

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра Материаловедение и технологии обработки материалов

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.И. Темных

(подпись)

«__» _____ 2018 г.

БАКАЛАВАРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов
в машиностроении

Получение жаростойких композиционных материалов на никелевой основе методом индукционной наплавки

Научный руководитель

(подпись, дата)

А. М. Токмин

Выпускник

(подпись, дата)

Д. Д. Мальцев

Нормоконтроль

(подпись, дата)

Л. А. Свечникова

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Темных
(подпись)
« ____ » _____ 2018 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту (ке) Мальцеву Данилу Дмитриевичу

Группа *MT 14-01B* Направление (специальность) *22.03.01*

«Материаловедение и технологии обработки материалов»

Тема выпускной квалификационной работы: «Получение жаростойких композиционных материалов на никелевой основе методом индукционной наплавки»

Утверждена приказом по университету № 2261/с от 14.02.2018

Руководитель ВКР: Токмин Александр Михайлович, канд. тех. наук, профессор кафедры «М и ТОМ»

Исходные данные для ВКР: задание кафедры «М и ТОМ»;
методические указания к выполнению ВКР и её отдельных разделов;
научная, учебная, методическая литература.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

- 1 Анализ литературы по проблеме
- 2 Изучение установки для индукционной наплавки порошковых материалов
- 3 Экспериментальная наплавка жаростойких покрытий

Руководитель ВКР

(подпись)

А. М. Токмин

Задание принял к исполнению

(подпись)

Д. Д. Мальцев

« ___ » _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

В результате работы над дипломным проектом были изучены, способы индукционной наплавки металла, отработана технология индукционной наплавки металлана установке УВГ 2–25 производства Геофизики, изучены установка для осуществления наплавки по этой технологии и методика исследования образцов наплавленного металла, полученных при наплавке по данной технологии.

Технология, отработанная в данном дипломном проекте, может быть использована для дальнейшего изучения и совершенствования процесса индукционной наплавки самофлюсующихся порошков, что в дальнейшем может повысить качество покрытий полученных методами индукционной наплавки.

Объём пояснительной записки 72 – листа формата А4.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат.....	2
Введение.....	4
1 Анализ литературы по проблеме.....	6
1.1 Область применения жаростойких покрытий.....	6
1.2 Результаты патентного поиска.....	10
1.3 Способы наплавки.....	13
1.4 Сплавы, применяемые для наплавки.....	27
2 Изучение установки для индукционной наплавки порошковых материалов.....	31
2.1 Назначение индукционной закалочной многофункциональной установки ИЗ 25/40-80.....	31
2.2 Технические характеристики ИЗ 25/40-80.....	32
2.3 Устройство и принцип работы ИЗ 25/40-80.....	32
2.4 Порядок работы установки.....	33
2.5 Указание мер безопасности.....	35
3 Экспериментальная наплавка жаростойких покрытий.....	37
3.1 Технические сведения индукционной наплавки.....	37
3.2 Технология осуществления процесса наплавки.....	58
3.3 Методы проведения исследований и применяемое научное оборудование.....	60
3.4 Анализ результатов исследований.....	65
Заключение	70
Список использованных источников.....	71

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы изделия, предназначены для работ в условиях высоких температур и агрессивного воздействия внешней среды, должны обладать специфическими свойствами, одновременно сочетающими жаропрочность, жаростойкость, термомеханическую усталость, теплопроводность и др. Для их получения используются инновационные технологии, предусматривающие формирование гетерогенных материалов, одной из которых является – индукционная наплавка. В настоящее время для такого рода изделий обычно используют не монолитные, а слоистые материалы. Индукционная наплавка обладает рядом достоинств, которые позволяют использовать её для наплавки различных по химическому составу и структуре сплавов. Наиболее перспективными для этой цели являются самофлюсующиеся парамагнитные материалы. Наплавку таких материалов, возможно, производить на металлическую подложку в порошкообразном состоянии различного гранулометрического состава.

Одной из важных отраслей современной сварочной техники является наплавка – нанесение расплавленного металла на поверхность изделия, нагретую до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом. Наплавленный металл связан с основным металлом весьма прочно и образует одно целое с изделием. Толщина слоя от 0,5 до 10 мм и более. Это один из наиболее распространенных способов повышения износостойкости и восстановления деталей и конструкций.

Наплавка позволяет создавать слоистые изделия, у которых высокая прочность и низкая стоимость сочетаются с большой долговечностью в условиях эксплуатации. Многократное повторное восстановление изношенных деталей во много раз уменьшает расход металла для изготовления запасных частей оборудования.

Путем наплавки на рабочей поверхности изделия получаем сплав, обладающий комплексом свойств – износостойкостью, кислотоупорностью,

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

жаростойкостью и т.д. Масса наплавленного металла не превышает нескольких процентов от массы изделия. При ремонте восстанавливаются первоначальные размеры и свойства поверхности деталей.

Увеличение стойкости важно, если от нее зависит работа того или иного агрегата, а его замена связана с простоем.

К отличительным особенностям индукционного нагрева относится бесконтактный способ передачи энергии в нагреваемое изделие посредством электромагнитного поля. В любом электропроводном материале, помещенном в переменное электромагнитное поле, индуцируются вихревые токи. В сравнении с контактным индукционным (бесконтактный) подвод энергии упрощает и расширяет возможности нагрева геометрически сложных поверхностей деталей.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Область применения жаростойких покрытий

Жаростойкость – способность металла сопротивляться окислению в газовой среде или в других окислительных средах при повышенных температурах. Жаропрочные сплавы в принципе должны быть и жаростойкими, иначе они быстро выходят из строя из-за быстрого окисления. Однако жаростойкие сплавы не всегда бывают жаропрочными.

К жаростойким относятся стали и сплавы, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии при температурах выше 550 °С и обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах [8].

Повышение жаростойкости сплавов заключается в легировании добавками, которые, не снижая показатели жаропрочности и других свойств, снижают скорость окисления сплавов за счет образования на их поверхности плотной защитной пленки окислов, которые хорошо связаны с основой. Диффузия кислорода через оксидные пленки затруднена – это приводит к торможению процесса дальнейшего окисления.

Жаростойкость стали достигается введением хрома, никеля, алюминия или кремния, образующих в процессе нагрева защитные пленки оксидов $(Cr,Fe)_2O_3$, $(Al,Fe)_2O$. Введение в сталь 5–8 % хрома повышает жаростойкость до 700–750 °С, 17 % – до 1000 °С, 25 % – до 1100 °С. Дополнительное легирование к 25 % хрома 5 % алюминия повышает жаростойкость до 1300 °С. На рис. 1 приведена классификация жаростойких сталей и сплавов [15].

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

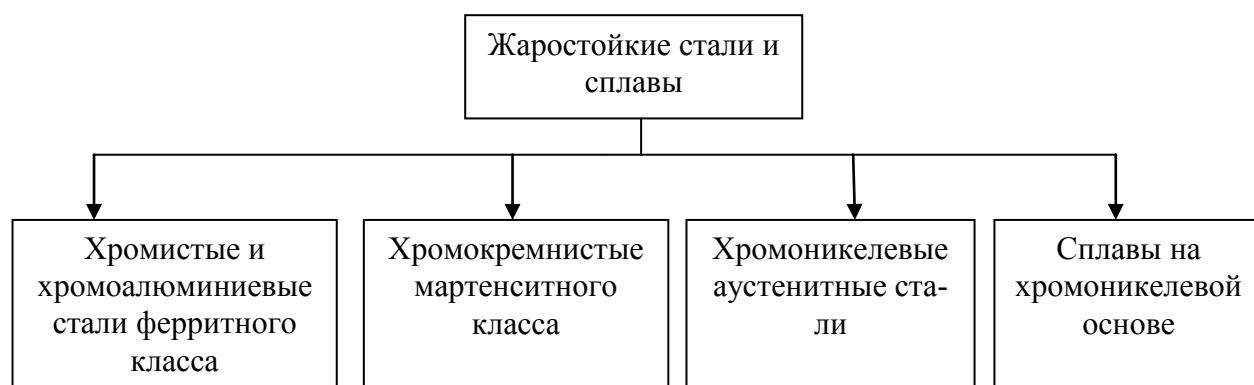


Рисунок 1 – Классификация жаростойких сталей и сплавов

К группе ферритных хромистых и хромоалюминиевых сталей относятся высокохромистые стали на основе 13–28 % Cr, которые при достаточно низком содержании углерода и легирования их ферритообразующими элементами имеют однофазную ферритную структуру. Эти стали применяются для изготовления теплообменников, деталей аппаратуры химических производств, печного оборудования и других изделий, не испытывающих значительных нагрузок и работающих при высоких температурах длительное время (08X17T, 15X25T, 15X28). Чем выше содержание хрома, алюминия и кремния в сталях, тем больше температуры, при которых они сохраняют требуемые эксплуатационные свойства.

Стали ферритного класса обладают невысокой прочностью и жаропрочностью, высокой пластичностью и технологическими свойствами.

