

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Л.В. Радионова

«_____» _____ 20__ г.

Тема работы: «Исследование современных методов ремонта,
восстановления и упрочнения инструментальной оснастки для машин
обработки металлов давлением»

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

ЮУрГУ-15.03.01-2019-125-00.00.00 ПЗ

Руководитель работы:

_____ / М.Н. Самодурова /
Автор работы

_____ / В.Д. Лезин /

студент группы П-448

АННОТАЦИЯ

Лезин В. Д. «Исследование современных методов ремонта, восстановления и упрочнения инструментальной оснастки для машин обработки металлов давлением». Челябинск: ЮУрГУ, П-448, 2019; 48с., 35 илл., библиогр. список – 8 наименования, граф. часть – 5 л. формата А1.

В выпускной квалификационной работе произведен обзор имеющиеся методов ремонта, восстановления и упрочнения инструментальной оснастки для машин обработки металлов давлением. Рассмотрен метод лазерной наплавки порошком и проволокой. Проведён анализ микроструктуры, микротвёрдости и адгезионной стойкости полученных образцов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. Горячая штамповка | 4 |
| 2. Износ штамповой оснастки | 6 |
| 3. Ремонт оснастки при ОМД | 9 |
| 4. Исследование технологии лазерной наплавки для ремонта и восстановления штамповой оснастки для горячей штамповки | 11 |
| 4.1 Лазерная наплавка порошком | 14 |
| 4.2 Лазерная наплавка проволокой..... | 17 |
| 4.3 Выбор технологических режимов | 18 |
| 5. Выбор материала | 19 |
| 5.1 Сплавы на основе железа..... | 19 |
| 5.2 Сплавы на основе кобальта | 19 |
| 5.3 Сплавы на основе никеля | 20 |
| 5.4 Сплав CoCrW марки Плакарт-04.12 | 20 |
| 6. Экспериментальные исследования..... | 20 |
| 6.1 Оборудование и методики для проведенных исследований | 21 |
| 6.2 Исследование технологии лазерной наплавки | 23 |
| 6.3 Наплавка проволокой..... | 33 |
| 6.4 Методика испытаний на адгезионную стойкость..... | 43 |
| 6.4.1 Подготовка к испытанию | 47 |
| 6.4.2 Проведение испытаний | 47 |
| 6.4.3 Обработка результатов..... | 47 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 51 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 53 |

ВВЕДЕНИЕ

Металлургия является одной из важнейших отраслей промышленности в современном мире. Особое место в производстве, а, следовательно, и в экономике, занимает обработка металла давлением.

Обработка металла давлением позволяет эффективно производить детали в серийном и массовом производстве. Также огромным плюсом является воздействие на свойства поверхности металла, позволяя изготавливать детали под различные нужды с заданными физико-механическими характеристиками.

Изготовление металлургических машин и их элементов является крайне затратным производством. Данный фактор связан с габаритами этих изделий, а также материалами, которые должны иметь высокое качество, и ряд необходимых свойств, включая прочность, износостойкость и т.д.

При износе деталей машин и механизмов, крайне нецелесообразно изготавливать или же заказывать у производителя новую деталь. Наиболее рациональным решением является восстановление и ремонт.

Наибольшему износу подвержены элементы инструментальной оснастки, которые имеют непосредственный контакт с заготовкой. Исследования, выполненные в представленной работе, изучают процессы восстановления и упрочнения штамповой оснастки для горячей штамповки, а также анализ характеристик полученных изделий.

1. Горячая штамповка

Штамповка является широко распространенным методом изготовления деталей серийного и массового производства. С помощью штамповки получают множество изделий от деталей самолёта до бытовых принадлежностей [1].

Штамповка подразделяется на два больших вида: объемная и листовая. Далее подробно рассмотрим горячую объёмную штамповку.

Горячая объемная штамповка происходит с применением штампа – специального инструмента для придания заготовке необходимой формы. Замкнутая полость с заготовкой, образуемая штампом в конечной стадии

штамповки, называется ручьем. Главная особенность метода заключается в том, что металл заготовки подвергается серии последовательных деформаций, затекая в ручей штампа, повторяя его форму и принимая заданные размеры. Штмп ограничивает и направляет движение металла.

Горячая объемная штамповка, в свою очередь, подразделяется на закрытую и открытую.

Закрытую штамповку применяют в случае, когда объем заготовки достаточно точно соответствует объему готового изделия. Данный способ позволяет получать наибольшую однородность слоя и меньшую шероховатость.

При открытой штамповке между штампами происходит выдавливание части металла и образуется облой. Данный способ расширяет число возможных конфигураций детали, так как открывает возможность проведения большего числа черновых и завершающий проходов с промежуточным кантованием болванки [2].

При горячей штамповке заготовки нагреты до температуры рекристаллизации материала, из которого они изготовлены. Это позволяет снизить сопротивление материала деформации, но в то же время вызывает повышенный износ оснастки.

Таблица 1.1 - Преимущества и недостатки горячей штамповки

| Преимущества | Недостатки |
|--|--|
| Малые потери материала | Сложность операции |
| Возможность создания поковок достаточно сложной формы | Высокая энергоёмкость |
| Снижение удельной трудоемкости | Высокие затраты на проектирование и расчёт штампа |
| Отсутствие высоких требований к квалификации работника | Потребность в большем усилии по сравнению с ковкой |
| Высокая точность размеров и формы | Ограничение по весу готового изделия (3-4 тонны) |

Одной из проблем, которые возникают при эксплуатации штампов является их износ.

2. Износ штамповой оснастки

Всего можно выделить четыре основных вида износа инструмента (рис. 2.1):

- Абразивный износ, происходит в результате высокой скорости перемещения материала по поверхности инструмента. В следствии этого перемещения происходит неравномерный износ поверхности штампа.

- Пластическая деформация, возникает при превышении предела текучести инструмента в результате напряжений, связанных с деформацией и нагревом материала, а также с потерей пластичности и риском хрупкого разрушения.

- Термическая усталость, возникающая в результате изменения температуры - приводит к растрескиванию поверхности.

- Механическая усталость – постепенное накопление напряжений, приводящее к трещинам и разрушению материала.

Перечисленные виды износа могут комбинироваться в процессе эксплуатации штампа.

При изготовлении штампов для горячей штамповки обычно используют жаропрочные материалы, например, такие стали как 5Х2МНФ, 5Х3В3МФС и другие.

Данный выбор обусловлен тем, что при горячей штамповке температура поковки способна превышать температуру в 1000°С, следовательно, температура матрицы также подвергается нагреву и способна превышать 500°С.

Важным фактором при износе штампа является цикличность процесса штамповки. Повторение одной той же операции происходит тысячи раз, что неизбежно влечёт за собой разрушение инструмента.

Следует отметить, что инструмент разрушается неравномерно, большое влияние на этот процесс оказывает геометрическая форма инструмента. На рисунке 2.1 представлена анализ влияния геометрической формы на износ штампа.

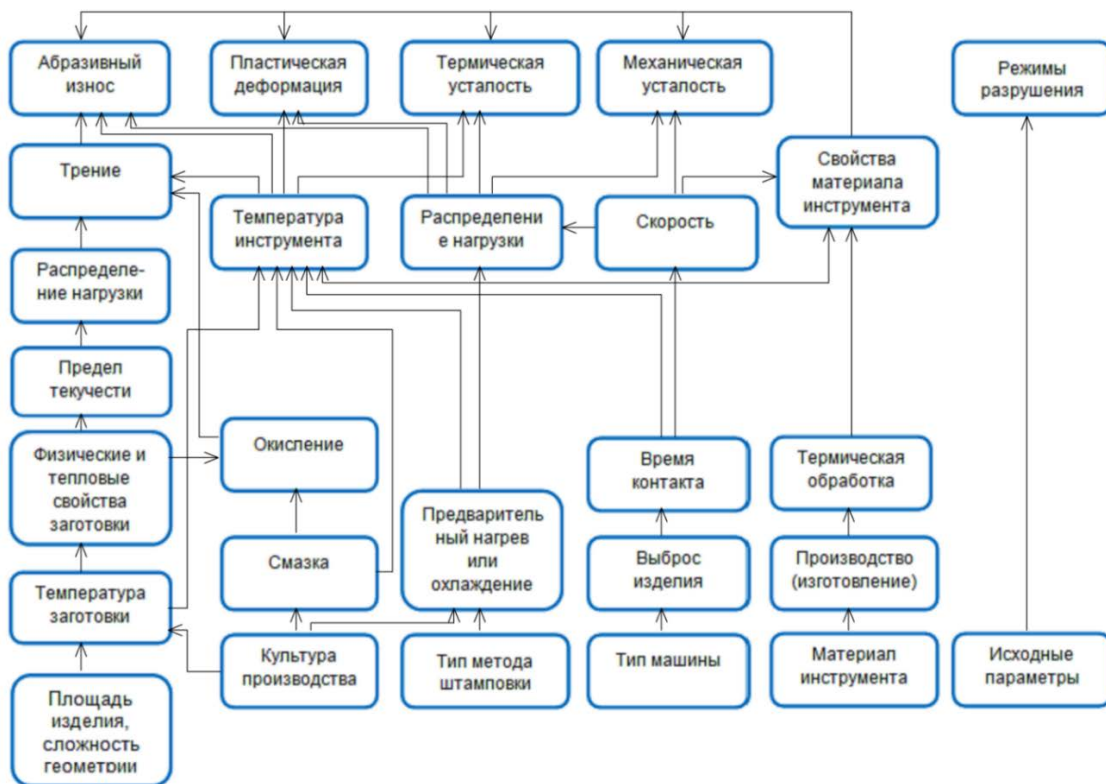


Рисунок 2.1 Связь видов износа и технологических факторов [3]

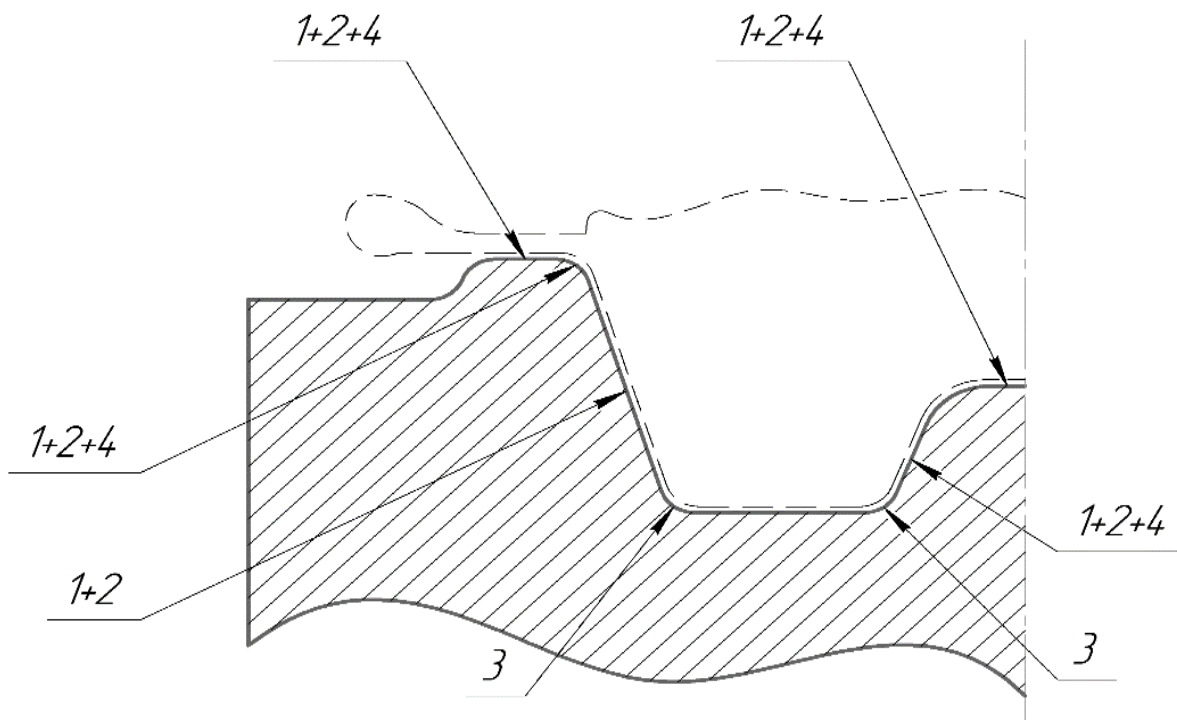


Рисунок 2.2 Схема процесса износа штампа: 1 – абразивный износ; 2 – термическая усталость; 3 – механическая усталость; 4 – пластическая деформация [4]

Исходя из вышеупомянутых факторов материал для штампов должен удовлетворять ряду свойств. Материал должен обладать достаточными механическими и тепловыми свойствами (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Требования к материалу штампа

| Сопротивление пластической деформации | Сопротивление механической усталости | Сопротивление термической усталости | Сопротивление износу |
|--|---|--|--|
| Высокая твердость | Снижение хрупкости, за счет термической обработки | Высокая пластичность | Низкий коэффициент трения при высоких температурах |
| Высокий предел упругости | Высокая вязкость материала | Высокая прочность | Постоянная твёрдость при воздействии температуры |
| | | Релаксация напряжений | |

3. Ремонт оснастки при ОМД

Затраты на изготовление и поддержание штампов в надлежащем состоянии составляет около 20% от стоимости продукции. Рациональные режимы работы, улучшение и ремонт оснастки является важным аспектом экономики и производительности любого предприятия [1].

Штампы применяемы при горячей штамповке являются быстро изнашиваемой оснасткой, поэтому современные инженеры и конструкторы нацелены на поиск эффективных методов диагностики, улучшения и ремонта этого вида оборудования.

Прежде чем подвергнуться капитальному ремонту такие штампы несколько раз проводят мелкий ремонт, при котором штамп не снимают с молота или пресса. Данный ремонт предназначен для восстановления эпюры штампа: устранения таких дефектов как задиры, забоины, наплывы, смятие некоторых участков штампа.

После того как штамп невозможно восстановить мелким ремонтом, необходимо провести капитальный ремонт. Так как устранение дефектов путем снятия слоя металла со штампа является очень затратным методом восстановления, наиболее рационально будет подобрать способ восстановления связанный с нанесением на штамп дополнительного слоя металла.

