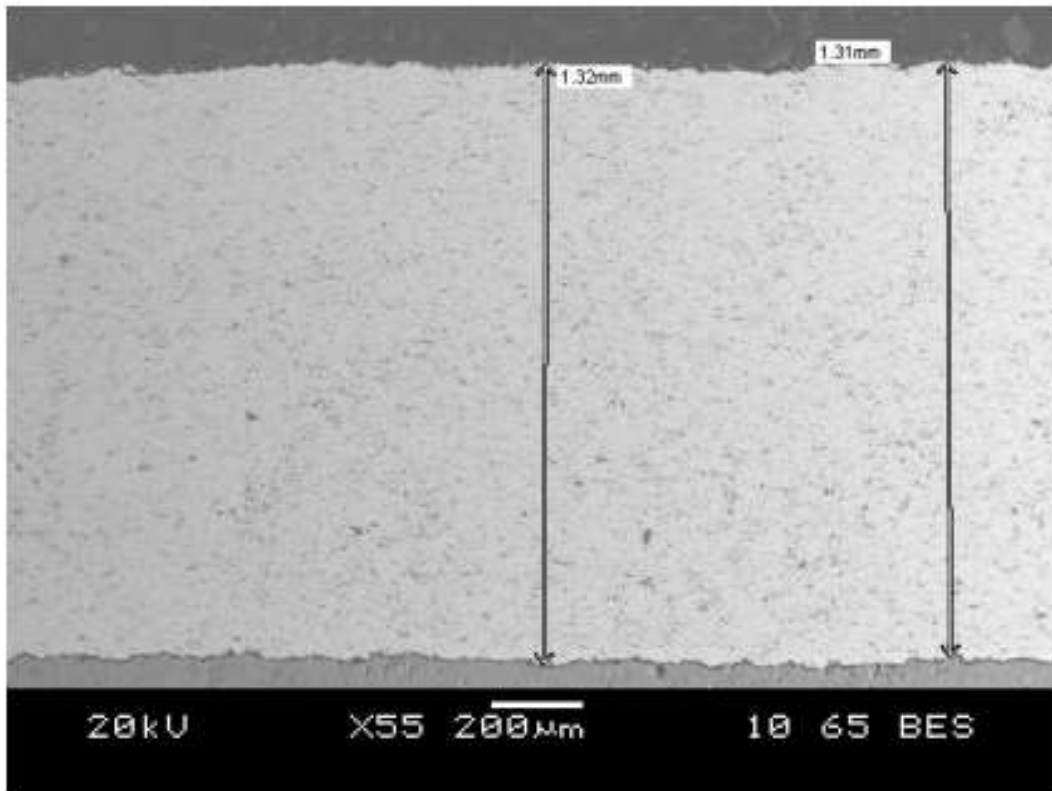


Рисунок 6.3 – Структура нанесенного покрытия (x55)

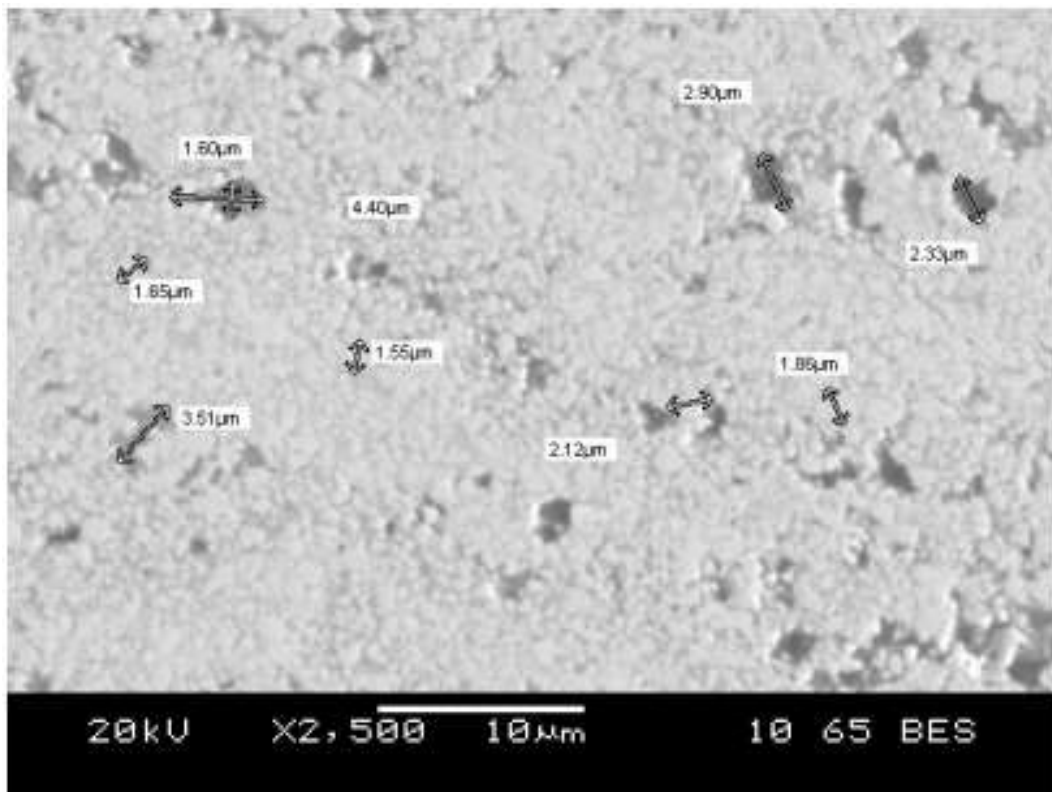


Рисунок 6.4 – Микроструктура покрытия карбида вольфрама (x1600)