Изделия из хромоалюминиевых сталей (содержание Al от 3,5 до 5,8 %) устойчивы в атмосфере воздуха, в среде сернистых газов, но резко теряют работоспособность в восстановительных средах, содержащих окись углерода, пары воды, а также в хлорсодержащих средах. При длительной работе в азотсодержащих средах образуются нитриды алюминия, которые устойчивы до высоких температур и не оказывают вредного влияния на свойства сталей.

Хромистые и хромоалюминиевые стали имеют крупный недостаток: они могут охрупчиваться в процессах технологического нагрева и длительной выдержки при повышенных температурах во время эксплуатации.

Фехраль – сплав обладающий высокой точностью, на основе железа. В его состав входят следующие элементы: Cr (12–27 %); Al (3,5–5,5 %); Si (1 %); Mn (0,7 %); остальное – Fe.

Представляет собой твёрдый, хрупкий сплав, который с трудом поддается механической обработке, обладает высоким удельным электрическим сопротивлением 1,2–1,3 мкОм·м. Плотность 7100–7300 кг/м³, температура плавления около 1450 °С. Наибольшая рабочая температура 1400 °С.

Применяется для изготовления нагревательных элементов мощных электронагревательных устройств, промышленных и технологических печей, пускотормозных резисторов электровозов, моторвагонного подвижного состава, в электронных сигаретах в качестве нагревательного элемента [13].

После его изготовления и прогрева до 350–400 °С, становится хрупким из-за рекристаллизации. После нагрева проволока диаметром 0,5–1 мм легко ломается, образуя неровный излом.

Выпускается в виде проволоки, прутков, лент, пластин.

Жаростойкие стали, имеющие повышенное содержание углерода (до 0,5–0,8 %) и легированные совместно хромом (6–14 %) и кремнием (1–3 %) (15X6CЮ, 40X10C2M), называются сильхромами. Они обладают хорошим сопротивлением газовой коррозии в продуктах сгорания различных видов топлива и высокой износостойкостью при трении и ударных нагрузках. Термическая обработка сильхромов состоит чаще всего из закалки на мартенсит и высокого отпуска или, реже, из нормализации [8].

Основное назначение сталей этой группы – клапаны автомобильных, тракторных и авиационных двигателей средней мощности [7]. Кроме того, сильхромы используют в качестве жаростойких сплавов для изготовления регуляторов, теплообменников и колосниковых решеток в котельном и химическом машиностроении.

Жаропрочные свойства сильхромов до 600 °С достаточно высоки, а при более высоких температурах резко снижаются [8].

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

В качестве жаростойких сталей аустенитного класса применяются главным образом стали на хромоникелевой основе. Эти стали не имеют больших преимуществ по жаростойкости перед высокохромистыми сталями ферритного класса, но выгодно отличаются по уровню механических свойств, в том числе жаропрочных, технологичности (способности к глубокой вытяжке, штамповке, свариваемости). Они также менее склонны к охрупчиванию после длительной выдержки при высоких температурах.

Недостатками сталей этого класса являются их сравнительно высокая стоимость, использование в больших количествах дефицитного никеля, низкая теплопроводность и сопротивление газовой коррозии в средах.

Аустенитные стали (08X18H9T, 12X18H9, 12X18H9T, 20X25H20C2) используют в качестве жаростойкого материала для выхлопных систем [7], труб, листовых и сортовых деталей при температурах 600–800 °С и невысоких нагрузках. Повышение жаростойкости аустенитных сталей достигается увеличением содержания в стали хрома, никеля, а также дополнительным легированием кремнием. В качестве жаростойких материалов для работы в углероживающих средах до 1100 °С (печные контейнеры и арматура) используют стали с повышенным содержанием углерода (сталь 36X18H25C2).

Термическая обработка аустенитных жаростойких сталей заключается обычно в закалке от температур 1000–1050 °С [8].

Жаростойкие сплавы на никельхромовой основе (нихромы) получили значительное распространение в качестве материалов для работы при 800–1100 °С, а при кратковременной работе – до 1200 °С. Эти сплавы применяют для изготовления деталей газовых турбин, не испытывающих больших рабочих нагрузок и работающих при высоких температурах (камеры сгорания, нагревательные элементы электрических печей и другие детали) [4].

Сплавы представляют собой в основном твердый раствор хрома (15–27 %) в никеле с решеткой ГЦК, слабо упрочняются при термической обработке, имеют высокую пластичность, высокое электросопротивление и хорошие технологические свойства. В качестве элементов, дополнительно повышаю-

щих жаростойкость нихромов [8], применяется алюминий (до 3,5 %), титан, молибден, ниобий в небольших количествах, а также вольфрам.

Металлы, которые отличаются жаростойкостью, применяют преимущественно для изготовления ненагруженных конструкций, эксплуатируемых в условиях постоянного воздействия на них газовой окислительной среды и температуры, не превышающей 550 °С. К таким конструкциям, в частности, относятся элементы нагревательных печей [13].

1.2 Результаты патентного поиска

Для изучения жаростойких покрытий в различных областях были изучены авторские свидетельства и патенты РФ. Из большого количества были выбраны 5 наиболее интересных.

Патент № 2598657 С03С. Изобретение относится к материалам для защиты деталей газотурбинных двигателей из жаропрочных сталей и никелевых сплавов от окисления под действием высокотемпературной газовой коррозии в процессе эксплуатации. Техническим результатом изобретения является повышение жаростойкости, термостойкости, смачивающей способности поверхности образцов и прочности сцепления покрытия с подложкой. Жаростойкое покрытие содержит, мас. %: Al_2O_3 – 13,0–18,0, MgO – 1,0–2,5, CaO – 3,0–8,0, BaO – 5,0–9,0, TiO_2 – 1,5–4,8, B_2O_3 – 3,5–7,6, Cr_2O_3 – 2,5–6,0, BaSi_2O_5 – 5,0–10,0, $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ – 2,0–6,5, минеральное комплексное соединение на основе SiO_2 – 2,5–6,0, SiO_2 – остальное.

Патент № 2328472 С03С. Изобретение относится к материалам для защиты деталей газотурбинных двигателей из жаропрочных железоникелевых сплавов и коррозионностойких сталей от высокотемпературной газовой коррозии в процессе эксплуатации при температуре 900 °С. Технический результат изобретения заключается в повышении температуроустойчивости, термостойкости и прочности сцепления жаростойкого покрытия. Жаростойкое покрытие содержит следующие компоненты: SiO_2 – 16,0–25,0; B_2O_3 – 3,5–4,0; Al_2O_3 – 1,5–2,0; BaO – 20,0–21,0; CaO – 2,5–3,0; TiO_2 – 1,5–2,0; Cr_2O_3 –

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

16,5–17,5, минеральное комплексное соединение на основе SiO_2 – 4,0–5,0; полиметилфенилсилоксан – 0,5–1,0; кремний органическая смола – 11,5–12,5; ксилол – 10,0–11,0; SiB_4 – 0,5–1,0; MoO_3 – 1,0–1,5; Co_2O_3 – 2,0–2,5. Минеральное комплексное соединение на основе SiO_2 имеет следующий состав: SiO_2 – 56,25–58,05; Al_2O_3 – 34,3–35,1; CaO – 1,0–1,2; MgO – 1,0–1,1; K_2O – 2,5–2,6; Na_2O – 0,6–0,7; TiO_2 – 1,6–1,8; SO_3 – 0,15–0,25; Fe_2O_3 – 0,8–1,0; или SiO_2 – 35,25–40,05; Al_2O_3 – 34,3–35,1; CaO – 1,0–1,2; MgO – 1,0–1,1; K_2O – 2,5–2,6; Na_2O – 0,6–0,7; TiO_2 – 1,6–1,8; SO_3 – 0,15–0,25; Fe_2O_3 – 0,8–1,0; SiB_4 – 18,0–21,0.

Патент №2163897 C03C. Изобретение относится к машиностроению, а именно к материалам для защиты жаропрочных никелевых сплавов от разрушения под действием газовой коррозии высокоскоростного потока горячих газов в процессе эксплуатации. Технический результат изобретения: обеспечение необходимой жаростойкости, термостойкости, эффективного интервала размягчения покрытий для жаропрочных никелевых сплавов при температурах эксплуатации 1100 °С и выше, повышение ресурса работы изделий в 2 раза. Жаростойкое покрытие имеет состав, мас. %: SiO_2 – 38,0–52,6; B_2O_3 – 6,0–7,5; Al_2O_3 – 18,0–20,0; BaO – 7,0–9,0; CaO – 3,5–7,5; MgO – 0,9–2,0; TiO_2 – 2,5–4,0; Cr_2O_3 – 4,0–5,5, минеральное комплексное соединение на основе SiO_2 – 5,5–6,5. Состав минерального комплексного соединения на основе SiO_2 , мас. %: SiO_2 – 56,25–58,5; Al_2O_3 – 34,30–35,10; CaO – 1,0–1,2; MgO – 1,0–1,1; K_2O – 2,5–2,6; Na_2O – 0,6–0,7; TiO_2 – 1,6–1,8; SO_3 – 0,15–0,25; Fe_2O_3 – 0,8–1,0 или SiO_2 – 35,25–40,05; Al_2O_3 – 34,30–35,10; CaO – 1,0–1,2; MgO – 1,0–1,1; K_2O – 2,5–2,6; Na_2O – 0,6–0,7; TiO_2 – 1,6–1,8; SO_3 – 0,15–0,25; Fe_2O_3 – 0,8–1,0; SiB_4 – 18,0–21,0.