Для восстановления геометрии существует ряд способов:

- газотермическое напыление (газоплазменное, плазменное, электродуговое, детонационное, высокоскоростное), холодное газодинамическое напыление;
- технологии наплавки (плазменная, вибродуговая, под флюсом, индукционная, лазерная);
- восстановительная ремонтная сварка (электродами, проволокой в аргоне, в CO₂);
- электроконтактное и индукционное припекание порошков;
- и другие.

Одним из прогрессивных и инновационных методов, является лазерная наплавка, которая показывает отличные результаты при упрочнении и ремонте поверхности изделий. Обработка лазером также упрочняет обрабатываемую поверхность. Возможность точности локализации лазерного луча при наплавке не реструктурирует поверхность материала, на которую наносится покрытие, что очень важно для штамповой оснастки.

Целью работы является определение возможности использования метода лазерной наплавки для упрочнения и ремонта поверхности штамповой оснастки для горячей штамповки.

4. Исследование технологии лазерной наплавки для ремонта и восстановления штамповой оснастки для горячей штамповки

Для проверки данной технологии была проведена серия экспериментов, которая позволила определить, подходит ли лазерная наплавка для ремонта штамповой оснастки.

Исследования проводились в научно-исследовательской лаборатории «Механики, лазерных процессов и цифровых производственных технологий» на тестовых образцах, изготовленных из стали 5Х2МНФ.

В распоряжении лаборатории имеется современная роботизированная установка лазерной наплавки и упрочнения FL-Clad-R-4 (рис. 4.1.1).

В таблице 4.1 представлены технические характеристики данной установки.

Таблица 4.1 - Технические характеристики установки

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Занимаемая площадь | 8500x6000 мм |
| Внешние габариты кабины защитной | 4830x4830x3100 мм |
| Внутренние габариты кабины защитной | 4500x4500x3000 мм |
| Робот манипулятор KR 60 HA KUKA | |
| Количество управляемых осей | 6 |
| Полезная нагрузка | 60 кг |
| Макс. Радиус действия | 2033 мм |
| Повторяемость | ±0,05 мм |
| Вес | 665 кг |
| Монтажное исполнение | Напольное |
| Двухосевой позиционер DKP-400 KUKA | |

| | |
|--|------------------------------|
| Число контролируемых осей | 2 |
| Повторяемость | ±0,01 мм |
| Наклон оси | ±90° |
| Грузоподъёмность | 400 кг |
| Исполнение | Напольное |
| Оснастка | Трёхкулачковый патрон ДУ 250 |
| Вес | 300 кг |
| Иттербиевый волоконный лазер ЛС-4 | |
| Тип лазерного источника | Иттербиевый волоконный |
| Длина волны излучения | 1,06÷1,08 мкм |
| Максимальная выходная мощность | 4 кВт |
| Тип охлаждения | Принудительное водяное |
| Встроенная защита от отражающего излучения | Присутствует |
| Пилотный лазер | Диодный |
| Оптическое волокно (диаметр жилы, длина) | 100 мкм, 20 м |
| Чиллер IPG LC-170 | |
| Тип | Вода-воздух |
| Номинальная холодопроизводительность | 19,4 кВт |

| | |
|---|---|
| Оптическая головка | |
| Тип оптического разъема | QNB |
| Минимальный диаметр фокусировки порошка | 0,7 мм (коаксиальная насадка) 3 мм (4-х сторонняя насадка) |
| Порошковый питатель Sulzer Twin-10-C R2 | |
| Объем бункера | 5 литров |
| Количество бункеров | 2 |
| Сферичность порошка | 20...180 мкм |
| Компрессор Atlas Copco GA15 (опция) | |
| Максимальное давление | 12, 8 бар |
| Объем ресивера | 270 л |
| Производительность | 0,77 м ³ /мин |

Основные сведения об установке для лазерной наплавки.

- 1) Установка предназначена для наплавки порошком на поверхности детали-заготовки, а также сварки-наплавки проволокой по заранее подготовленной программе.
- 2) Для обработки тел вращения используется двухосевая система позиционирования, состоящая из приводного манипулятора и прижимного центра с двумя промежуточными опорами (холостыми люнетами).
- 3) В состав установки входит иттербиевый волоконный лазер ЛС-6П4 со встроенным четырехканальным оптическим переключателем, что обеспечивает возможность последовательного проведения различных

технологических процессов с использованием до четырех оптических головок различного типа без перестыковки оптических волокон.

Максимальная допустимая выходная мощность излучения 6 кВт на длине волны от 1,06 до 1,080 мкм.

Возможности установки позволяют проводить лазерную наплавку как порошковым материалом, так и порошковой проволокой.

4.1 Лазерная наплавка порошком

При лазерной наплавке поверхность заготовки нагревается лазерным лучом до температуры плавления. Наплавляемый металл подается вместе с инертным газом, коаксиально относительно лазерного луча (рис. 4.1.2) [2]. В результате мы получаем покрытие, которое имеет прочное сцепление с основным материалом.

Главными достоинствами технологического процесса являются: возможность обрабатывать любые материалы; отсутствие деформации деталей, поскольку тепловое воздействие на основной материал меньше, чем при плазменной наплавке; малый расход наносимого материала (по сравнению с плазменной наплавкой); возможность задавать режим с высокой точностью; надёжное сцепление с заготовкой; незначительное смешивание основного и наносимого материалов.

Среди недостатков стоит отметить низкий КПД, невысокую производительность, дорогое и сложное оборудование, потребность в высококвалифицированных специалистах.



Рисунок 4.1.1 Установка для лазерной наплавки

Лазерная наплавка отличается коротким тепловым воздействием на заготовку и его малой глубиной. При высокой скорости охлаждения материал упрочняется.

При наличии необходимого оборудования появляется возможность наносить покрытия с повышенными характеристиками:

- коррозионной стойкости;
- механическими;
- жаростойкости;
- износостойкости;
- антифрикционными;
- радиационной стойкости;
- и т.п.

Лазерная наплавка покрытий обеспечивают высокую стойкость к износу, коррозии и окислению при высоких температурах [5]. На рис. 4.1.3 запечатлен процесс наплавки.

Данная технология наиболее широко применяется для ремонта и восстановления дорогостоящих компонентов, таких как инструментальная оснастка, деталей машин и механизмов, лопасти турбин и др. [6].

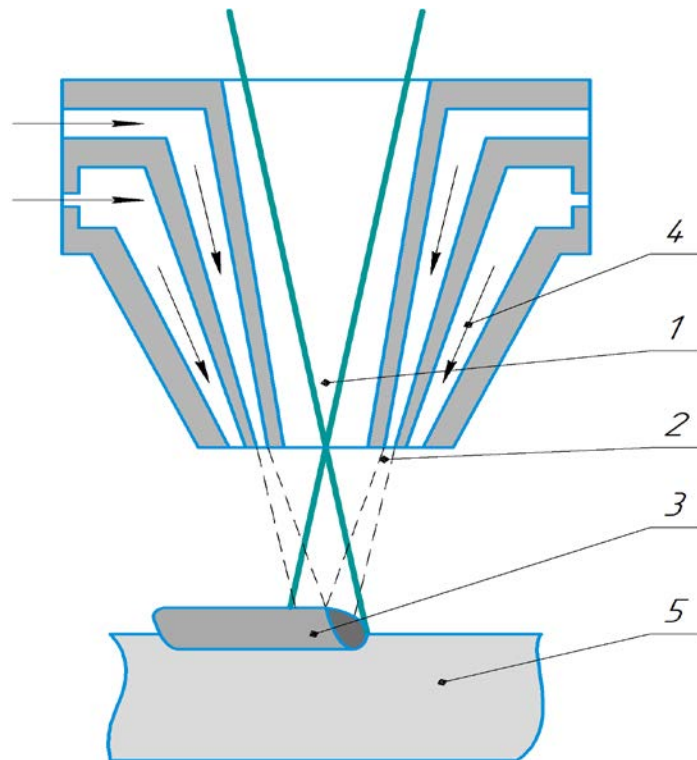


Рисунок 4.1.2 Схема процесса лазерной наплавки порошком: 1. Лазерное излучение. 2. Подача порошка. 3. Наплавленный материал. 4. Подача защитного газа. 5. Деталь

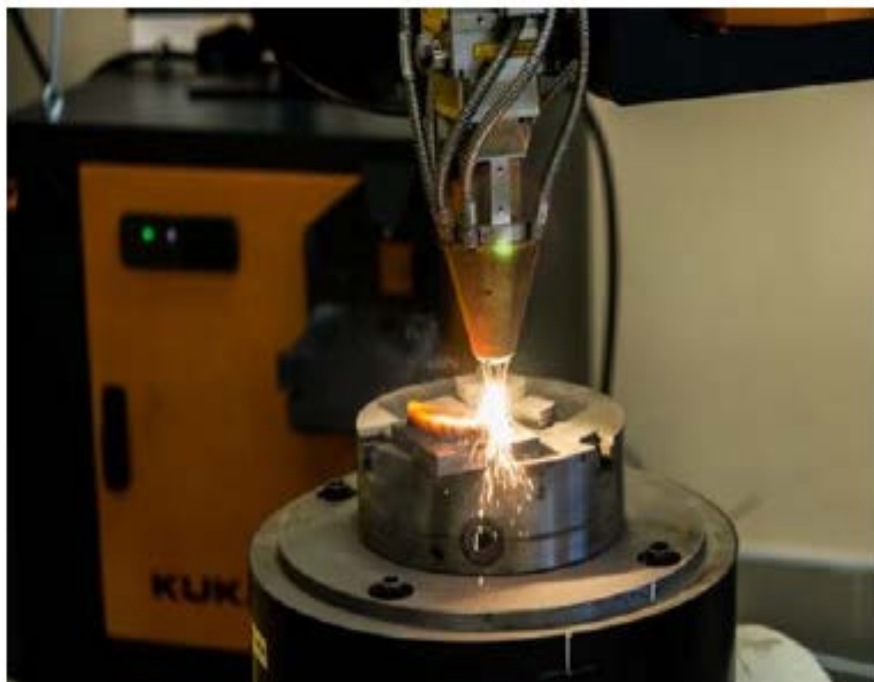


Рисунок 4.1.3 Работа лазера

4.2 Лазерная наплавка проволокой

Одним из способов восстановления и ремонта оснастки является наплавка проволокой. Проволока может подаваться автоматически или же вручную. Преимуществом наплавки проволокой является тот факт, что этот вид обработки поверхности позволяет снизить коэффициент использования материала и в случае с невысокими динамическими нагрузками на наплавляемую поверхность, получить стабильные прочностные характеристики в области наплавки.

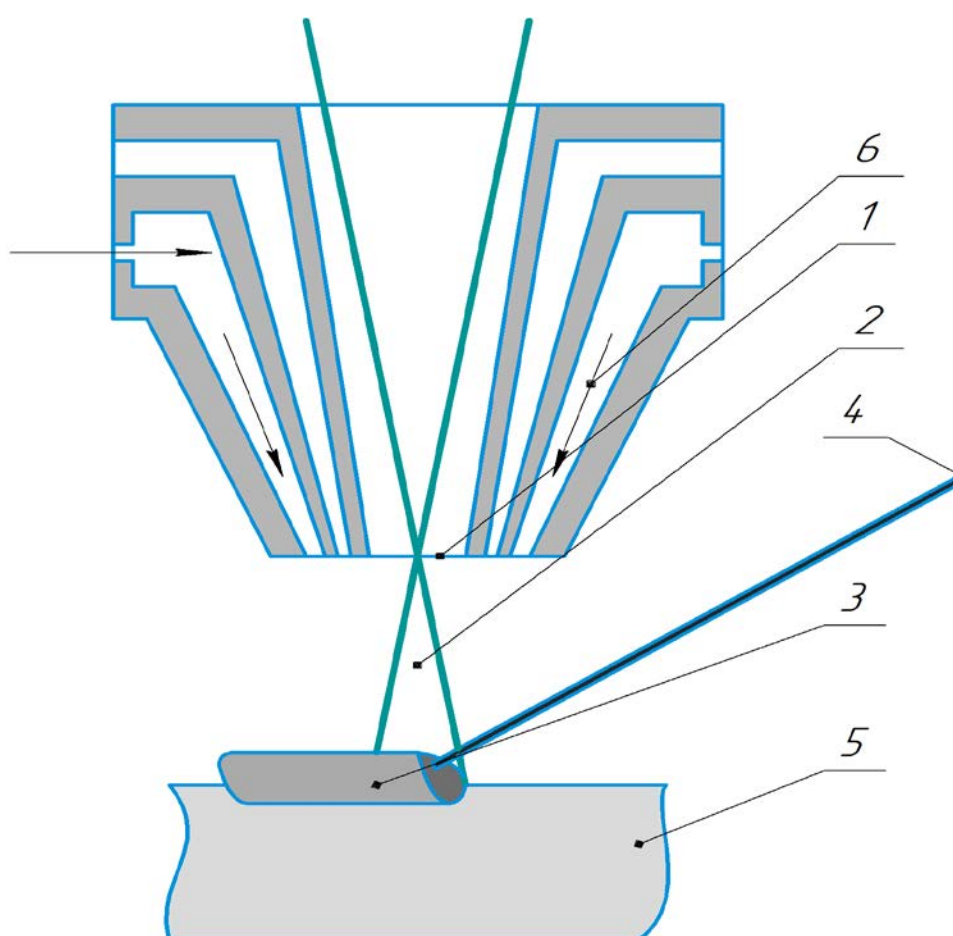


Рисунок 4.2.1 - Схема процесса лазерной наплавки с подачей присадочной проволоки: 1. Защитное стекло объектива. 2. Лазерное излучение. 3. Наплавленный материал. 4. Присадочная проволока. 5. Деталь. 6. Защитный газ

4.3 Выбор технологических режимов

Широкий выбор рабочих параметров и физических явлений, определяет качество лазерной наплавки. Как правило, рабочие параметры являются входными данными или параметрами лазера, такими как мощность лазера, скорость сканирования, скорость подачи порошка, а также свойства материала и окружающей среды. Выходные параметры – это параметры, описывающие качество геометрии покрытия, его микроструктуру, наличие трещин и пористости, состояние поверхности, остаточные напряжения и уровень разбавления.

Рабочие параметры должны быть тщательно продуманы, так как изменение одного из параметров непосредственно позволяет регулировать геометрию покрытия, его качество, окончательную микроструктуру и свойства.

5. Выбор материала

Основные сплавы пригодные для восстановления оснастки можно разделить на три категории, в зависимости от их основных легирующих элементов: сплавы на основе кобальта, на основе железа, на основе никеля.