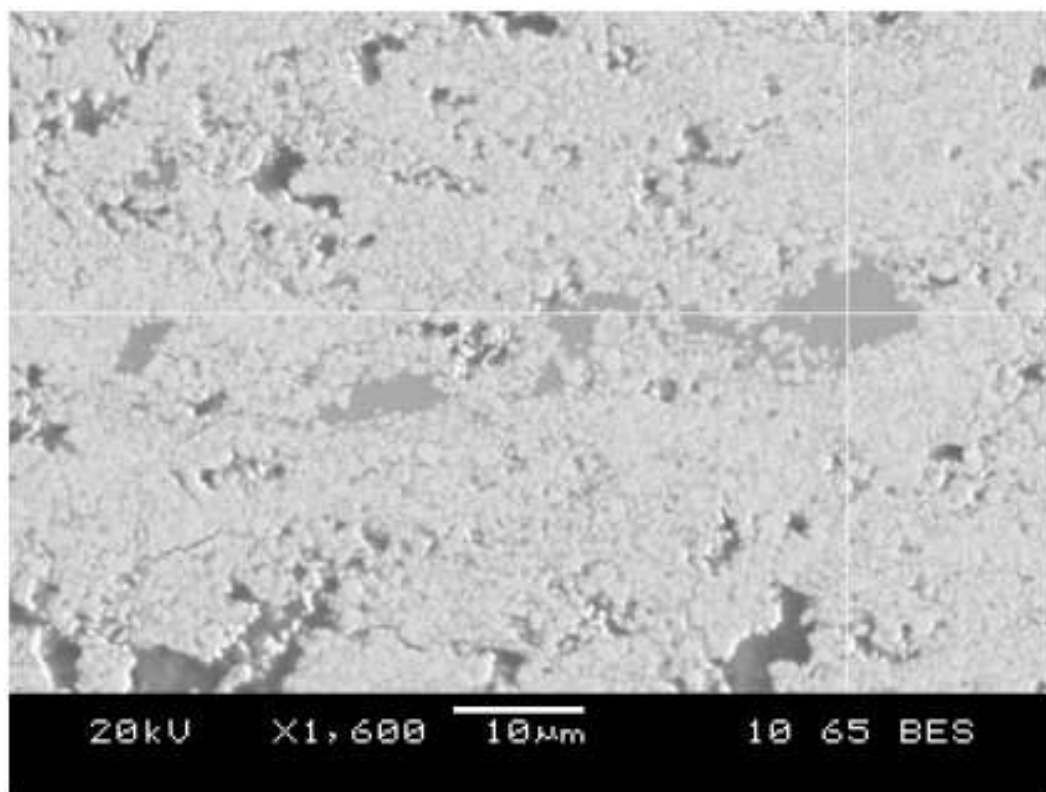


Рисунок 6.5 – Определение размера зерна (x2500)

Эксперименты показали удовлетворительный результат. Было получено равномерное покрытие с отсутствием значительных внутренних дефектов, а также получены показатели твердости 58-60 HRC. В дальнейшем будут проводиться эксперименты с покрытием, а именно испытания на износ. Детонационное напыление в количестве 250 выстрелов позволило получить покрытие толщиной около 1,3 мм, которое после механической обработки до 9 класса точности составит не менее 0,5 – 0,6 мм. [7]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были разработаны типовые решения по ремонту и восстановлению инструментальных оснасток для процессов обработки металлов давлением методами аддитивных технологий. Был проведен экспериментальный анализ влияния скорости, мощности, подачи порошка и смещение лазерного пятна относительно предыдущего его положения, а также влияния подаваемая порция смеси газов для детонационного напыления.

Решены поставленные задачи:

1. Подобраны порошковые материалы для лазерной наплавки и детонационного напыления;
2. Разработаны типовые режимы по ремонту и восстановлению инструментальной оснастки;
3. Проведены металлографические исследования, определена пористость и твердость получившихся покрытий;
4. Написаны программы движения лазерного комплекса для ремонта и восстановления инструментальных оснасток;
5. Восстановленные инструментальные оснастки переданы на предприятия-заказчики для дальнейшей тестовой эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шейнман Е.Л. Абразивный износ. Обзор американской печати // Трение и износ. – 2005. – Т.26, №1. – С. 100-111.
2. Зимоглядова Т.А. Повышение износостойкости стали с использованием технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси самофлюсующегося никелевого сплава в сочетании с ниобием и бором. – канд. наук (05.16.09) / Зимоглядова Татьяна Алексеевна. – Н., 2019. – 189 с.
3. Электронный источник: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/prokatka.shtml>. (Дата обращения: 21.04.2020)
4. Быков В.А. Восстановление изношенной поверхности шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления/ Быков В.А., Радионова Л.В., Самодурова М.Н.// В книге: MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2019 Материалы IV международной молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. 2019. С. 120-122.
5. Долженков Ф.Е. Обработка металлов давлением: учеб. пособие/ Ф.Е. Долженков. – Донецк, 2005. – 78 с.
6. Ковалев О. Б., Зайцев А. В. Моделирование термодинамики и транспорта частиц при лазерной наплавке с коаксиальной подачей порошка // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. №4-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-termodinamiki-i-transporta-chastits-pri-lazernoy-naplavke-s-koaksialnoy-podachey-poroshka> (дата обращения: 24.04.2020).
7. Быков В.А. Восстановление плунжерной пары путем детонационного напыления функционального покрытия/ Быков. В.А., Радионова Л.В., Самодурова М.Н.// В книге: Металлургия XXI столетия глазами молодых Материалы VI международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов: сборник докладов. Под редакцией С.М. Сафьянц 2020. С. 200-203