Патент № 2255076 C04B. Изобретение относится к области машиностроения, а именно к материалам для защиты деталей выхлопной системы планера, выполненных из жаропрочных сплавов и коррозионно-стойких сталей, от высокотемпературной газовой коррозии в процессе эксплуатации до 600 °С. Технический результат изобретения – создание покрытия с повышен-

						ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			14

ной температурной устойчивостью и прочностью сцепления при температуре эксплуатации 600 °С, формирующегося при комнатной температуре. Жаростойкое покрытие содержит, мас. %: SiO₂ – 20,0–36,5, B₂O₃ – 4,0–5,0, Al₂O₃ – 5,0–6,0, BaO – 5,0–6,0, CaO – 2,0–4,0, MgO – 0,5–1,5, TiO₂ – 1,5–2,5, Cr₂O₃ – 15,0–17,0, Na₂O – 2,0–3,5, P₂O₅ – 0,5–1,5, натриевое жидкое стекло 23,0–27,0 и минеральное комплексное соединение на основе SiO₂ – 5,0–6,0 химического состава, мас. %: SiO₂ – 56,25–58,05, Al₂O₃ – 34,3–35,1, CaO – 1,0–1,2, MgO – 1,0–1,1, K₂O – 2,5–2,6, Na₂O – 0,6–0,7, TiO₂ – 1,6–1,8, SO₃ – 0,15–0,25, Fe₂O₃ – 0,8–1,0, или другого, где вместо SiO₂ – 56,25–58,05 содержится SiO₂ – 35,25–40,05 и SiB₄ – 18,0–21,0. Предлагаемое покрытие обеспечивает экологическую чистоту производства, снижение энергоемкости и трудоемкости операций ремонта в производственных условиях и повышение надежности работы деталей с покрытием в 1,5–2 раза.

Патент № 2273609 С03С. Изобретение относится к области машиностроения, а именно к материалам для защиты деталей газотурбинных двигателей (камера сгорания, жаровые трубы, газоводы и др.) из жаропрочных сплавов от высокотемпературной газовой коррозии в процессе эксплуатации при температуре 1000 °С. Технической задачей изобретения является создание покрытия с повышенной температурной устойчивостью, прочностью сцепления, термостойкостью при температуре эксплуатации 1000 °С, формирующегося при комнатной температуре. Жаростойкое покрытие содержит в мас. %: SiO₂ – 56,25–58,05, Al₂O₃ – 34,3–35,1, CaO – 1,0–1,2, MgO – 1,0–1,1, K₂O – 2,5–2,6, Na₂O – 0,6–0,7, TiO₂ – 1,6–1,8, SO₃ – 0,15–0,25, Fe₂O₃ – 0,8–1,0 или SiO₂ – 35,25–40,05, Al₂O₃ – 34,3–35,1, CaO – 1,0–1,2, MgO – 1,0–1,1, K₂O – 2,5–2,6, Na₂O – 0,6–0,7, TiO₂ – 1,6–1,8, SO₃ – 0,15–0,25, Fe₂O₃ – 0,8–1,0, SiB₄ – 18,0–21,0, полиметилфенилсилоксан, кремнийорганическую смолу, при этом оно дополнительно содержит SiB₄, ксилол при следующем соотношении компонентов, в мас. %: SiO₂ – 20,0–33,0, B₂O₃ – 4,0–5,0, Al₂O₃ – 7,0–8,0, BaO – 7,0–8,0, CaO – 4,0–5,5, MgO – 0,5–1,5, TiO₂ – 1,0–2,2, Cr₂O₃ – 15,0–17,0, минеральное комплексное соединение на основе SiO₂ – 5,0–6,0, полиметилфенил-

					ДП- 22.03.01 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

силоксан 0,5–0,8, кремнийорганическая смола 11,5–12,5, ксилол 10,0–11,0, SiB₄ – 1,5–2,5. Применение покрытия, формируемого при комнатной температуре, обеспечивает снижение энергоемкости и трудоемкости операции ремонта в производственных условиях и повышение надежности работы деталей с покрытием в 1,5–2 раза. Покрытие обеспечивает экологическую чистоту производства.

1.3 Способы наплавки

В настоящий момент известно большое количество способов наплавки, к наиболее распространенным из них относятся следующие:

- газовая наплавка;
- дуговая наплавка под флюсом;
- наплавка открытой дугой;
- наплавка в среде защитного газа;
- наплавка порошковой проволокой;
- автоматическая наплавка под флюсом ленточным электродом;
- вибродугая наплавка;
- электрошлаковая наплавка;
- наплавка заливкой жидкого металла;
- плазменная наплавка;
- индукционная наплавка.

Газовая наплавка (рис. 2). Газовая наплавка – один из способов сварки плавлением, протекающей в условиях частичного оплавления основного металла при использовании высокотемпературного пламени, получаемого при сжигании смеси горючего газа с кислородом [1].

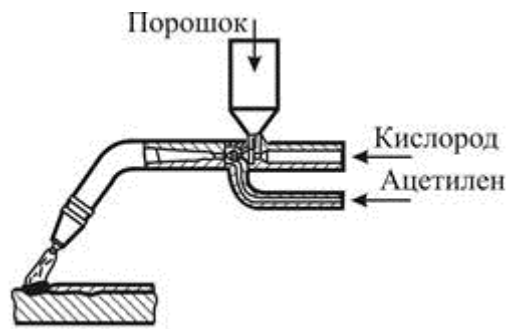


Рисунок 2 – Горелка для газопорошковой наплавки

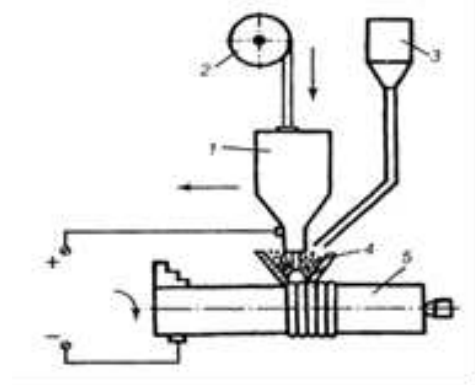
Газовая наплавка обеспечивает следующие преимущества:

- незначительное проплавление основного металла;
- возможность наплавки деталей сложной формы;
- уменьшение опасности возникновения трещин, поскольку процесс наплавки включает предварительный подогрев и последующее замедленное охлаждение изделия;
- низкая стоимость сварочного оборудования.

Вместе с тем для газовой наплавки характерны и недостатки:

- низкая производительность при наплавке массивных деталей требующих продолжительного предварительного подогрева;
- высокая квалификация сварщика;
- отсутствие возможности автоматизации процесса;
- при работе с легированными сталями и цветными металлами требуется применения флюсов;
- низкая экологичность процесса.

Дуговая наплавка под флюсом. Возможность наплавки при большой силе тока и высокой погонной энергии обеспечивает этому способу высокую производительность при хорошем качестве наплавляемого металла, и благодаря этому данный способ занимает основное положение в области автоматической наплавки (рис. 3).



- 1 – наплавочный аппарат;
- 2 – кассета;
- 3 – бункер;
- 4 – приемник;
- 5 – деталь

Рисунок 3 – Схема установки для дуговой наплавки под слоем флюса

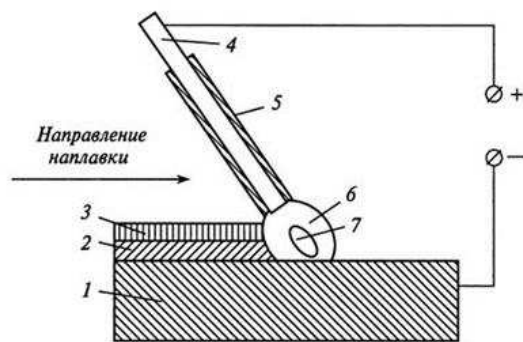
Дуговая наплавка под флюсом имеет следующие преимущества:

- высокая производительность процесса при наплавке изделий простой формы с большой площадью наплавляемой поверхности;
- простота осуществления процесса, не требующего высокой квалификации сварщика;
- возможность получения хорошего внешнего вида валика;
- хорошие условия труда, связанные с отсутствием разбрызгивания электродного металла, потому что дуга скрыта под слоем флюса.

Этому способу наплавки присущи следующие недостатки:

- более высокая стоимость оборудования, чем для ручной дуговой наплавки покрытыми электродами;
- непригодность для наплавки мелких изделий сложной формы;
- большая глубина проплавления основного материала;
- невозможность изготовления тонкостенных деталей.

Наплавка открытой дугой. Наплавка без защитной среды [1], в среде воздуха, осуществляется проволокой сплошного сечения или порошковой проволокой при отсутствии подачи флюса или защитного газа в зону дуги. Наплавка проволокой сплошного сечения связана с большими практически трудностями и уступает способу наплавки порошковой проволокой с флюсовой сердцевинкой (рис. 4).