Рассмотрим возможность использования различных сплавов.

5.1 Сплавы на основе железа

Семейство сплавов на основе железа очень разнообразно, начиная от низколегированных сталей, заканчивая легированными сталями: Cr, Mo, W, Co, Nb, Ta, V, с содержанием углерода от 0,08% и 0,38% [7]. Сплавы на основе железа в основном используются для покрытий черных поверхностей. Сплавы легированные Mo образуют карбиды типа MoC, которые улучшают износостойкость покрытия. Другие элементы способствуют улучшению сопротивления окисления и коррозии.

5.2 Сплавы на основе кобальта

Хром в сочетании с углеродом образует форму карбидов, которая усиливает кобальтовую матрицу. Никель добавляется для увеличения пластичности. Другие элементы - для улучшения различных свойств, например, вольфрам и молибден позволяют обеспечить устойчивость к усталости. Сплав CoCrW производства Плакарт-04.12 имеет хорошую стойкость к окислению, эрозии, истиранию, при температурах до 90% от их температуры плавления.

5.3 Сплавы на основе никеля

Сплавы на основе никеля обычно содержат хром, бор, углерод, кремний и алюминий. Образование боридов из карбида кремния повышает твердость и износостойкость. Бор и кремний также могут улучшить смешиваемость отдельных элементов в расплаве. Алюминий в сочетании с никелем образует твердые интерметаллические фазы, такие как Ni_3Al и Ni_2Al_3 . Карбиды, такие как вольфрам и хром могут быть добавлены в ограниченных количествах, чтобы обеспечить дополнительную устойчивость к абразивному износу.

Все рассмотренные сплавы актуальны на сегодняшний день. Наиболее широкое применение имеют кобальтовые сплавы, которые обладают максимальной износостойкостью и способные сохранять лучшие механические свойства при высоких температурах и т.д. [8].

5.4 Сплав CoCrW марки Плакарт-04.12

АО "Плакарт" специализируется на газотермических методах нанесения защитных (антикоррозионных, термостойких, антифрикционных и т.д.) покрытий.

Данная компания производит порошковые материалы, являющиеся аналогами материалов, широко применяющихся в машиностроении европейскими и американскими компаниями.

В ходе работы были проведены исследования материалов, нанесенных методом лазерной наплавки для производства износостойких, твердых покрытий на основе

кобальта, никеля и железа. В качестве порошкового материала для покрытия, был выбран сплав CoCrW марки Плакарт-04.12.

В ходе анализа было решено провести наплавку проволокой, как альтернативный метод восстановления оснастки. Для этого была выбрана проволока производства компании Castolin Eutectic марки EnDOtec® DO*70 с аналогичным составом.

6. Экспериментальные исследования

В виду того, что габаритные размеры штамповой оснастки достаточно большие, а порошковые материалы, предложенные для наплавки дорогостоящие, наиболее рациональным решением будет проведение первичных экспериментов на небольших образцах, изготовленных из того-же материала, что и штамп. В экспериментах была использована инструментальная штамповая сталь марки 5Х2МНФ.

6.1 Оборудование и методики для проведенных исследований

Исследование микроструктуры образцов проводилось на оптическом инвертированном металлографическом микроскопе Axio Observed, оснащенного программно-аппаратным комплексом для анализа изображений Thixomet.



Рисунок 6.1.1 Металлографический микроскоп Axio Observed

Измерение микротвердости проводили на травленных шлифах на микротвёрдомере FM-800 при нагрузке 300 г, оснащенным программно-аппаратным комплексом для анализа изображений Thixomet.



Рисунок 6.1.2 Микротвердомер FM-800

Травление поверхности микрошлифов с целью выявления микроструктуры металла проводились в 16 мл HNO_3 , 16 мл HF , 68 мл глицерина.

Анализ химического состава структурных составляющих образцов проводился на растровом электронном микроскопе JEOL JSM 7001F, оснащенным энергодисперсионным спектрометром Oxford INCA X-max 80 для анализа химического состава.



Рисунок 6.1.3 Микроскоп JEOL JSM 7001F

6.2 Исследование технологии лазерной наплавки

Отработка режимов наплавки проводилась на образцах пластин из штамповой стали 5Х2НМФ, размером 150x200 мм.

Перечень исследовательских работ (после лазерной наплавки):

- Изготовление шлифов;
- Определение микротвердости в сечении зоны наплавки;
- Исследование макро и микроструктуры наплавленного слоя;
- Проведение испытаний на адгезионную стойкость покрытий.

При отработке технологических режимов наплавки порошком варьировались следующие параметры:

P – мощность лазерного излучения (Вт);

V – скорость перемещения лазерного луча (мм/сек);

K – положение коллимирующей линзы (размер пятна);

L – перекрытие наносимых валиков (мм);

W – количество подаваемого порошка из питателя (%);

Q1 – расход транспортного газа (л/мин);

Q2 – расход обжимающего газа (л/мин);

α – угол наклона оптической головы.

Для определения оптимальных значений этих параметров, а также более глубокой оценки качества наплавки были изготовлены четыре образца с использованием различных режимов наплавления. В табл. 4 приведены режимы наплавки порошком.

Таблица 6.2.1 - Технологические режимы наплавки порошком

| 5Х2НМФ | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|---------------|----------|-----|-------------------|---------------|----------|-------------|----------|------|
| № образц а | Параметры наплавки | | | | | | | | | |
| | Р, Вт* | V, мм/сек* | W, %* | К | Q1, л/мин * | Q2, л/мин* | а, мм | б, мм | L, мм | угол |
| 1.1 | 1500 | 20 | 11 | 7,5 | 8 | 3 | 7 | 17 (220) | 1,2 | 0° |
| 1.2 | 1420 | 20 | 9 | | | 3 | | | 1,2 | 0° |
| 1.3 | 1440 | 20 | 9 | | | 3 | | | 1,2 | 0° |
| 1.4 | 1460 | 20 | 8 | | | 3 | | | 1,2 | 0° |

Для определения качества, наплавленное покрытие подвергалось шлифованию для проведения капиллярного контроля на наличие трещин, несплавлений, пор и других дефектов, выходящих на поверхность.

После этого из образцов изготавливались микрошлифы, на которых проводились измерения микротвердости наплавленных покрытий.

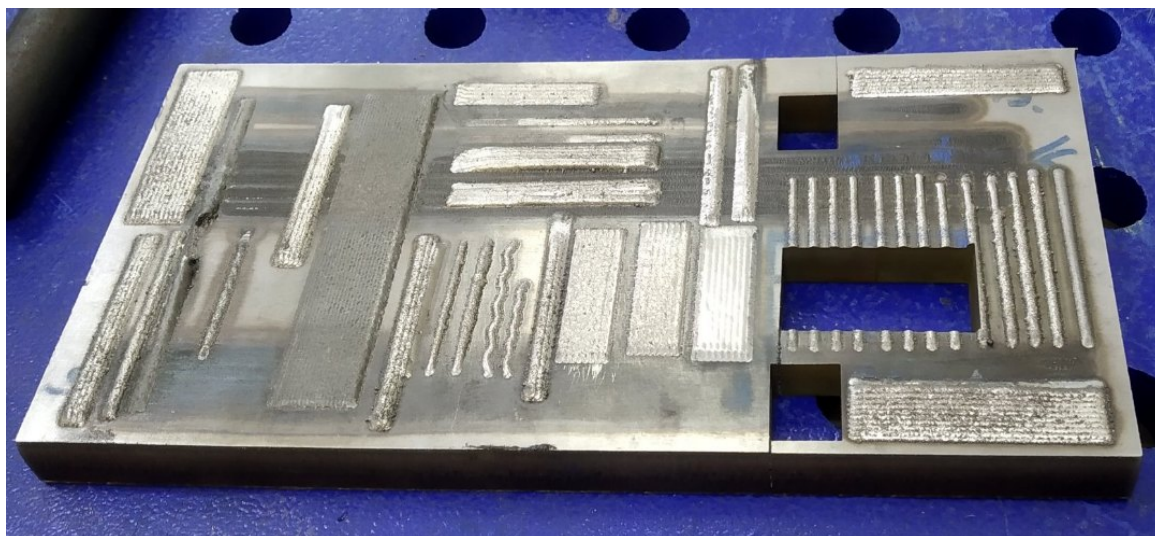
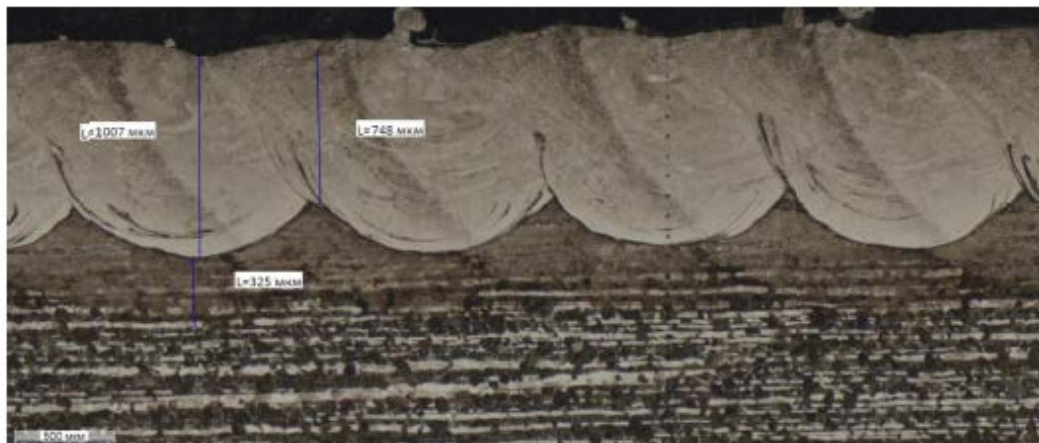


Рис.

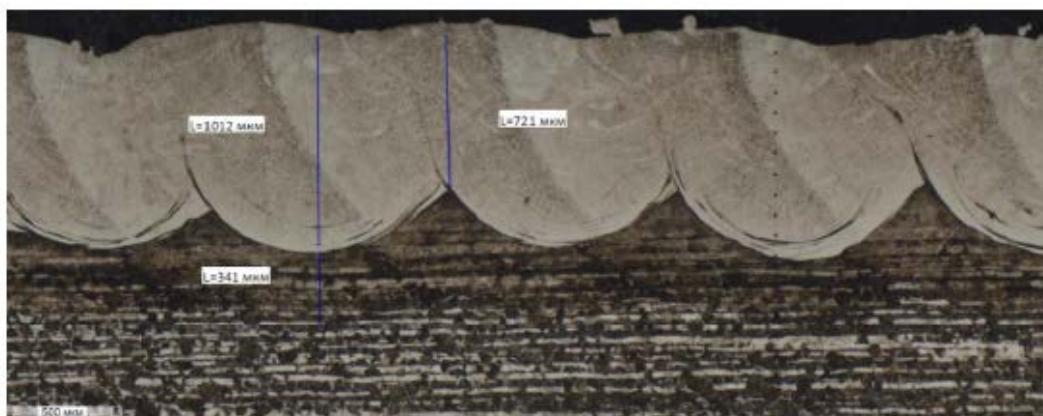
6.2.1 Наплавленные образцы

Ниже на рисунках представлены исследуемые наплавленные образцы, их шлифы в поперечном сечении, а также графики микротвёрдости для каждого режима.

Образец 1.1



А



Б



В

Рисунок 6.2.2 Шлиф образца 1.1 с наплавленным порошком в поперечном сечении: А – начало, Б – середина, В – конец

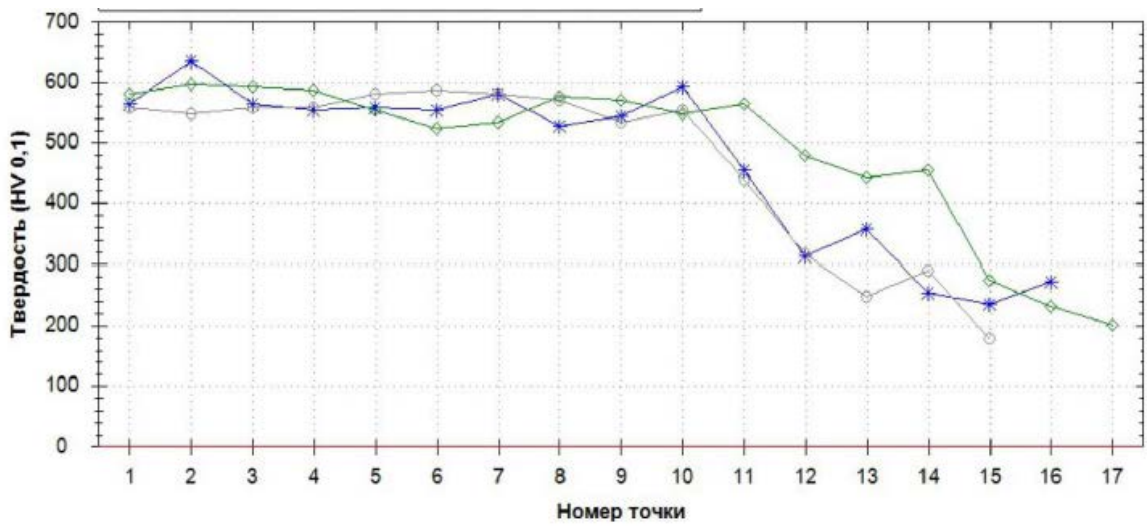
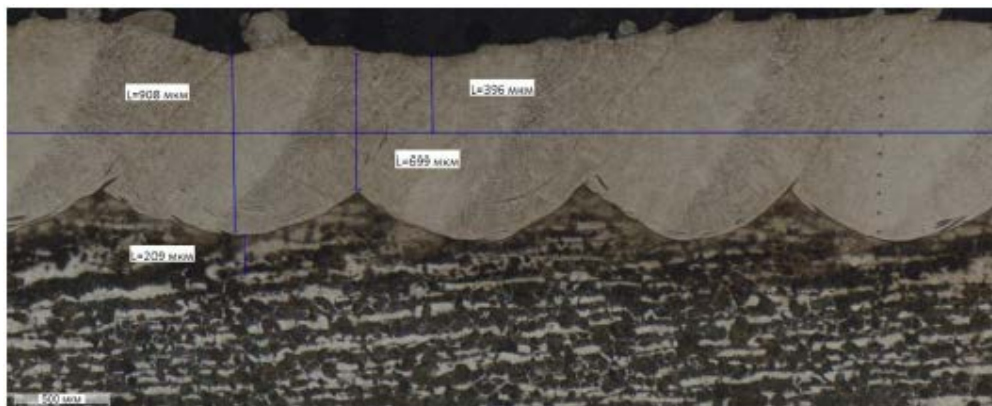


Рисунок 6.2.3 График микротвердости образца 1.1 с наплавленным порошком:

—○— - начало образца, —◇— - центр образца, —*— - конец образца.