- 1 – основной металл;
- 2 – наплавленный валик;
- 3 – шлаковая корка;
- 4 – электродный стержень;
- 5 – покрытие электродного стержня;
- 6 – газшлаковая защита;
- 7 – сварочная ванна

Рисунок 4 – Схема ручной наплавки

Наплавка открытой дугой порошковой проволокой обладает следующими преимуществами:

- простота используемого оборудования и технологии, связанная с отсутствием необходимости применения защитного газа и флюса;
- возможность наплавки в полевых условиях;
- простой способ введения легирующих элементов в наплавленный металл, состав которого можно регулировать в широких пределах.

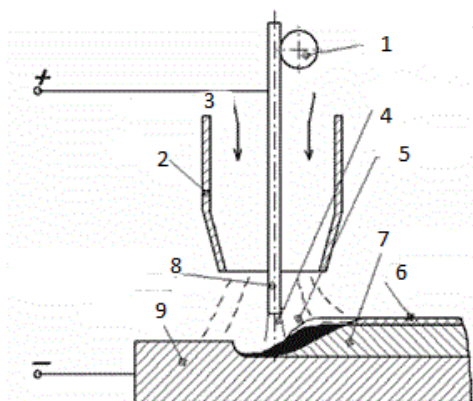
Однако имеется ряд недостатков:

- большая глубина проплавления основного материала при наплавке разнородных материалов;
- высокая стоимость получения проволок сложного химического состава.

Наплавка в среде защитного газа. Способ состоит в дуговой наплавке при защите зоны дуги аргоном [1], гелием или иным инертным газом. Наплавку в среде инертного газа (рис. 5) осуществляют в двух вариантах: плавящимся и вольфрамовым электродами. Задача получения наплавленного металла с заданными свойствами требует тщательного выбора состава защитного газа. Применение механизированных средств подачи наплавочного материала с постоянной скоростью позволяет осуществлять наплавку в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Применение инертного газа исключает необходимость использования флюса, поэтому данный способ особенно эффективен при наплавке цветных

металлов, высоколегированных сталей и других материалов, чувствительных к окислению и азотированию. Высокое качество наплавленного металла обеспечивается при широком выборе наплавочных материалов.



- 1 – механизм подачи сварочной проволоки;
- 2 – сопло;
- 3 – защитный газ;
- 4 – сварочная дуга;
- 5 – газовая среда;
- 6 – шлаковая корка;
- 7 – наплавленный металл;
- 8 – плавящийся электрод;
- 9 – изделие

Рисунок 5 – Схема наплавки в защитном газе плавящимся электродом

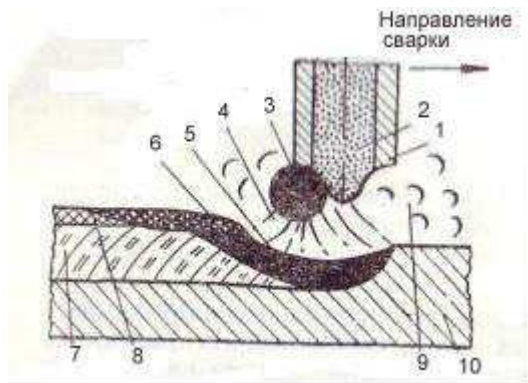
Наплавка порошковой проволокой. Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой или другой, более сложной конструкции с порошкообразным наполнителем – сердечником. Сердечник состоит из смеси минералов, руд, ферросплавов металлических порошков, химикатов и других материалов. Назначение различных составляющих сердечника подобно назначению электродных покрытий – защита расплавленного металла от вредного влияния воздуха, раскисление, легирование металла, стабилизация дугового разряда и др. Составляющие сердечника должны, кроме того, удовлетворять общепринятым требованиям, предъявляемым ко всем сварочным материалам: обеспечивать хорошее формирование швов, легкую отделимость шлаковой корки, провар основного металла, минимальное разбрызгивание металла, отсутствие пор, трещин, шлаковых включений и других дефектов, определенные механические свойства швов и сварных соединений и т. д. [1].

Порошковые проволоки используются для сварки без дополнительной защиты зоны сварки, а также для сварки в защитных газах, под флюсом,

электрошлаковой. Проволоки, используемые для сварки без дополнительной защиты, называются самозащитными. Входящие в состав сердечника проволоки таких материалов при нагреве и расплавлении в дуге создают необходимую шлаковую и газовую защиту расплавленного металла. В настоящее время наибольшее распространение получили порошковые проволоки для сварки в углекислом газе и самозащитные порошковые проволоки. В зависимости от диаметра и состава порошковой проволоки сварка может осуществляться во всех трех пространственных положениях.

Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой со свободным формированием шва приведена на рис. 6. Электрическая дуга возбуждается между оболочкой 1 порошковой проволоки и основным металлом 10. За счет тепла, выделяемого в дуге, плавятся оболочка и сердечник 2 проволоки. Расплавившийся металл оболочки и сердечника образует на торце проволоки капли 3, которые растут и переносятся в сварочную ванну 5. При расплавлении минералов, руд и химикатов, входящих в состав сердечника, образуется шлак 6, покрывающий тонким слоем капли и сварочную ванну. Дуга 4 горит между каплями или оболочкой и сварочной ванной. При разложении карбонатов и органических материалов сердечника выделяются газы 9, которые защищают расплавленный металл от воздуха. Проволока по мере оплавления автоматически подается в зону сварки. При удалении дуги жидкий металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов 7, покрытый слоем затвердевшего шлака 8.

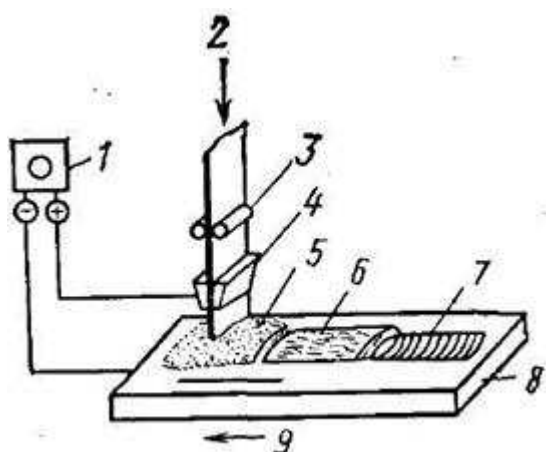
					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21



- 1 – оболочка;
- 2 – сердечник проволоки;
- 3 – капля;
- 4 – дуга;
- 5 – сварочная ванна;
- 6 – шлак;
- 7 – сварной шов;
- 8 – затвердевший шлак;
- 9 – газы;
- 10 – основной металл

Рисунок 6 – Схема процесса наплавки самозащитной порошковой проволокой

Автоматическая наплавка под флюсом ленточным электродом. Такой метод основан на применении специального ленточного электрода, который можно рассматривать как большое количество обычных электродов, расположенных в один ряд (рис. 7).



- 1 – источник питания;
- 2 – ленточный электрод;
- 3 – ролики подачи электрода;
- 4 – мундштук (токоподвод);
- 5 – флюс;
- 6 – шлак;
- 7 – наплавленный металл;
- 8 – основной металл;
- 9 – направление наплавки

Рисунок 7 – Наплавка ленточным электродом и оплавление конца ленточного электрода

При увеличении ширины ленты ширина валика возрастает, глубина проплавления уменьшается от 2,8 до 0,9 мм.

В настоящее время выпускают ленту холодного проката шириной от 20,0 до 100 мм и толщиной от 0,4 до 1,0 мм и литые ленты большей толщины. Проплавление основного металла при хорошо подобранных режимах 0,5–1,5 мм. За один проход можно наплавить валик толщиной от 2 до 8 мм. Доля участия основного металла в наплавленном валике составляет от 5 до

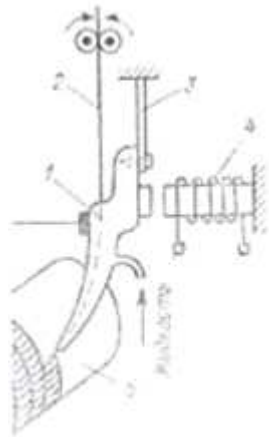
10 %. Коэффициент наплавки будет в пределах 15–20 г/(А·ч). Способ эффективен для наплавки больших поверхностей однотипных деталей.

Порошковая лента позволяет за счет изменения состава шихты в широких пределах изменять химический состав наплавленного металла. Для наплавки лентой применяются специальные автоматы или автоматы типа А–384, АБС, АДС–1000–2 с измененной сварочной головкой, имеющей постоянную скорость подачи ленты.

Наплавка в защитном газе позволяет механизировать процесс в любом пространственном положении наплаваемой плоскости. В качестве защитных газов используются аргон, гелий, углекислый газ и др.

Аргон применяется для наплавки жаропрочных, коррозионностойких и других сталей и цветных металлов; углекислый газ для наплавки углеродистых и некоторых марок легированных сталей. Автоматическая наплавка в среде CO_2 в 3–4 раза повышает производительность и на 30–40 % снижает себестоимость восстановления деталей по сравнению с ручной дуговой наплавкой.

Вибродуговая наплавка представляет собой разновидность электрической дуговой наплавки металлическим электродом. Вибрация электрода, вызывающая многократные короткие замыкания сварочной цепи, улучшает стабильность процесса за счет частых возбуждений дуговых разрядов в моменты разрыва цепи и способствует переносу электродного металла малыми порциями. Это позволяет получать небольшую глубину проплавления и возможность наплавливать детали малого диаметра. Наплавка производится специальной головкой 1, которая в процессе наплавки периодически замыкает и разрывает электрическую цепь в месте контакта электродной проволоки 2 с наплаваемой деталью 5. Происходит это потому, что конец проволоки постоянно вибрирует (рис. 8). Головка для наплавки обычно монтируется на токарном или токарно-винторезном станке.



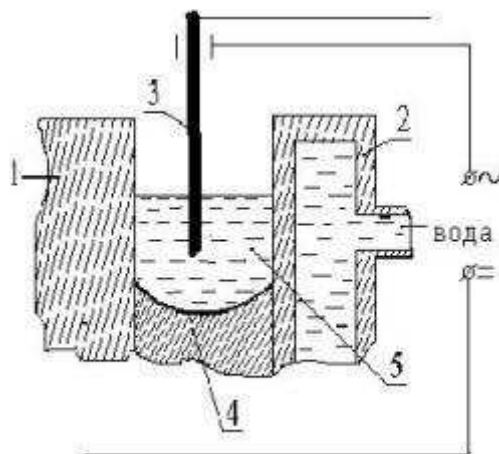
- 1 – головка;
- 2 – сварочная проволока;
- 3 – плоская пружина;
- 4 – электромагнитный вибратор;
- 5 – наплавленная деталь

Рисунок 8 – Вибродуговая наплавка

При наплавке в плавильную зону подаются: 3–4 % водный раствор кальцинированной соды, 20–30 % раствор технического глицерина и др. Они обеспечивают ионизацию дугового промежутка и более быстрый отвод теплоты, что позволяет получать более высокую твердость наплавленного слоя при незначительных остаточных деформациях.

Способ эффективен при наплавке цилиндрических поверхностей малых диаметров. Для восстановления размеров применяют также электрическую металлизацию.

Электрошлаковая наплавка (рис. 9). Наплавка этим способом протекает в условиях непрерывной подачи электродной проволоки или ленты внутри слоя расплавленного шлака, а плавление их происходит за счет теплоты электросопротивления при пропускании тока между основным металлом и электродом [1].



- 1 – направляемая поверхность;
- 2 – водоохлаждаемый кристаллизатор;
- 3 – присадочный материал;
- 4 – наплавленный металл;
- 5 – жидкий шлак

Рисунок 9 – Схема электрошлаковой наплавки

В полость, образованную наплавляемой поверхностью 1 и водоохлаждаемым кристаллизатором 2, подается присадочный материал 3. Ток, проходя между электродом и наплавленным металлом 4 через жидкий шлак 5, поддерживает в нем высокую температуру (до 2000 °С) и электропроводность.

Электрошлаковая наплавка обладает следующими преимуществами:

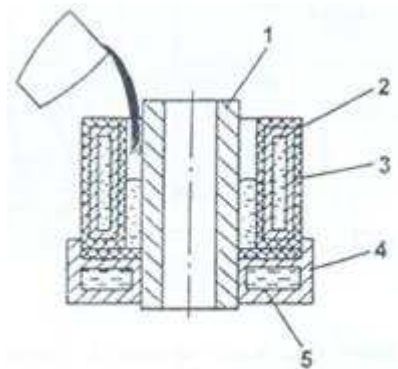
- экономичность наплавки возрастает при увеличении толщины наплавляемого слоя (применение многоэлектродных головок обеспечивает наплавку слоя большой толщины без существенного увеличения продолжительности наплавки);
- меньше расход флюса, чем при дуговой наплавке под флюсом;
- возможность наплавки высокоуглеродистых и других материалов, обладающих высокой чувствительностью к образованию трещин, что обеспечивается низкой скоростью охлаждения наплавленного металла;
- относительная простота процесса наплавки, особенно при использовании расходоуемого наконечника.

Так же этот метод имеет ряд недостатков:

- процесс очень энергоемкий;
- дорогостоящий;
- невозможность наплавки малогабаритных изделий.

Наплавка заливкой жидкого металла. Метод наплавки металлов с разделенными процессами плавления основного и присадочного металлов

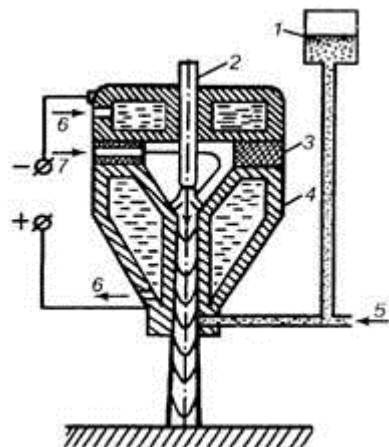
был предложен В.П. Никитиным [1]. Идея этого метода заключалась в том, чтобы разделить тепловые процессы подготовки основного и присадочного металла. Однако из-за больших неудобств, связанных с применением специального металлосборника с разливочным устройством, этот способ практически не нашел применения в промышленности (рис. 10).



- 1 – деталь;
- 2 – индуктор;
- 3 – огнеупорный состав;
- 4 – водоохлаждаемое кольцо

Рисунок 10 – Заливка жидкого металла

Плазменная наплавка. С помощью дуговых плазмотронов осуществляют технологию плазменного напыления покрытий (толщиной не более 1 мм). При этом используются порошковые материалы с размером частиц от 20 до 50 мкм. В процессе напыления частицы порошка [6], вдуваемые в плазменную струю, разогреваются до температур близких к температуре их плавления и ускоряются до скоростей порядка 50...150 м/с. Напыляемое покрытие формируется из отдельных частиц, которые при ударе о поверхность подложки сильно деформируются, растекаются и кристаллизуются с высокой скоростью (рис. 11).



- 1 – порошковый дозатор;
- 2 – катод;
- 3 – изоляционная прокладка;
- 4 – анод;
- 5 – транспортирующий газ;
- 6 – охлаждающая жидкость;
- 7 – плазмообразующий газ

Рисунок 11 – Схема процесса плазменного напыления

В качестве плазмообразующего газа при напылении, наряду с прочими газами, применяется аргон, дающий следующие преимущества:

- наибольшую стабильность работы оборудования и повышенную долговечность элементов плазматрона;
- малый разогрев подложки за счет быстрого падения температуры по длине плазменной струи;
- высокие скорости аргоновой плазменной струи;
- понижен уровень шума.

Напыление металлических покрытий с использованием плазматронов с фиксированной длиной дуги в аргоне и с потоком фокусирующего газа при высокой стабильности процесса и меньшем шуме обеспечивает:

- повышенный коэффициент использования порошка (65...70 %);
- повышенную прочность сцепления покрытия с основой (30–60 МПа);
- минимальную пористость покрытия (4 %);
- достаточно высокую производительность напыления качественных покрытий (до 7,5...8 кг/ч при КИП не менее 50 %).

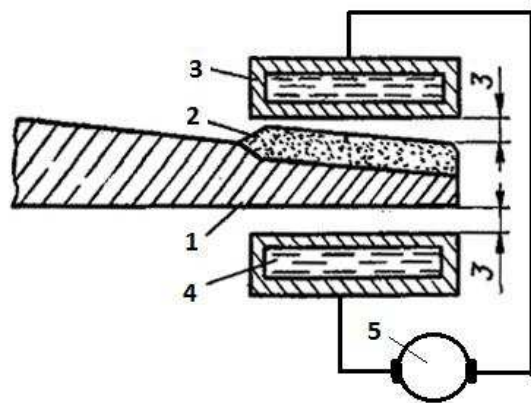
Индукционная наплавка. Этот способ обычно используется для наплавки деталей типа тел вращения диаметром от 8–10 мм и более. Сущность этого метода наплавки заключается в том, что основной и электродный металл нагревается до расплавления теплотой, которая выделяется в результате возникновения периодически повторяющихся электрических разрядов, т. е.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

прерывисто горячей электрической дуги. Наплавленный слой образуется в процессе кристаллизации расплавленного основного и электродного металла. Малая длительность и прерывистость горения электрической дуги обусловлены вибрациями электродной проволоки, которые создаются с помощью электромагнитных или механических вибраторов. В процессе вибраций наблюдаются короткие замыкания вследствие прикасания электродной проволоки к наплавленному изделию (основному металлу), а во время отрыва проволоки возникает большой силы ток и загорается электрическая дуга. При среднем значении тока $I_d = 150\text{А}$ экстраток достигает 1000 А [1].