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 550 – 600 HV. Высота наплавки 450 – 500 мкм.

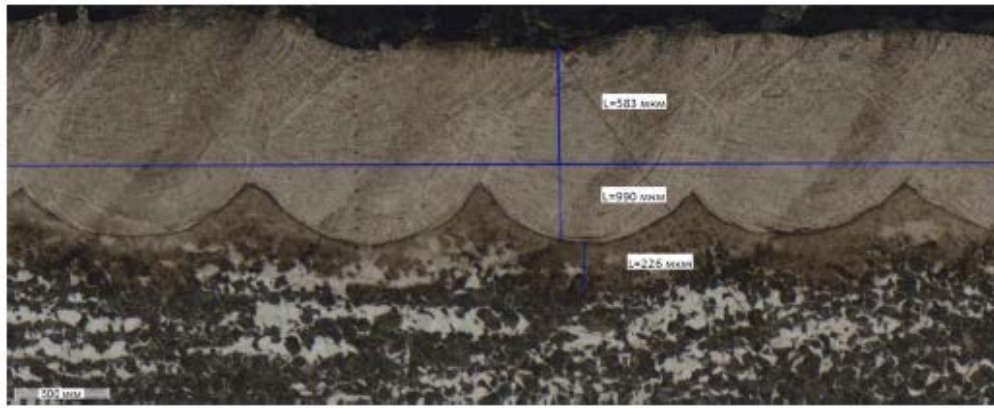
Образец 1.2



А



Б



В

Рисунок 6.2.4 Шлиф образца 1.2 с наплавленным порошком в поперечном сечении: А – начало, Б – середина, В – конец

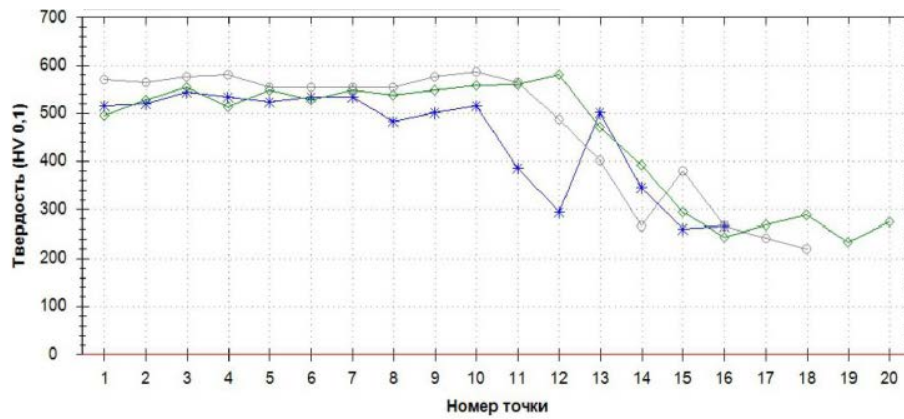
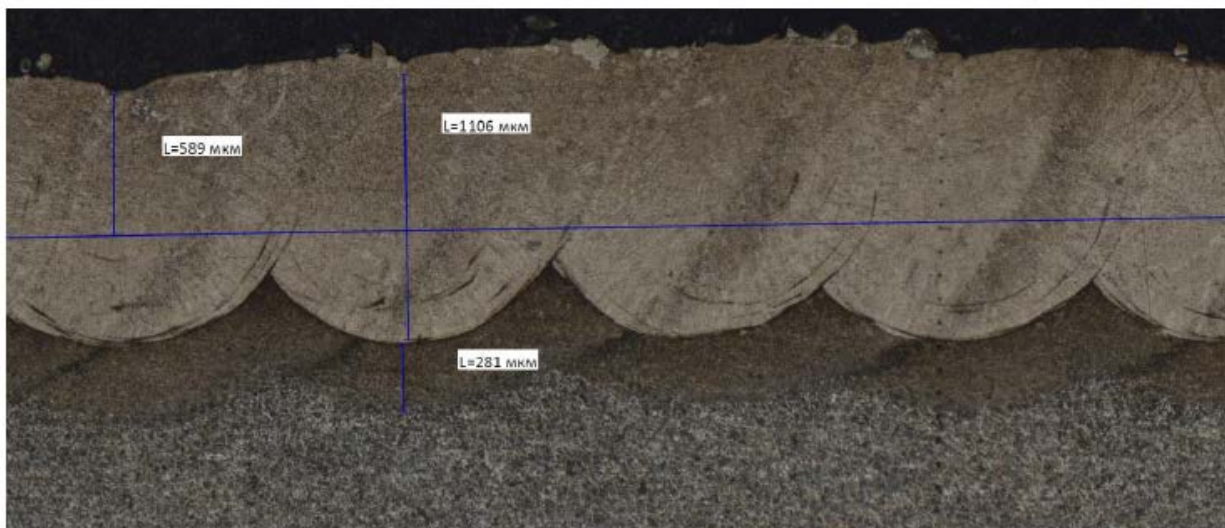


Рисунок 6.2.5 График микротвердости образца 1.2 с наплавленным порошком:

—○— - начало образца, —◇— - центр образца, —*— - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 500 – 600 HV. Высота наплавки 400-600 мкм.

Образец 1.3



А



Б

Рисунок 6.2.6 Шлиф образца 1.3 с наплавленным порошком в поперечном сечении: А – начало, Б – центр

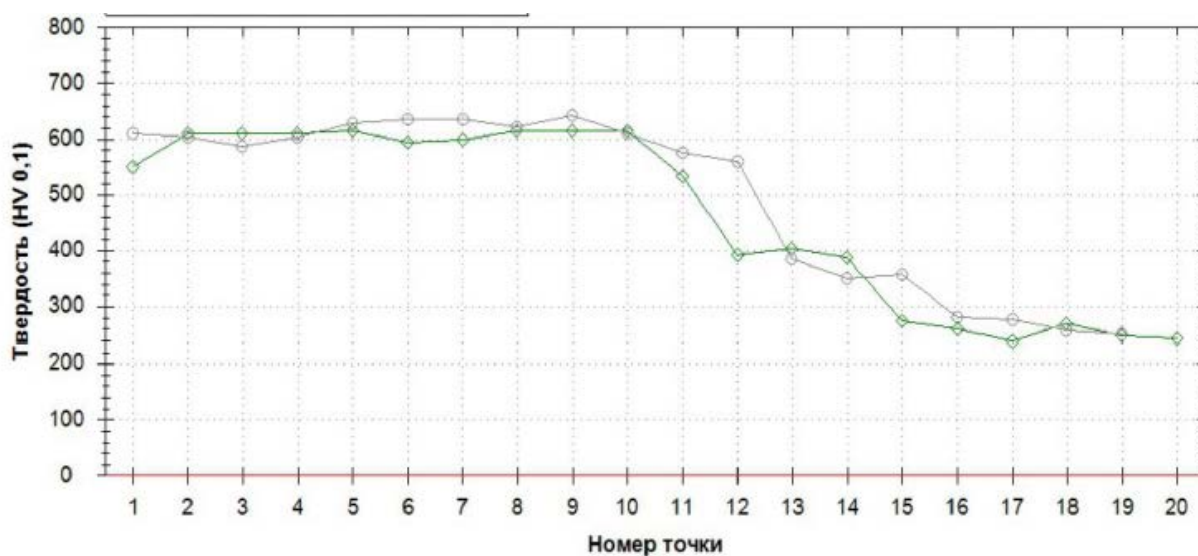
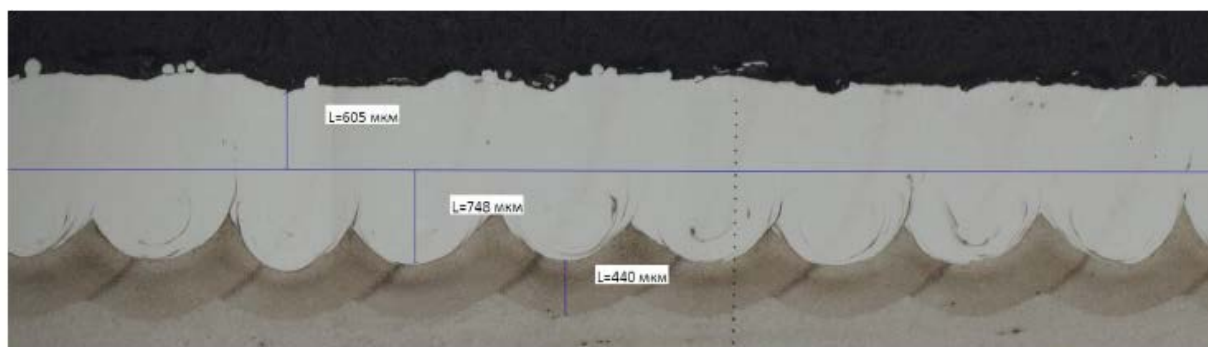


Рисунок 6.2.7 График микротвердости образца 1.3 с наплавленным порошком:

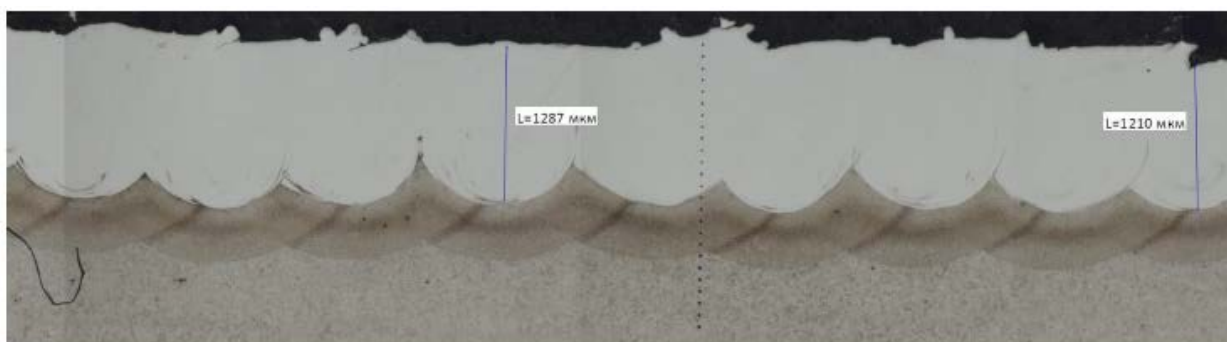
—○— - центр образца, —◇— - начало образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 550 – 600 HV. Высота наплавки 450 – 600 мкм.

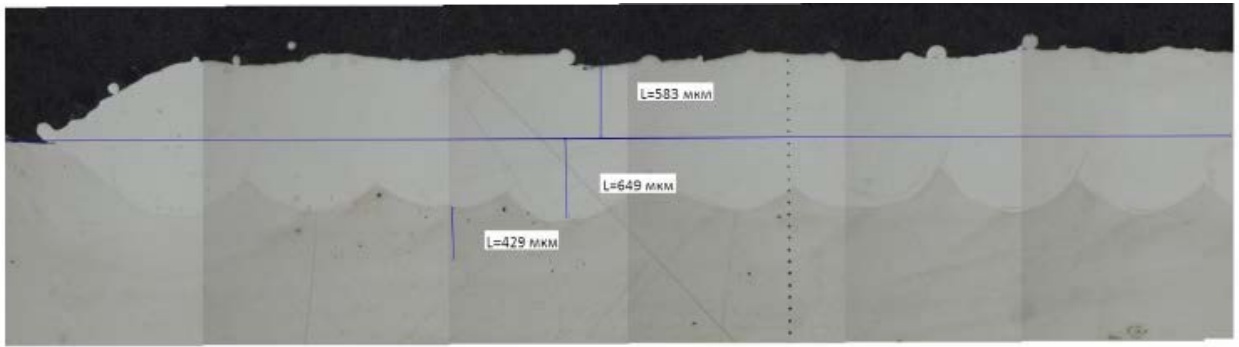
Образец 1.4



А



Б



В

Рисунок 6.2.8 Шлиф образца 1.4 с наплавленным порошком в поперечном сечении: А – начало, Б – середина, В – конец

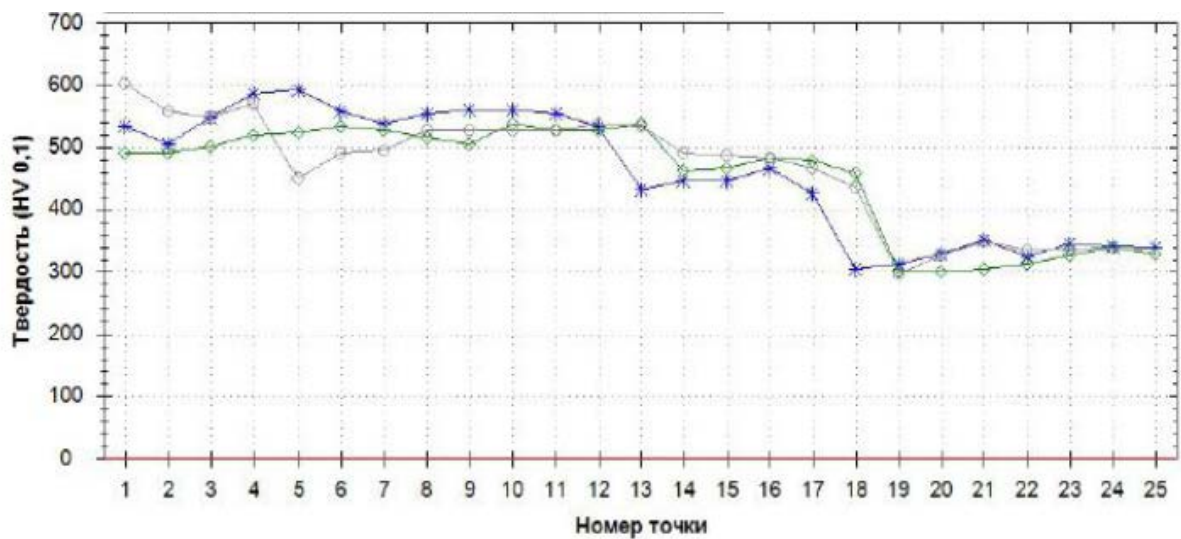


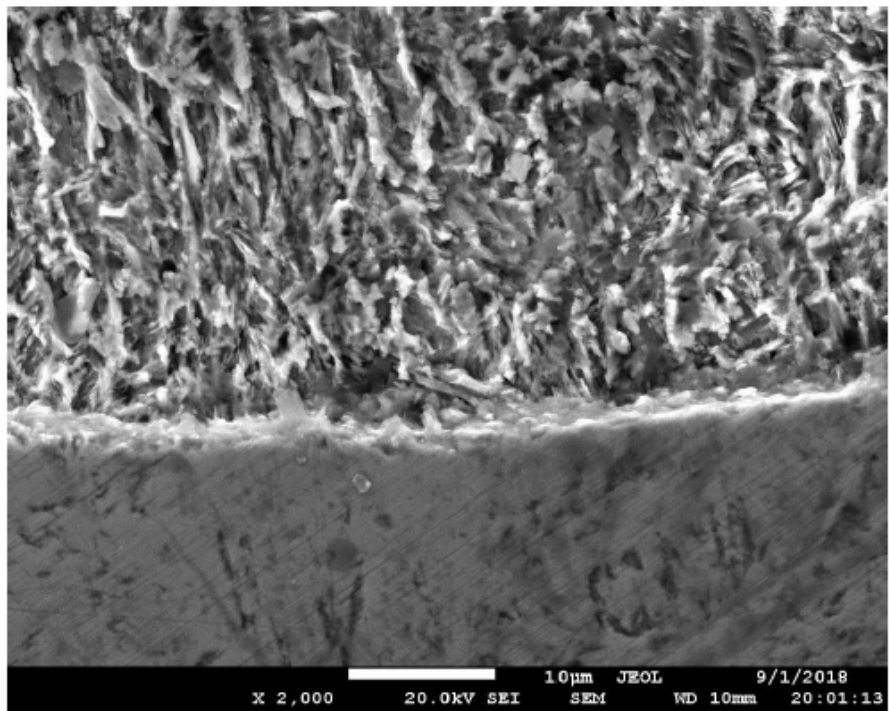
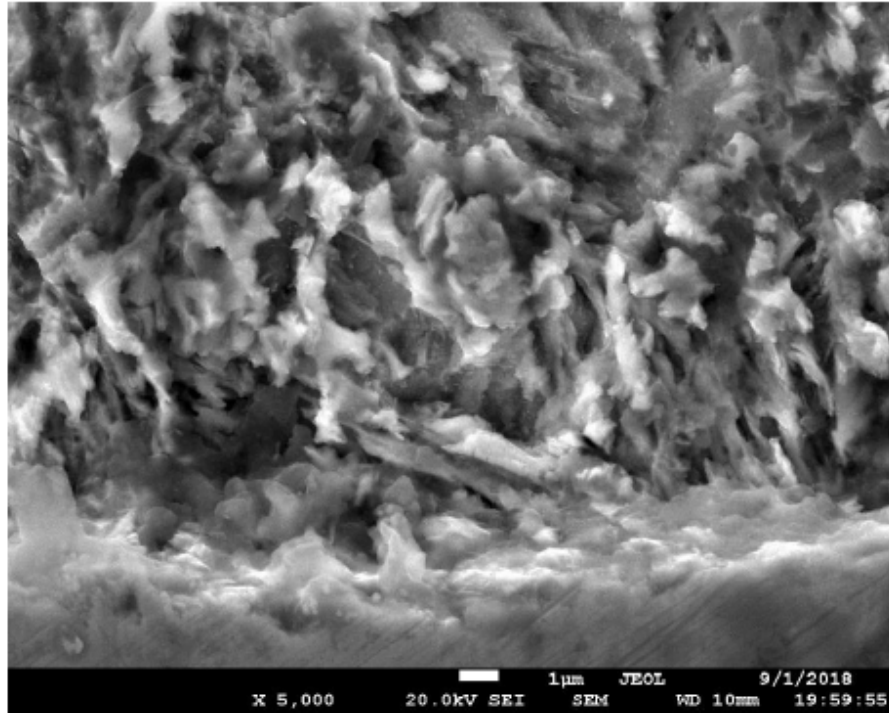
Рисунок 6.2.9 График микротвердости образца 1.4 с наплавленным порошком:

○ - начало образца, ◇ - центр образца, * - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 550 – 600 HV. Высота наплавки 450 – 600 мкм.

Далее приведен микроструктурный анализ исследуемых образцов.

Шлифы образца 1.3



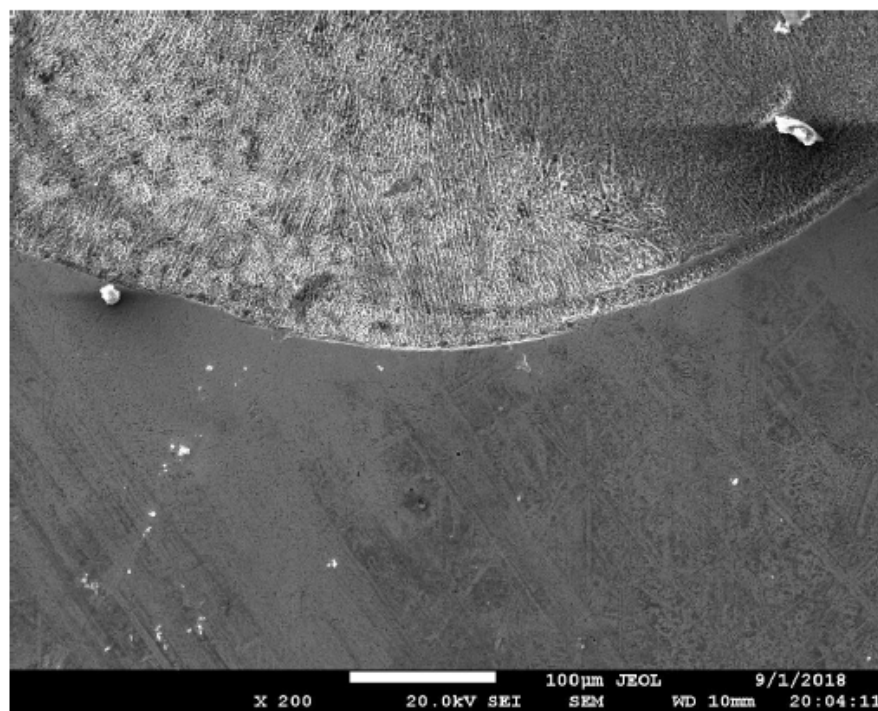
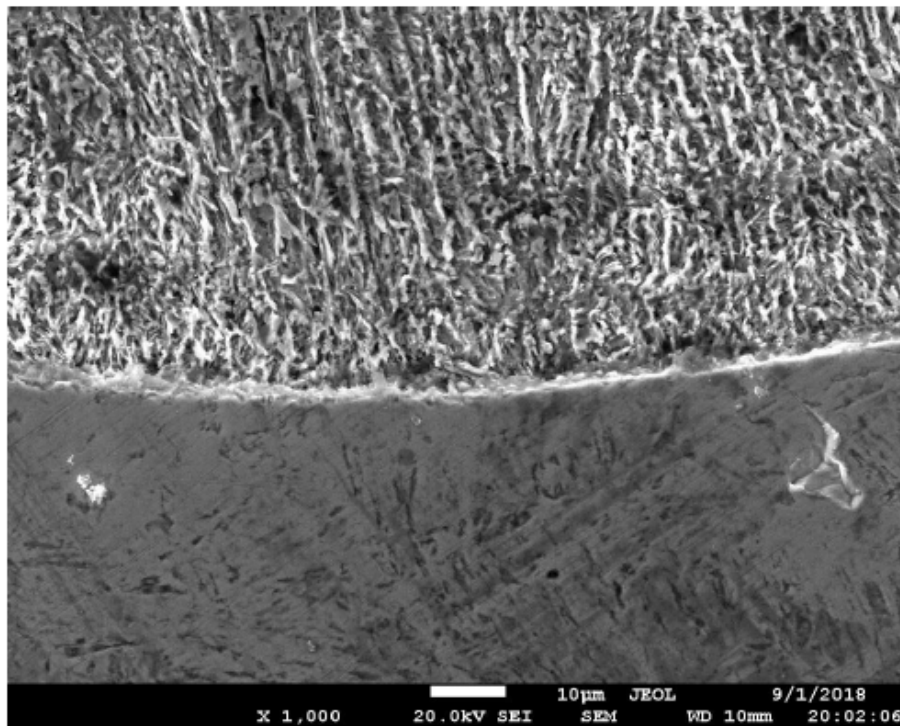


Рисунок 6.2.10 Шлифы образца 1.3

Из полученных снимков шлифов видно, что наплавленное покрытие является однородным. Переходной слой равномерный. Не наблюдается дефектов и реструктуризации поверхности на которую ведется наплавка.

Представленные результаты исследований показывают, что выбранный метод упрочнения поверхности порошковыми материалами полностью соответствует техническим требованиям к рабочим характеристикам наплавляемой поверхности.

Для проведения сравнительного анализа были изготовлены образцы с наплавленной на них проволокой.

6.3 Наплавка проволокой

Наплавка проволокой является альтернативным, изложенному выше, методом восстановления и упрочнения штамповой оснастки. Для сравнения этих методов проведём аналогичный ряд работ.

Перечень исследовательских работ (после лазерной наплавки):

- Изготовление шлифов для изучения образцов;
- Определение микротвердости в сечении зоны наплавки;
- Исследование макро и микроструктуры наплавленного слоя;
- Проведение испытаний на адгезионную стойкость покрытий.

Отработку технологии наплавки проволокой проводили на оборудовании компании АО «Русские электрические двигатели».

Наплавка производилась на образцы из стали 5Х2НМФ, над которыми проводились дальнейшие исследования. При регулировке режимов наплавки изменяли следующие параметры:

P – мощность лазерного излучения (Вт);

F – частота колебаний луча (Гц);

A – амплитуда колебаний луча (мм);

V – скорость перемещения лазерного луча приведенная (мм/сек);

H – высота инструмента (мм);

I – перекрытие наносимых валиков (мм);

W – скорость подачи проволоки (мм/с);

Q – расход защитного газа (л/мин).

В таблице 5 предоставлены технологические режимы, по которым были изготовлены четыре образца.

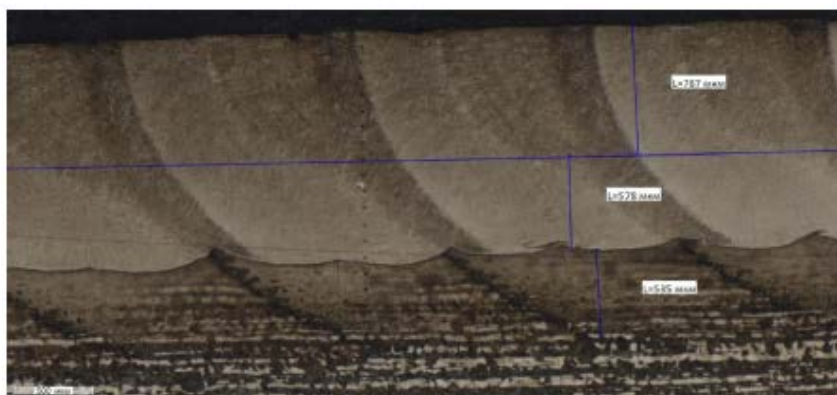
Таблица 6.3.1 - Технологические режимы наплавки проволокой

| № | Р, Вт | V, % мм/с | l, мм | W, м/мин | Н, мм | А | F, Гц | Q, л/мин |
|-----|-------|-----------|-------|----------|-------|---|-------|----------|
| 2.1 | 2500 | 20 мм/с | 1,5 | 1,22 | 210 | 2 | 200 | 40 |
| 2.2 | 2420 | 20 мм/с | 1,5 | 1,22 | 210 | 2 | 200 | 40 |
| 2.3 | 2440 | 20 мм/с | 1,5 | 1,22 | 210 | 2 | 200 | 40 |
| 2.4 | 2460 | 20 мм/с | 1,5 | 1,22 | 210 | 2 | 200 | 40 |

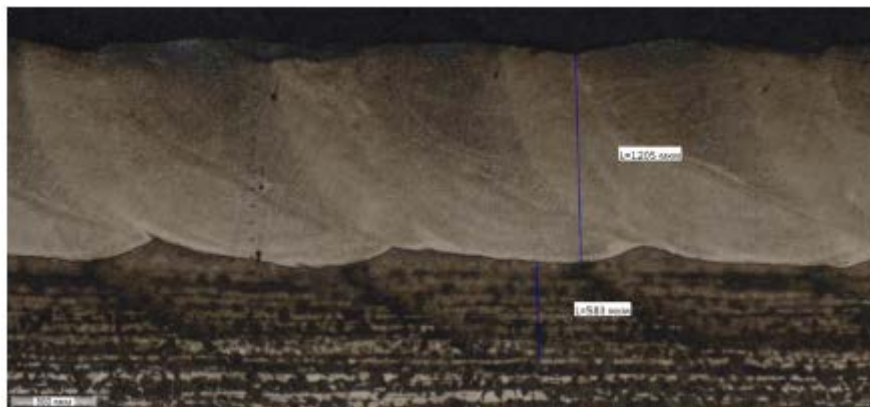
В ходе проведения работ на образцах из стали 5Х2МНФ наплавленное покрытие подвергалось шлифованию и проводился капиллярный контроль на наличие трещин, несплавлений, пор и других дефектов, выходящих на поверхность. После этого из образцов изготавливались микрошлифы, на которых проводились измерения микротвердости наплавленных покрытий.

На рисунках представленных ниже изображены результаты исследований шлифов и графики микротвердости полученных образцов.

Образец 2.1



А



Б



В

Рисунок 6.3.1 Шлиф образца 2.1 с наплавленной проволокой в поперечном сечении: А – начало, Б – центр, В – конец

Выполнены измерения микротвердости образца в начале, центре и конце наплавки.