Наплавочная установка (рис. 12) состоит из вибродуговой головки, аппаратуры управления, вращателя, источника тока. Во время наплавки выполняются следующие действия: вращение наплаваемой детали, поступательное движение вибродуговой головки вдоль продольной оси наплаваемой детали, подача проволоки в зону дуги и вибрация проволоки. Питание осуществляется от выпрямителей, сварочных генераторов, а также от низковольтных трансформаторов с вторичным напряжением 12–16 В и более. Более высокие показатели достигаются при наплавке на постоянном токе обратной полярности. Обычно в сварочную цепь включают индуктивность, значение которой выбирают в зависимости от частоты вибрации электродной проволоки, напряжения, рода тока и других факторов. Для наплавки подходят сварочные проволоки диаметром 0,8–2,0 мм. С целью защиты расплавленного металла от взаимодействия с окружающей средой наплавка ведется в струях жидкостей или защитных газов, а также под слоем флюса. Применяются водные растворы кальцинированной соды; смеси кальцинированной соды, мыла и глицерина; эмульсии глицерина.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28



- 1 – наплавляемая заготовка;
- 2 – порошкообразный наплавочный материал, предварительно нанесенный на наплавляемую поверхность;
- 3 – индуктор;
- 4 – охлаждающая жидкость;
- 5 – источник питания токов высокой частоты

Рисунок 12 – Схема индукционной наплавки

В качестве присадочного металла применяют наплавочные проволоки (одну или несколько), которые могут иметь возвратно-поступательные перемещения поперек сварочной ванны, а также электродные ленты, пластины или стержни большого сечения, иногда и трубы, которые используют для наплавки цилиндрических поверхностей. При наплавке обычно применяют флюсы АН–8, АН–22. Длительность горения дуги составляет 0,002–0,003 с.

Прерывистость процесса позволяет получать зону термического влияния малой ширины, поэтому наплавленные детали имеют весьма малые деформации, что особенно важно при наплавке сложных изделий, изготовленных с высокой точностью.

Если наплавка выполняется в струе жидкости, происходит ускоренное охлаждение наплавленного металла, поэтому он имеет повышенную твердость и износостойкость. Вибродуговая наплавка эффективна, если необходимо наплавлять слои металла небольшой толщины.

Основные достоинства метода индукционной наплавки:

- малая глубина проплавления основного металла;
- возможность наплавки тонких слоев;
- высокая эффективность в условиях серийного производства.

Основные недостатки:

- низкий КПД процесса;
- перегрев основного металла;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

– необходимость использования для наплавки таких материалов, которые имеют температуру плавления ниже температуры плавления основного металла.

1.4 Сплавы, применяемые для наплавки

Для восстановления изношенных поверхностей напылением и напылением с оплавлением, широкое применение получили порошковые самофлюсующиеся сплавы системы Ni–Cr–B–Si, в которые нередко добавляют карбиды, бориды тугоплавких металлов (вольфрам, ванадий, хром) для образования композиционных сплавов с более высокими физико-механическими свойствами [6].

Биметаллический терморреагирующий порошковый сплав, обладающий экзотермическими свойствами, повышающими прочность сцепления покрытия с основой и физико-механические свойства в целом. Их применяют в качестве подслоя или для напыления основного слоя. Они состоят из частиц сферической или близкой к ней формы. Каждая частица экзотермических порошков состоит из никелевого ядра, покрытого тонким слоем мелкодисперсного алюминия. Представленные в табл. 1 порошки используются не только как износостойкие покрытия для восстановления деталей машин [3]. Их можно применять как жаро-, тепло-, коррозионно-стойкие покрытия для деталей, работающих при повышенных температурах, в условиях окислительных сред, что способствует повышению долговечности детали, узла.

Самофлюсующиеся порошки широко используются для создания износостойких и коррозионностойких покрытий, различными методами наплавки и напыления. Для повышения износостойкости наплавленных покрытий из самофлюсующихся никелевых сплавов целесообразно дополнительное введение в структуру покрытия тугоплавких дисперсных частиц TiC. При этом представляется перспективным использовать при нанесении композиционные порошки, где карбид титана находится в виде дисперсных частиц в

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

металлической связке. Для получения композиционных порошков «карбид титана – металлическая связка» разумно использовать простой в реализации и экономически эффективный метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Таблица 1 – Химический состав металлических порошков для индукционной плавки, %

Марка сплава	C	B	Si	Ni	Cr	Fe	Прочие элементы	Твердость HRC
ПР-Н80Х13С2Р	0,2–6,4	1,2–1,8	2–2,8	Основа	12–14	До 5	–	25–35
ПР-Н77Х15С3Р2	0,35–0,6	1,8–2,3	2,8–3,5	»	14–16	До 5	–	35–45
ПР-Н73Х16С3Р3	0,6–0,9	2,3–3	2,7–3,7	»	15–17	До 5	–	45–50
ПР-Н70Х17С4Р4	0,8–1,2	3,1–4	3,8–4,5	»	16–18	До 5	–	55
ПР-Н67Х18С5Р5	0,9–1,5	4–4,7	4–5	»	16–18	До 5	–	60
ПР-Н65Х25С3Р3	0,9–1,5	2–3	2,1–2,3	»	23–26	До 5	–	45
ПН68Х21С5Р	0,35–0,5	1–1,3	4–5	»	20–22	4–7	–	40
ПН70Ю30	0,07	–	–	»	–	0,2	28–33 Al	40
ПН85Ю15	0,07	–	–	»	–	0,2	12–15 Al	30–35
ПН55Т45	0,07	–	–	»	–	0,2	43–47 Ti	55–60
ПТ88Н12	0,07	–	–	10–12,5	–	0,2	Ti-основа	–
ПТ65Ю35	0,07	–	–	–	–	0,2	Ti-основа, 35–40 Al	–

Порошок ПР-НХ15СР2-11. Применяется для износостойких, антиадгезионных покрытий на стали, чугуне, нержавеющей стали. Восстановление и упрочнение деталей запорной арматуры котлов высокого давления.

Материал аттестован НАКС для применения в технических устройствах объектов повышенной опасности. Другие области применения: ремонт и защита металлургического, химического и нефтегазового оборудования, деталей транспортных машин.

Свойства покрытий, на которые наносят порошок: твердость в диапазонах 38–46 или 42–48 HRC регулируется композицией сплава по желанию заказчика. Стойкость к удару, высокое сопротивление износу трением, фреттинг коррозии, кавитационной эрозии, окислению на воздухе до 800 °С, коррозии в водных, щелочных средах и других промышленных агрессивных средах. Ограничение содержание кобальта в сплаве. Хорошая обрабатываемость твердыми сплавами [6].

Порошки ПН70Ю30 (температура плавления 1600 °С), ПН85Ю15 и ПТ88Ю35 (температура плавления 1400 °С) применяют в качестве жаро- и износостойких покрытий, пригодных для работы в окислительных и щелочных средах, для защиты труб, деталей металлоконструкций различного оборудования, для восстановления посадочных мест валов. Прочность сцепления покрытий со сталью составляет 35–45 МПа. Покрытие обрабатывается точением и шлифованием [4].

Порошок ПТ65Ю35 (температура плавления 1460 °С) используют главным образом в качестве жаростойкого покрытия. Прочность сцепления 40–50 МПа. Покрытие обрабатывается точением, шлифованием.

Основу приведенных порошков и самофлюсующихся сплавов составляют никель и титан. К примесям относятся сера, фосфор и кислород их содержание должно быть соответственно не более 0,04 и 0,05 % (мас. доля). Порошки наносят на детали машин для упрочнения и восстановления поверхностей всеми способами напыления. Оплавление нанесенных покрытий, а также свободно насыпанных порошков может производиться газопламенным способом, ТВЧ, лазерным лучом и другими источниками тепла. Покрытия отличаются высокой стойкостью к износу и коррозии. Детали с покрытиями используют в условиях ударных нагрузок, в агрессивных средах, с абразивным износом при температуре до 600 °С. Целесообразно применять порошки при восстановлении и упрочнении клапанов, распределительных валов двигателей внутреннего сгорания, лопаток, вентиляторов, валов и втулок гидронасосов, деталей сельскохозяйственных и других машин [3].

						ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			32

В условиях ударно-абразивного изнашивания никелевые сплавы, нанесенные газотермическим напылением, по износостойкости не могут конкурировать со сплавами на основе железа, и поэтому в подобных условиях наносят покрытия из порошков на основе железа. Первые пять видов порошков по свойствам соответствуют сталям типа X18H9, X17, X13. Они обеспечивают твердость покрытий до 55 HRC. Их применяют для напыления износостойких и коррозионностойких покрытий взамен самофлюсующихся хромоникелевых сплавов.

Порошок марки ПР-0X18H9T используют для нанесения коррозионностойких покрытий. Порошок марки ПР-X23H28M3Д3T целесообразен взамен самофлюсующихся хромоникелевых сплавов для нанесения износостойких покрытий.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

2 Изучение установки для индукционной наплавки порошковых материалов

2.1 Назначение индукционной закалочной многофункциональной установки ИЗ 25/40–80.

Установка индукционная закалочная многофункциональная ИЗ 25/40–80 (рис. 13) предназначена для выполнения различных технологических процессов при термической обработке деталей из черных и цветных металлов путем индукционного нагрева токами высокой частоты.

Таковыми технологическими процессами могут быть:

- соединение различных деталей посредством пайки высокотемпературными припоями (медно-фосфорными, медно-цинковыми, серебрянными и т. д.);
- нагрев заготовок различного типа в локальных зонах под закалку, ковку, гибку, отжиг и т. д;
- процесс индукционно-металлургического способа упрочнения плоских поверхностей деталей, испытывающих в работе повышенные нагрузки и удары, и истирание (зубья экскаваторов, бульдозерные ножи, молотки дробильных мельниц и т. д.);
- плавка металлов и сплавов в диэлектрическом и графитовом тиглях.



Рисунок 13 – Установка индукционная закалочная многофункциональная ИЗ 25/40–80

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Установка ИЗ 25/40–80 позволяет работать на любой частоте в диапазоне частот 40...80 кГц в режиме автоподстройки частоты и дискретной регулировки мощности, что позволяет производить оперативную смену индукторов под необходимый технологический процесс и выполнять работы широкого профиля [13].

2.2 Технические характеристики ИЗ 25/40–80

1 Максимально потребляемая мощность от трехфазной питающей сети 3·380В–30 кВт.

2 Максимально генерируемая в нагрузку высокочастотная мощность составляет 25 кВт.

3 Конструкция нагрузочного контура – выносная, нагрузочный контур может размещаться от генератора на расстоянии до 2,5 м.

4 Для выполнения технологических процессов (см. назначение) установка комплектуется выносным нагрузочным контуром ВНК, работает в диапазоне частот 40–80 кГц.

5 Охлаждение водяное:

– от водонапорной сети с давлением 1,5...2,0 кг/см² и расходом не менее 12 л/минуту;

Примечание. По согласованию с заказчиком установка ИЗ 25/40–80 поставляется с автономной системой охлаждения (блок охлаждения АШХ2.964.035)

6 Время непрерывной работы при максимальной выходной мощности 4 часа с последующим перерывом 1 час.

2.3 Устройство и принцип работы ИЗ 25/40–80

Устройство и принцип работы составных частей ИЗ 25/40–80:

– генератор EDU 2–25;

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

– ВНК.

Функционально в установке ИЗ 25/40–80 генератор EDU 2–25 является источником высокочастотной энергии. Выносной нагрузочный контур DYR выполняет функцию согласования выходных параметров генератора с параметрами нагруженного контура.

2.4 Порядок работы установки

1 Подключить установку к системе водяного охлаждения, для чего:

– вернуть в генератор входной (АШХ 8.652.171) и выходной (АШХ 8.652.156) водяные штуцера;

– резиновыми шлангами соединить входной штуцер генератора с соответствующим вентилям входного трубопровода, выходной – с вентилям сливного трубопровода. Места соединения затянуть хомутами;

– те же операции выполнить и снагрузочным контуром;

– при открытых вентилях генератора и ВНК входным вентилям установить давление воды 1,5–2 кг/см²;

– проверить и убедиться в отсутствии протекания воды в местах соединения шлангов, при необходимости подтянуть хомуты.

2 Подсоединить силовой кабель (АШХ 4.853.208) к разъему генератора X1, обратный конец кабеля – к вводно-силовому щиту.

3 Подсоединить кабель управления (АШХ 4.854.195) к разъему X4 пульта управления генератора, обратный конец – к разъему X1 пульта управления ВНК.

4 Подсоединить кабель ножной педали (АШХ 4.854.196) к разъему X2 пульта управления ВНК, обратный конец – к замыкающим контактам ножной педали.

5 В соответствии с требованиями, изложенными в паспорте на генератор и ВНК, выполнить контур заземления установки [16].

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

6 В соответствии с выполняемым технологическим процессом установить на выносной нагрузочный контур индуктор с деталью под термообработку.

7 По данным паспорта на наружный индуктор в выносном нагрузочном контуре установить требуемый коэффициент трансформации согласующего трансформатора Т1 переключателем S3, на панели блока управления декадными переключателями «установка частоты» установить рабочую частоту установки.

8 На панели блока управления тумблер «внутр-внеш» установить в положение «внутр», тумблер «ручн-авт» в положение «ручн», тумблер «вкл-возб» – положение «выкл».

На панели управление ВНК переключатель S3 установить в крайнее правое положение (режим минимально потребляемой мощности).

9 Подать напряжение трехфазной цепи на генератор, включением автомата на вводно-силовом щите (при этом на панели блока управления загорается световая индикация «дежурная сеть 27В»).

10 Включить напряжения питания генератора нажатием кнопки «Вкл» на панели блока управления (при этом загорается световая индикация «питание вкл»).

11 Тумблер «вкл. Возб» установить в положении «вкл. возб», декадными переключателями «установка частоты» в области заранее установленной рабочей частоты (п. 8) добиться максимального тока нагрузки по показаниям приборов «ток нагрузки».

12 Установить тумблер «вкл. возб» в положение выключено (ручка тумблера вниз), тумблер «ручн-авт» в положение «авт».

13 На блоке коммутации ВНК последовательно переключением переключателя S3 в левом направлении установить требуемый технологическим процессом энергетический режим. При этом необходимо следить, чтобы ток нагрузки не превышал 25А.

14 Дальнейшая работа (нагрев детали в индукторе) осуществляется включением тумблера S2, либо нажатием ножной педали [13].

15 Если в процессе работы ток нагрузки превысит 28 А, то генератор отключится блоком автоматической защиты (на панели блока управления загорается световая индикация «перегрузка»). В этом случае на панели управления ВНК переключатель S3 переключить на одну ступень в правое положение (понижение потребляемой мощности) и снова выключить напряжения питания генератора (п. 11).

16 После окончания работы снять напряжение питания генератора нажатием кнопки «откл» на панели блока управления, отключить трехфазную цепь автоматом вводно-силового щита, закрыть воду.

2.5 Указание мер безопасности

Эксплуатация установки ИЗ 25/40–80 сопряжена с наличием следующих опасных факторов для обслуживающего персонала:

- поражением электрическим током;
- получение теплового ожога;
- облучение электромагнитным полем.

1 Для предотвращения поражения электрическим током должны соблюдать следующие меры безопасности [16].

1.1 К обслуживанию комплекта должен допускаться персонал, имеющий практические навыки по обслуживанию электрических установок на напряжение до 1000В, изучивший материальную часть и получивший допуск к работе в установленном порядке.

1.2 Все работы должны проводиться по распоряжению начальника участка.

1.3 Перед началом работы необходимо проверить:

- исправность штатного заземления всего оборудования комплекса;
- исправность систем охлаждения воздушной и водяной;

									Лист
									38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

– наличие и состояние средств защиты (диэлектрические перчатки, резиновые коврики).

2 Для предотвращения получения теплового ожога обслуживающий персонал должен применять соответствующую спецодежду.

3 Во избежание возникновения пожара необходимо применять негорючие теплоизоляционные подставки под детали подготовленные для обработки.

В помещении размещения установки ИЗ 25/40–80 должны быть предусмотрены огнетушительные средства (ящик с песком, огнетушители).

4 При эксплуатации высокочастотных установок возникает опасность воздействия на организм электрического и магнитного полей. С уменьшением расстояния до индуктора степень воздействия полей возрастает и находится в прямой зависимости от времени.

4.1 При работе на установке ИЗ 25/40–80 обслуживающий персонал (термист) должен находиться на расстоянии не менее 0,5 м от индуктора и ВЧ-кабелей.

5 Любое обслуживание оборудования установки ИЗ 25/40–80, связанное с проведением осмотров, настройки или ремонтных работ, должно производиться при включенном напряжении сети и последующем отключением сетевого кабеля от генератора [16].

3 Экспериментальная наплавка жаростойких покрытий

3.1 Теоретические сведения индукционной наплавки

Физические основы нагрева токами высокой частоты. К отличительным особенностям индукционного нагрева относится бесконтактный способ передачи энергии в нагреваемое изделие посредством электромагнитного поля. В любом электропроводном материале, помещенном в переменное электромагнитное поле, индуцируются вихревые токи. В сравнении с кондуктивным индукционный подвод энергии упрощает и расширяет возможности нагрева геометрически сложных поверхностей деталей [17].

Устройством, передающим энергию высокой частоты в наплавляемый металл, является индуктор [13]. Он представляет собой виток или спираль из нескольких витков медной трубки, при работе охлаждаемых водой, по которым протекает ток высокой частоты. При этом вокруг витков создается переменное магнитное поле. Подготовленные к наплавке детали располагают в зоне действия индуктора, где они пронизываются переменным магнитным полем. Переменное электромагнитное поле индуцирует электродвижущую (ЭДС) силу, под действием которой в металле возникают токи, нагревающие наплавляемую поверхность до заданной температуры. Плотность индуцируемых в каждом элементарном объеме металла токов может изменяться по различным законам в зависимости от формы, геометрических размеров нагреваемой детали, удельного сопротивления и магнитной проницаемости материала.

Мгновенное значение индуцированной электродвижущей силы в вольтах определяют с помощью известного закона электромагнитной индукции, согласно которому ЭДС равна, скорости убывания магнитного потока:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}, \dots \dots \dots (1)$$

где Φ – магнитный поток, Гц;

T – время изменения магнитного потока.

Выходящая из непроводящей среды, например воздуха, электромагнитная волна внутри металла распространяется перпендикулярно его поверхности и затухает по мере удаления от нее.