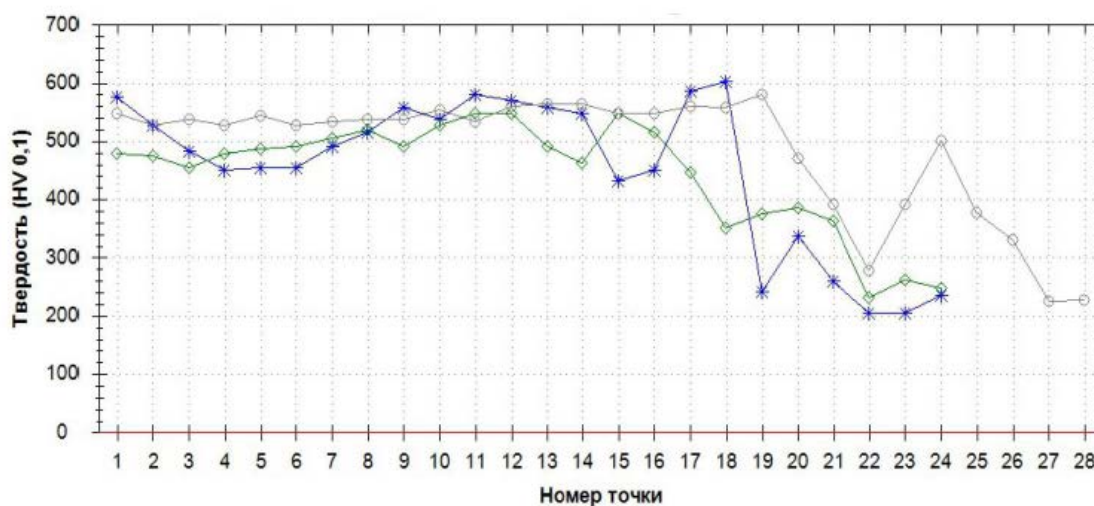
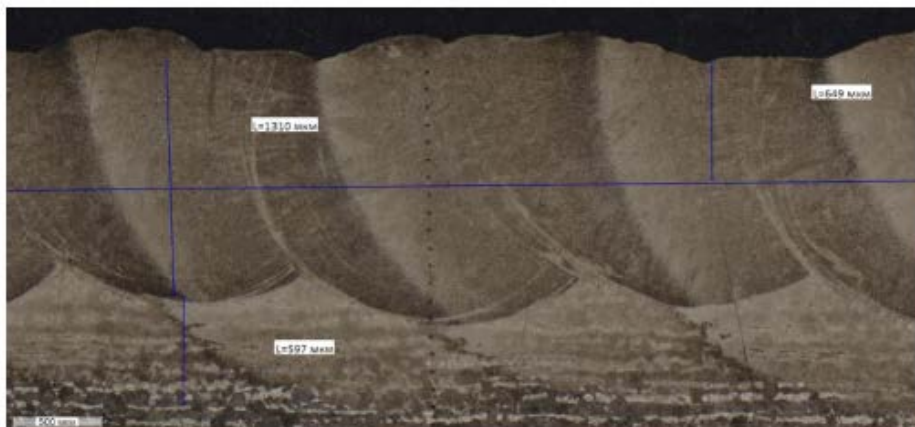


Рисунок 6.3.2 График микротвердости образца 2.1 с наплавленной проволокой:

—○— - начало образца, —◇— - центр образца, —*— - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 450 – 590 HV. Высота наплавки 700 – 900 мкм.

Образец 2.2



А



Б



В

Рисунок 6.3.3 Шлиф образца с наплавленной проволокой 2.2 в поперечном сечении: А – начало, Б – центр, В – конец

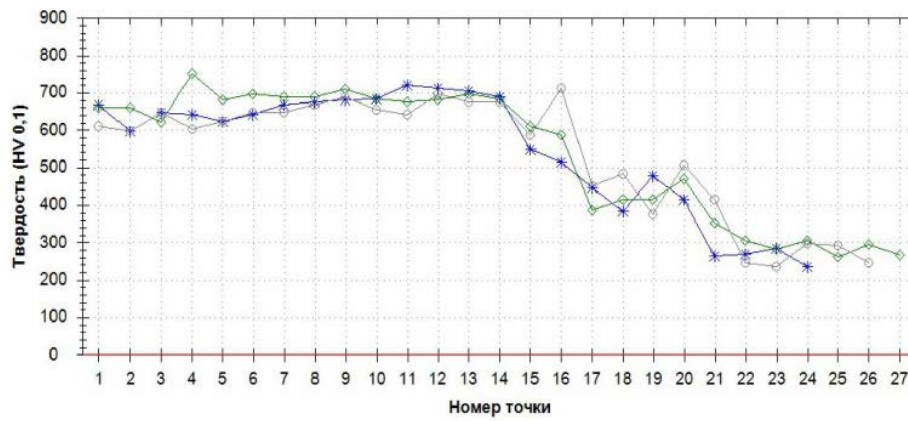
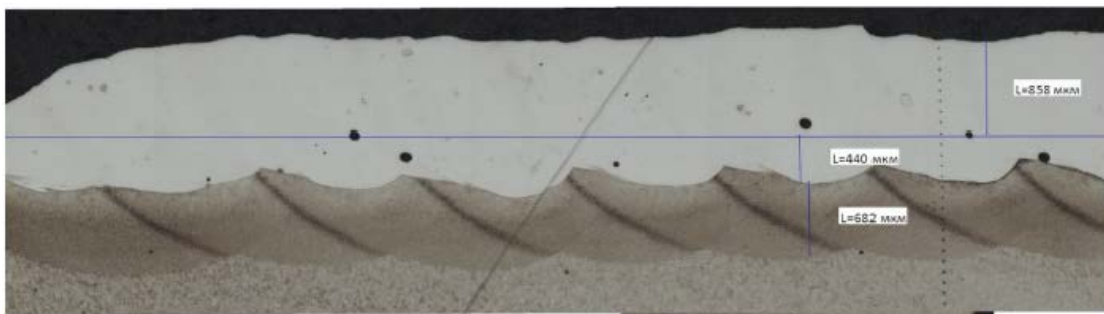


Рисунок 6.3.4 График микротвердости образца 2.2 с наплавленной проволокой:

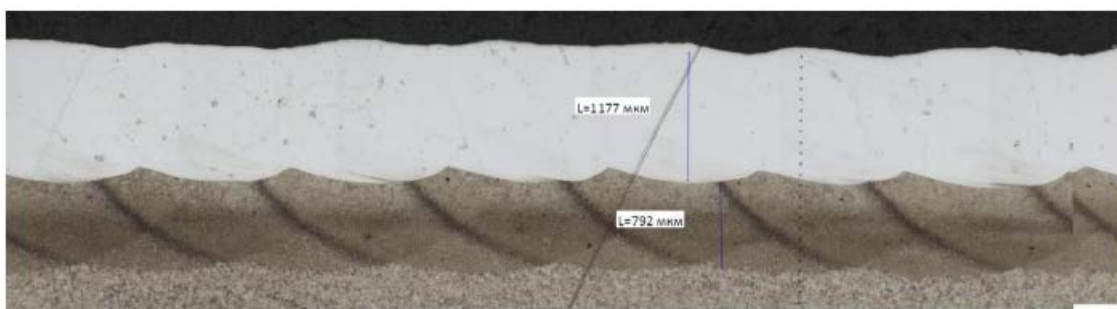
○ - начало образца, ◇ - центр образца, * - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 600-750 HV. Высота наплавки 660-880 мкм.

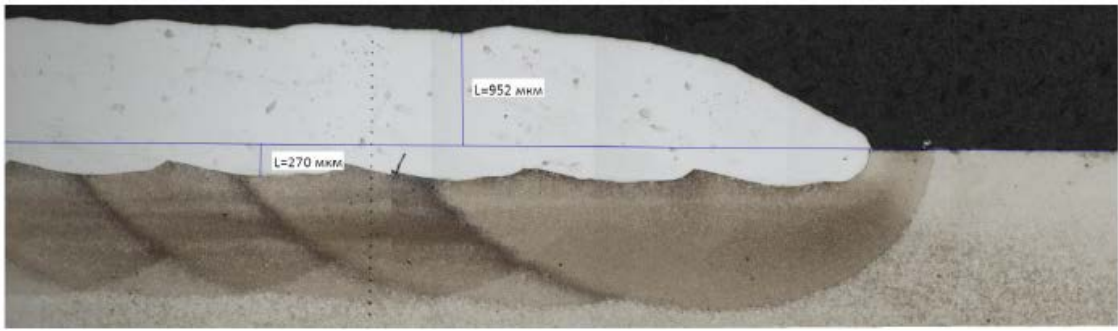
Образец 2.3



А



Б



В

Рисунок 6.3.5 Шлиф образца с наплавленной проволокой 2.3 в поперечном сечении: А – начало, Б – центр, В – конец

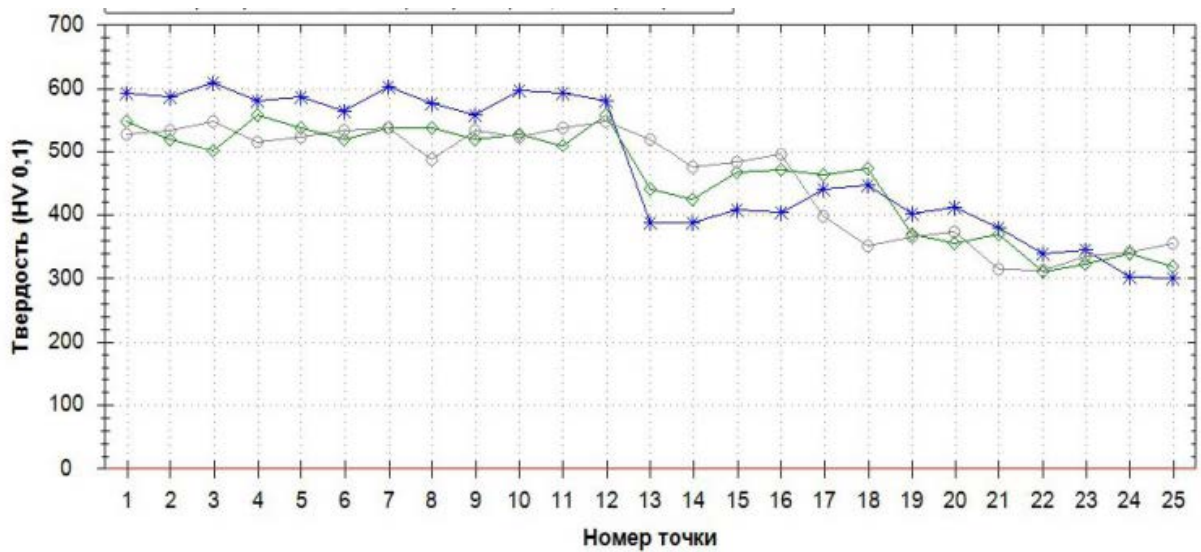
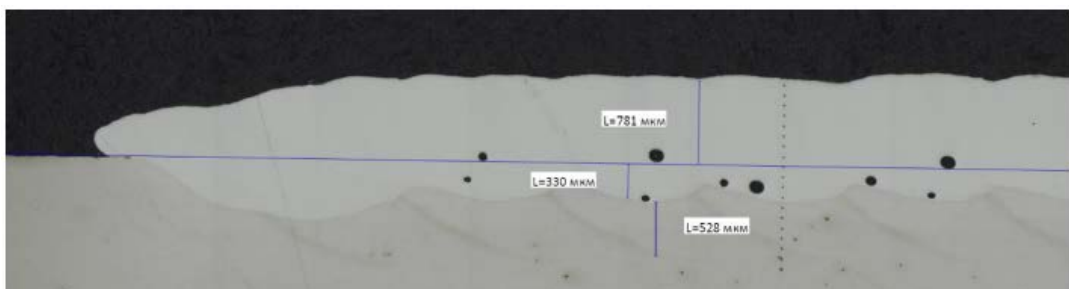


Рисунок 6.3.6 График микротвердости образца 2.3 с наплавленной проволокой:

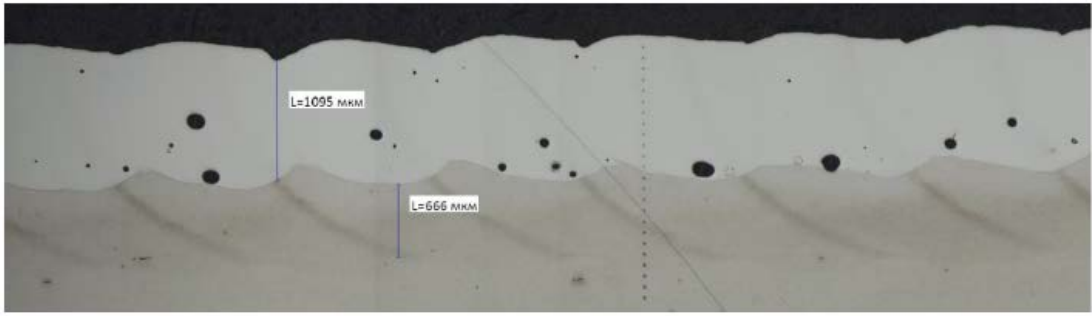
○ - начало образца, ◇ - центр образца, * - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 500-600 HV. Высота наплавки 850-950 мкм.

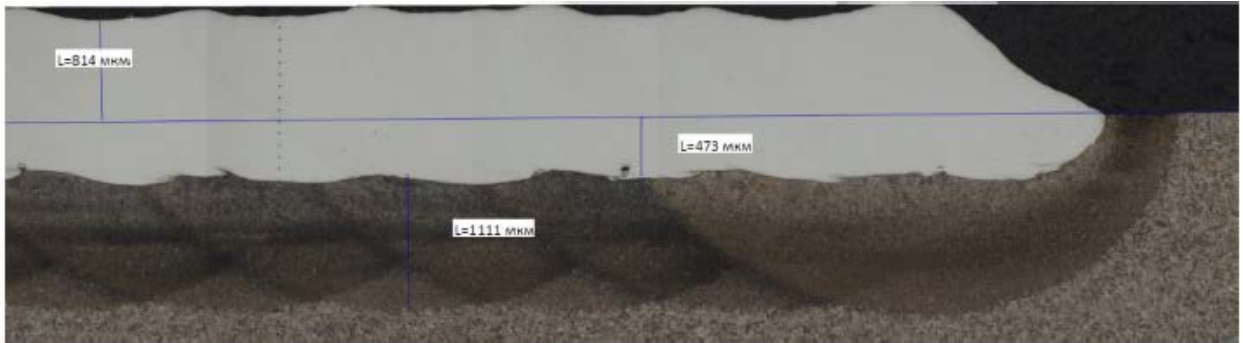
Образец 2.4



А



Б



В

Рисунок 6.3.7 Шлиф образца с наплавленной проволокой 2.4 в поперечном сечении: А – начало, Б – центр, В – конец

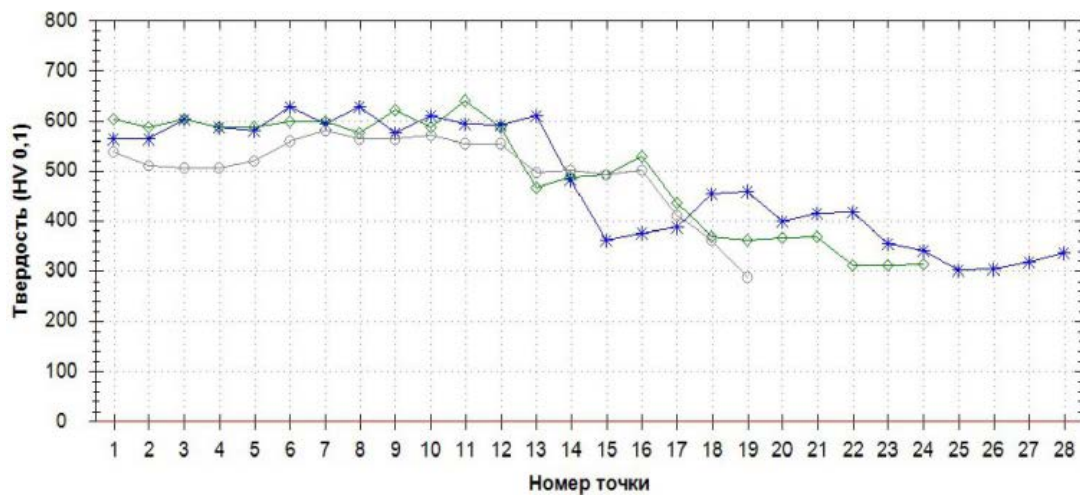


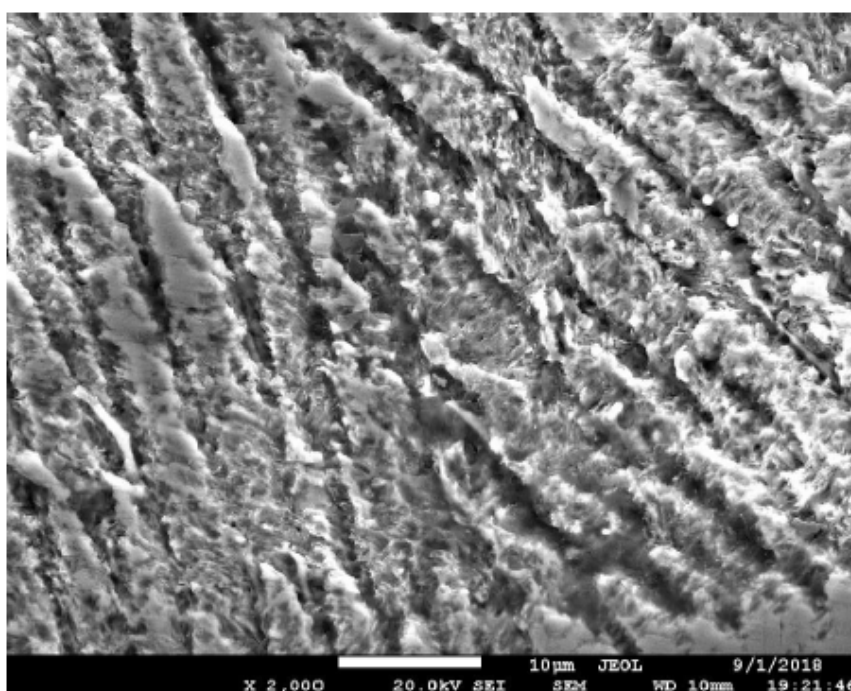
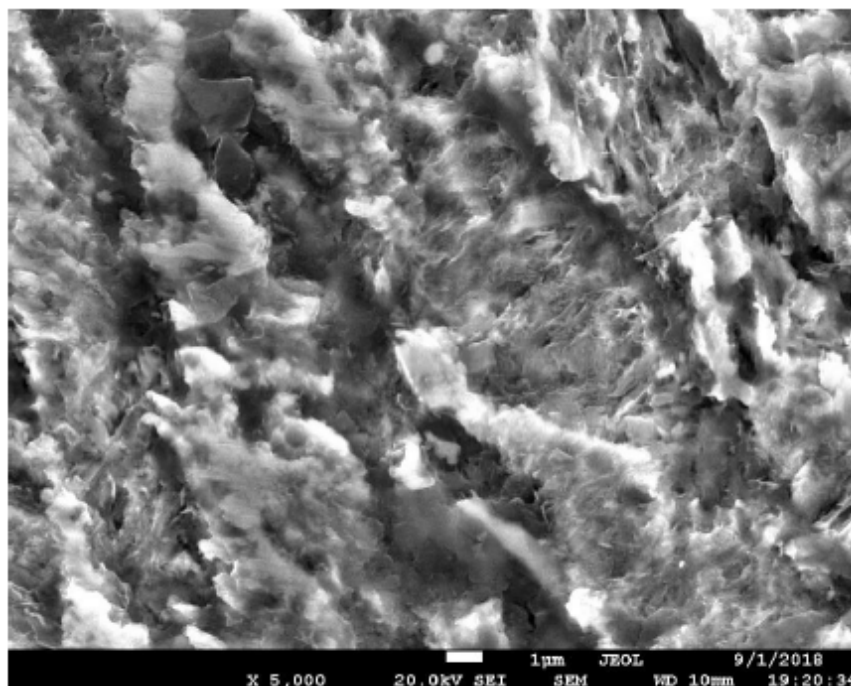
Рисунок 6.3.8 График микротвердости образца 2.4 с наплавленной проволокой:

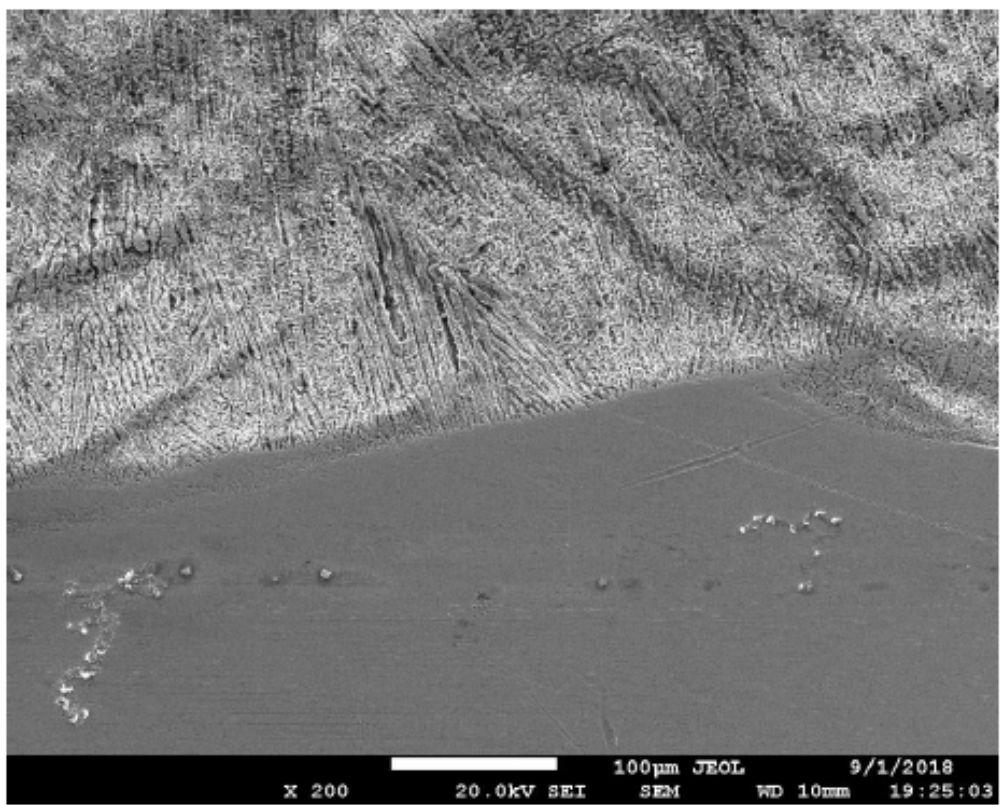
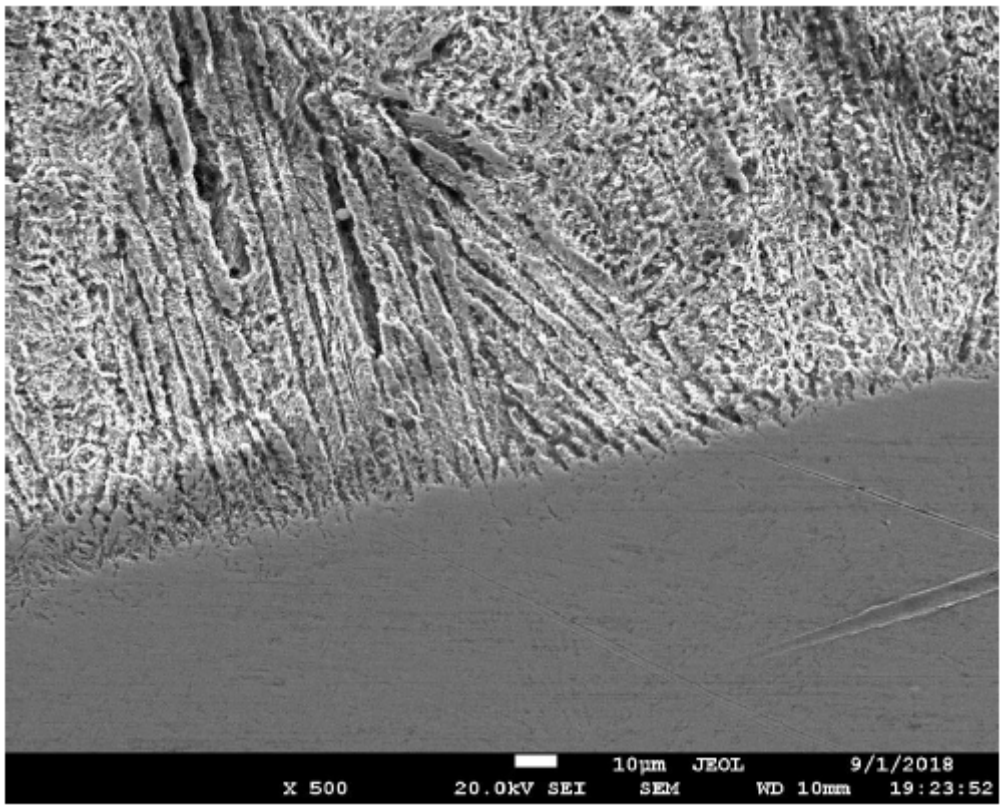
○ - начало образца, ◇ - центр образца, * - конец образца

В полученном образце отсутствуют трещины, поры и отслоения. Средняя твердость наплавленного покрытия составляет 500-650 HV. Высота наплавки 780-1000 мкм.

Для анализа микроструктуры полученного покрытия, при помощи микроскопа JEOL JSM 7001F была создана серия снимков.

Шлифы образца 2.3





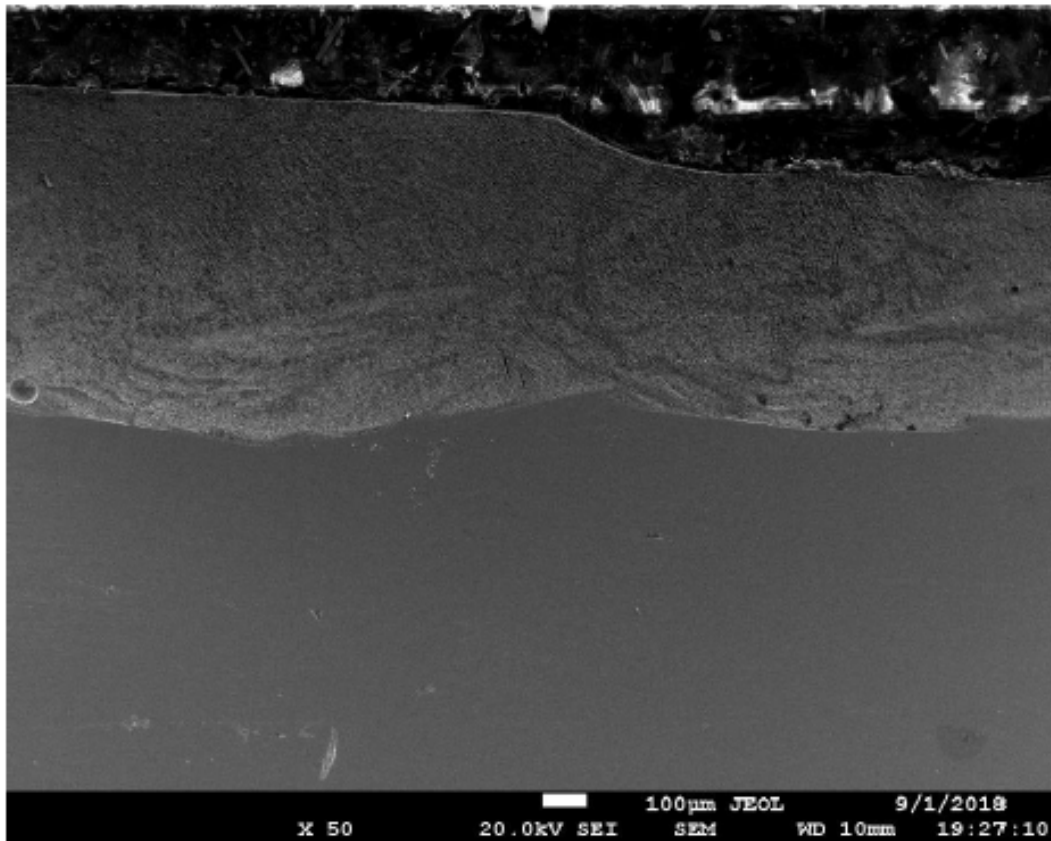


Рисунок 6.3.9 Шлифы образца 2.3

Представленные результаты исследований и разработки технологии показывают, что выбранный метод упрочнения поверхности проволокой также соответствует техническим требованиям к рабочим характеристикам наплавляемой поверхности.

Так как мы имеем дело со штамповой оснасткой, где течение металла оказывает усилие не только перпендикулярно к штампу, но также и параллельно наплавленному слою и высокие динамические нагрузки, необходимо оценить такую характеристику покрытия как адгезионная стойкость.

6.4 Методика испытаний на адгезионную стойкость

Была изготовлена серия из 8 образцов для исследования на адгезионную стойкость.

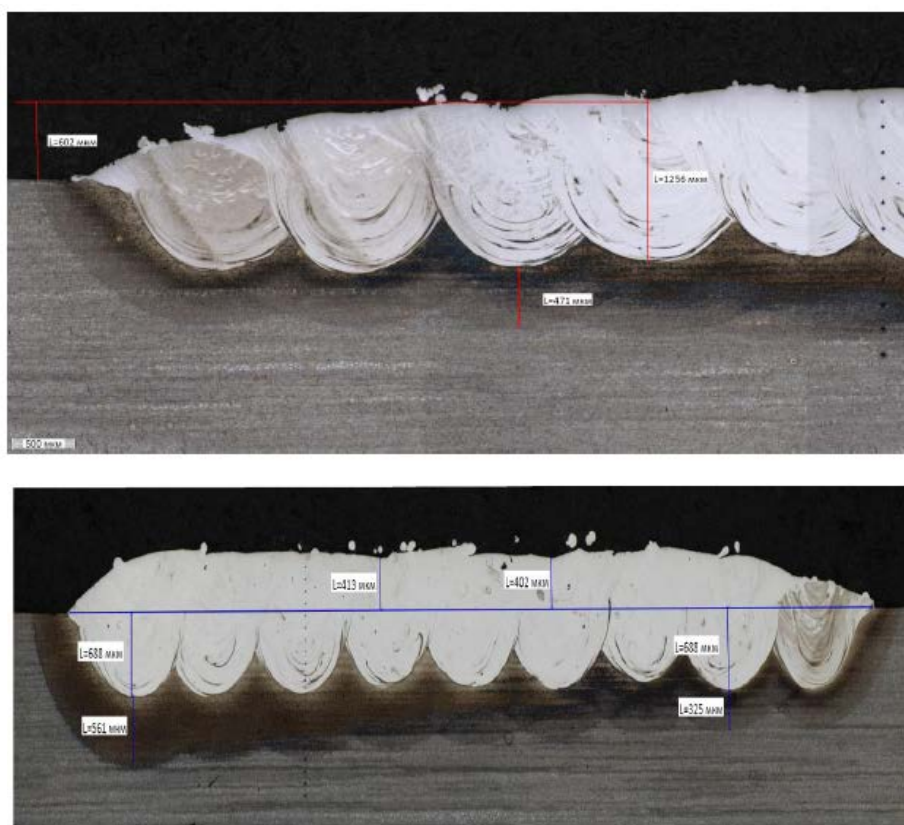


Рисунок 6.4.1 Микрошлифы образцов порошковых покрытий для испытаний на адгезионную стойкость

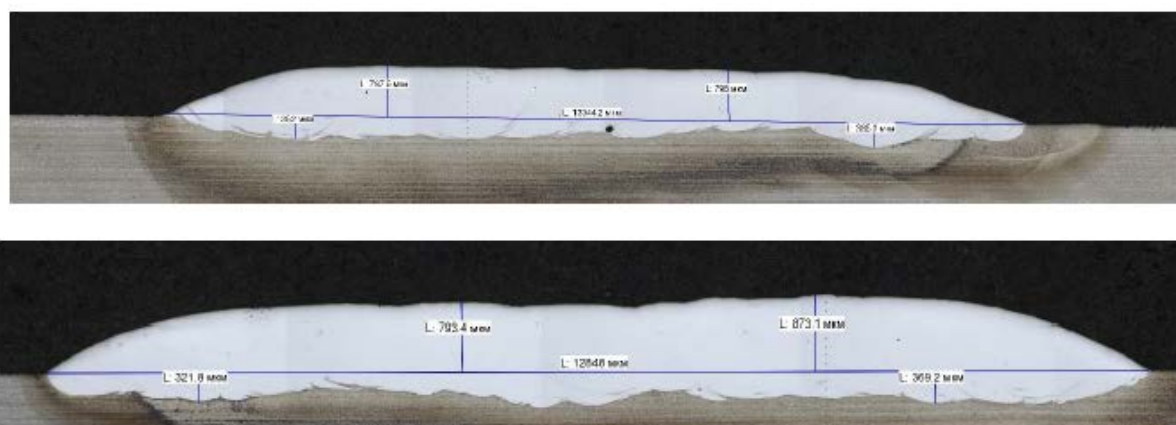


Рисунок 6.4.2 Микрошлифы образцов покрытий, наплавленных проволокой для испытания на адгезионную стойкость

Методика состоит в том, что цилиндрический образец из исследуемого материала (рисунок 6.4.3), с наплавленным на него, в виде кольцевого пояса слоем продавливается через матрицу. При этом под действием касательных напряжений происходит срез наплавленного слоя, а напряжение сдвига характеризует прочность сцепления наплавленного слоя с основой.

Машина для испытаний на сдвиг, обеспечивает нагрузку с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата, измерение нагрузки с погрешностью не более 1%, возможность регулирования скорости нагружения образца.

Образец изготавливают из исследуемого основного металла в виде цилиндра диаметром 24 мм и длиной 25 мм (Рисунок 6.4.4).



Рисунок 6.4.3 Образцы под испытания

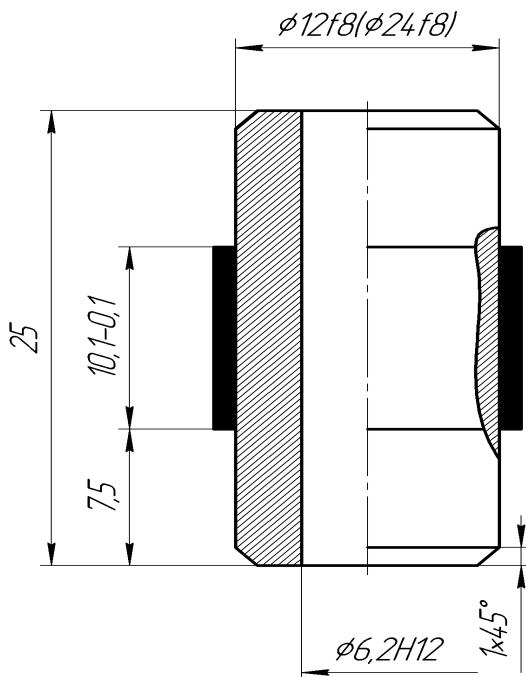


Рисунок 6.4.4 Образец с покрытием

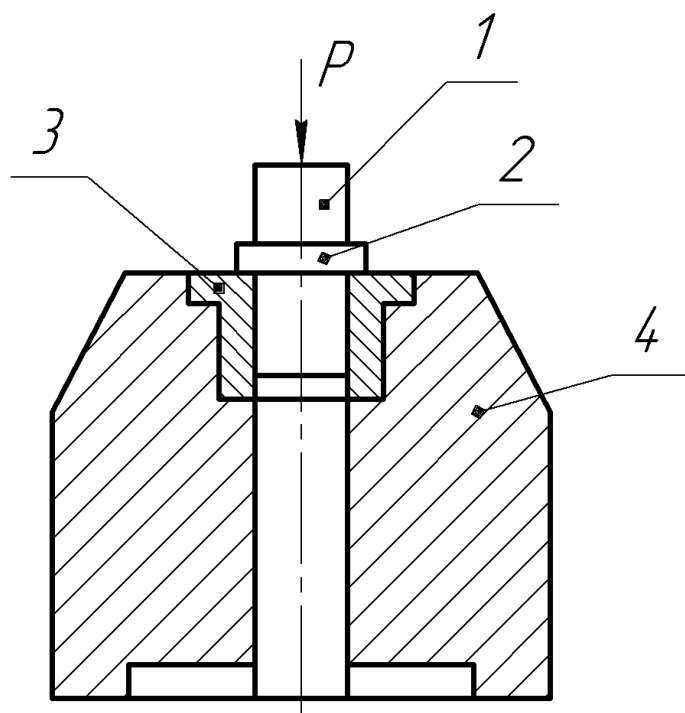


Рисунок 6.4.5 Схема испытания образцов на прочность сцепления при сдвиге

Толщина наплавленного слоя составляет 0,35...0,8 мм. Ширина наплавленного пояска 10 – 0,5 мм. Образец после проточки продавливают через матрицу 3 из инструментальной легированной стали твердостью HRC 54...62 в зависимости от твердости наплавленного слоя, вставленную в корпус 4 из стали 45 твердостью HRC 48. Образец по поверхности без наплавки должен входить по скользящей посадке в матрицу.

6.4.1 Подготовка к испытанию

Перед испытанием наплавленный слой протачивают, затем образец промывают в бензине или ацетоне и просушивают на воздухе. Образец устанавливают в матрицу, а матрицу в корпус, в соответствии со схемой испытаний (рисунок 6.4.5).

6.4.2 Проведение испытаний

После установки корпуса с исследуемым образцом в приспособление испытательной машины для сжатия назначают скорость перемещения активного захвата (одна и та же для данной серии образцов). При определении предела прочности автоматически записывают или фиксируют максимальную нагрузку,

предшествующую сдвигу (разрушению) пояска. Каждый вариант наплавки и технологический режим ее реализации испытывают не менее чем на семи образцах, с соответствующим технологическим номером.

6.4.3 Обработка результатов

Предел прочности сцепления покрытия с основным металлом при сдвиге определяют по формуле:

$$\tau = \frac{P}{\pi D \cdot h'}, \text{ МПа} \quad (1)$$

где P – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению пояска покрытия, Н; h – ширина пояска, мм; D – диаметр образца, мм.

Статистическую обработку результатов испытаний проводят по ГОСТ 11.004-74.

Таблица 6.4.3.1 - Результаты определения прочности сцепления покрытий с основным материалом при наплавке

| № п\п | Маркировка образца | Порядковый номер образца в серии | Усилие пресса (разрушающая нагрузка), Н | Прочность сцепления, Та, Мпа | Средняя арифметическая величина прочности | Вид разрушения |
|-------|--------------------|----------------------------------|---|------------------------------|---|--|
| 1 | Порошок | 6 | 208947 | 1386,3 | 1485,7 | деформация и срез 50% пояска наплавки |
| 2 | Порошок | 7 | 237937 | 1578,6 | | деформация 0,5мм и деформация основание бобышки на |

| | | | | | |
|--------|---------------|----|--------|--------|--|
| | | | | | глубину 1мм |
| 3 | Порошок | 8 | 209165 | 1387,7 | деформация и срез 20% пояса наплавки |
| 4 | Порошок | 9 | 239670 | 1590,1 | деформация 0,5мм и деформация основание бобышки на глубину 1мм |
| 5 | Проволок а | 10 | 256901 | 1704,5 | деформация и срез 50% пояса наплавки |
| 6 | Проволок а | 11 | 164378 | 1090,6 | деформация 0,5мм и деформация основание бобышки на глубину 1мм |
| 7 | Проволок а | 12 | 152768 | 1013,6 | деформация и срез 50% пояса наплавки |
| 8 | Проволок а | 13 | 162721 | 1079,6 | деформация 0,5мм и деформация основание бобышки на глубину 1мм |
| 1222,0 | | | | | |

Образцы после проверки на адгезионную стойкость представлены на фотографиях.



Рисунок 6.4.3.1 Образцы, упрочненные наплавкой порошком



Рисунок 6.4.3.2 Образцы, упрочненные наплавкой проволокой

Из экспериментальных данных видно, что адгезионная стойкость порошкового покрытия выше, чем проволокой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен анализ износа инструментальной оснастки при горячей штамповке. Было выявлено, что в данном процессе имеется четыре типа износа: абразивный, термическая усталость, механическая усталость и пластическая деформация.

Был осуществлён обзор современных технологий по восстановлению штамповой оснастки, а также обзор материалов, обладающих необходимыми нам физико-механическими характеристиками.

Мы остановили свой выбор на лазерной наплавке, как на одном из эффективных методов восстановления штампов. Для проведения серии экспериментов был выбран порошок CoCrW марки Плакарт-04.12, и проволока с аналогичным составом марки EnDOtec® DO*70.

После осуществления наплавки получение образцы были исследованы на качество наплавляемой поверхности, пористость, трещины.

В результате анализа полученных при проведении изложенных выше исследований, можно сделать вывод, что наплавка порошком и наплавка проволокой являются эффективными способами восстановления и упрочнения оснастки. Прочность полученных образцов, измеренная на твердомере попадала примерно в один диапазон. Несомненным плюсом наплавки проволокой является большая экономичность процесса. Для наплавки порошком мощность лазера значительно ниже, что показывает меньшую энергоёмкость процесса.

При проведении испытаний на адгезионную стойкость было выявлено, что образцы на которые был наплавлен порошок демонстрируют ощутимо большую прочность. Это говорит о том, что наплавленный слой смешивается с основным более основательно, чем при наплавке проволокой. Так как при горячей штамповке этот фактор износа играет большую роль, можно сделать вывод, что данный метод восстановления штамповой оснастки обеспечит более долгий срок службы инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владимиров, В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений. Учебник для проф.-техн. училищ / В.М. Владимиров – Москва : Изд-во «Высшая школа», 1974. – 431 с.
2. Steen W.M., Laser material processing / Steen W.M. – London: Springer, 2003. – 558 p.
3. Горохов, В.А. Материалы и их технологии: учебник / В.А. Горхов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе; под ред. В.А. Горхова. В 2 ч. Ч. 1. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2014. – 589 с.: ил.
4. Матвеев А.С. Справочник кузнеца / Матвеев А.С., Кочетков В.А., под ред. В.Ф. Безъязычного. М. : Машиностроение 2011. 360 с.: ил.
5. Sailesh Babu, M.S., A material based approach to creating wear resistant surfaces for hot forging, Doctoral Thesis / Sailesh Babu - The Ohio State university, 2004. – 207 p.
6. Sawan K., Optimization of steel tooling superalloy refill for hot forging, Doctoral Thesis / Sawan K. – INSA de Toulouse, 1994. – 203 p.
7. Ion J.C., Laser processing of engineering materials: Principles, procedure and industrial application / Ion J.C., Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, 2005. – 576 p.
8. Toyserkani E., Laser cladding. / E. Toyserkani, A. Khajepour, S. Corbin. – Boca Raton : CRS Press, 2005. – 280 p.