Поверхностный эффект. Вихревые токи по сечению проводника распределяются неравномерно, их плотность уменьшается по мере удаления от поверхности к центру. Это связано с затуханием электромагнитной волны, распространяемой внутри металла. Такое явление получило название поверхностный эффект.

Для количественной оценки поверхностного эффекта в теории индукционного нагрева используют Δ – глубину проникновения тока в материал. При прочих равных условиях поверхностный эффект будет тем сильнее, чем больше размеры проводника и выше частота тока. Глубина проникновения тока представляет собой расстояние, на котором амплитуды напряженностей электрического и магнитных полей плоских электромагнитных волн уменьшаются в 2,718 раз, а фаза волны изменяется на 1 радиан, т. е. на 57° .

Глубина проникновения тока:

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \dots\dots\dots (2)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление проводника;

μ – относительная магнитная проницаемость;

f – частота тока.

В практических расчетах часто используют эмпирическую формулу для определения глубины проникновения тока в материал нагреваемого изделия при определенной температуре:

$$\Delta = \frac{k}{\sqrt{f}}, \dots\dots\dots (3)$$

где k – эмпирический коэффициент (табл. 2).

Таблица 2 – Значение эмпирического коэффициента k в зависимости от температуры и марки нагреваемого материала.

Материал	Температура, °C	k
Сталь	20	20
	300	550
	1300	575
Медь	20	67
	100	77
	1000	155
Аллюминий	20	85
	500	155

В зависимости от размеров детали и частоты тока при индуктивном нагреве различают «массивные» и «прозрачные» тела для электромагнитного поля [17]. Если диаметр проводника, в котором индуцированы вихревые токи, в 8 и более раз больше Δ , то такая частота считается высокой или тело «массивным». Если глубина проникновения тока Δ больше, чем диаметр проводника, то такое тело называют «прозрачным» для электромагнитного поля данной частоты. В «массивном» теле в пределах слоя металла толщиной Δ выделяется почти вся мощность (86,5 % энергии, подводимой в тело).

Влияние нагрева на электрические свойства материала. К основным электрофизическим свойствам материалов относится магнитная проницаемость (μ) и удельное электрическое сопротивление (ρ). Данные параметры оказывают основное влияние на глубину проникновения тока и передаваемую в изделие мощность.

В зависимости от относительной магнитной проницаемости нагреваемые материалы разделяются на парамагнетики, диамагнетики и ферромагнетики. У первых двух близка к единице, а у ферромагнетиков она значительно превышает единицу. К ферромагнетикам относятся железоуглеродистые сплавы, никель, кобальт. Магнитная проницаемость у ферромагнетиков зависит от напряженности магнитного поля, температуры и ряда других факто-

ров. Влияние температуры нагрева на изменение магнитной проницаемости в области достаточно сильных магнитных полей (рис. 14). Неравномерное уменьшение магнитной проницаемости при температуре 1053 К связано с потерей магнитных свойств стали. Температура, при которой магнитная проницаемость падает до единицы, называется точкой Кюри. Для различных материалов температура магнитных превращений различна. Например, для углеродистых сталей точка Кюри лежит в интервале температур 1033–1056 К, кобальта – 1413 К и никеля – 633 К.

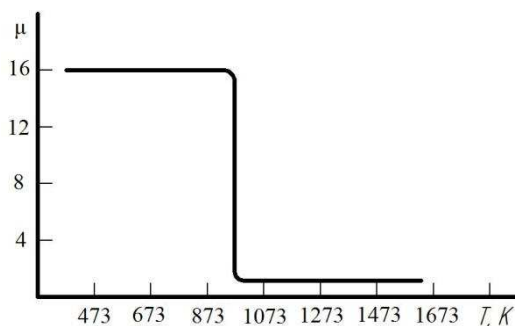


Рисунок 14 – Зависимость относительной магнитной проницаемости μ от температуры T нагрева стали 45

При нагреве помимо изменения магнитной проницаемости происходит увеличение электрического сопротивления металлов. Известно, что удельное сопротивление сталей возрастает размеренно во всем, интервале температур до точки Кюри, а затем его увеличение замедляется. При температурах нагрева свыше 1237К удельное сопротивление различных сталей практически одинаково и равно $1,2-1,3 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

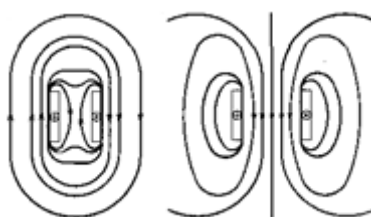
Различают глубину проникновения тока Δ_x в холодный и Δ_r горячий металл. Глубина проникновения тока Δ_r , в нагретую выше точки Кюри сталь увеличивается в 8–10 раз.

Значения глубин проникновения тока в холодную сталь (Δ_x) и нагретую выше точки Кюри (Δ_r), а также для других металлов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Глубина проникновения тока в холодный и нагретый материал

Материал	Температура, К	Δ	Глубина проникновения, см при частоте кГц					
			0,05	0,5	2,5	10	100	1000
Сталь 45	293	40	0,5	0,15	0,067	0,034	0,011	0,0034
Сталь 45	1073	1	7,0	2,2	1,0	5,0	0,16	0,05
Медь	293	1	1,0	0,3	0,13	0,07	0,022	0,07
Алюминий	293	1	1,2	0,38	0,17	0,08	0,025	–
Никель	1273	1	4,9	0,54	0,7	0,346	0,14	–

Эффект близости. Природа эффекта близости и поверхностного эффекта одна и та же. Только в данном случае концентрация тока в определенных местах поверхности проводника рассматривается как результат суммарного взаимодействия собственного поля и электромагнитных полей всех проводников с током в системе. Распределение тока и магнитного поля в проводниках прямоугольного сечения для случая одинаково и встречно направленных токов показано на рис. 15. Из рис. 15 видно, что наибольшая плотность тока при одинаковом его направлении наблюдается на наружных поверхностях проводников, а при встречном направлении тока – на внутренних поверхностях. Эффект близости проявляется только в том случае, если проводники с током сближаются на малые расстояния. Перераспределение плотности тока будет выражено тем сильнее, чем меньше расстояния между проводниками и чем выше частота.



а *б*

Рисунок 15 – Распределение тока в проводниках при эффекте близости:

а – одинаково направленные токи; *б* – встречно направленные токи

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Эффект близости позволяет разработать такой индуктор, который может обеспечить требуемую локальность нагрева заданной поверхности изделия[13].

Кольцевой эффект. Другой разновидностью поверхностного эффекта является кольцевой эффект, который заключается в том, что у свернутого в кольцо или спираль проводника наибольшая плотность тока наблюдается на его внутренней поверхности. Кольцевой эффект проявляется тем сильнее, чем больше высота проводника по отношению к диаметру кольца. Наблюдается ярко выраженная симметрия магнитного поля индуктора. Внутри индуктора магнитное поле значительно больше, чем снаружи. Кольцевой эффект является полезным при нагреве у деталей наружной цилиндрической поверхности. Вместе с тем он затрудняет или делает вообще невозможным нагрев до заданной температуры внутренних цилиндрических поверхностей. Это связано с резким снижением напряженности электромагнитного поля у нагреваемой поверхности (рис. 16).

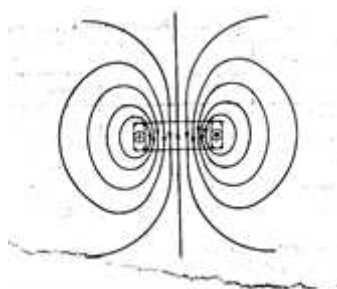


Рисунок 16 – Магнитное поле индуктора

Энергоемкость процесса наплавки. Энергоемкость характеризуется затратами энергии на единицу массы наплавленного металла. Эти затраты складываются из количества энергии, которое необходимо на осуществление процессов наплавки W_n , из тепловых потерь и потерь энергии на преобразование и передачу энергии $W_э$.

$$W = W_n + W_m + W_э, \dots \dots \dots (4)$$

Затраты энергии на наплавку W_n , не зависящие ни от вида электрононасителей, ни от продолжительности процесса, составляют суммарные утраты энергии на нагрев основного металла W_0 , наплавляемого сплава W_c и флюсов W_ϕ до температуры плавления, на расплавление присадочного сплава $W_{пс}$ и флюса $W_{нф}$ на сопутствующие реакции и фазовые превращения $W_{рф}$.

$$W_n = W_0 + W_c + W_\phi + W_{нф} + W_{пс} + W_{рф}, \dots \dots \dots (5)$$

Индукторы для нагрева. Передача энергии от источника питания токов высокой частоты в нагреваемое изделие при наплавке осуществляется при помощи многовитковой или одновитковой катушки, называемой индуктором. Форма и размеры индуктора зависят от способа нагрева, размеров и конструкции нагреваемой поверхности, подводимой мощности, частоты тока, объемов производства, степени механизации и т.д. Индуктор является основным элементом любой высокочастотной нагревательной установки. В большинстве случаев достоинства и недостатки технологических устройств, в которых используется индукционный нагрев, могут быть поставлены в прямую связь с особенностями конструкции индуктора [13]. Индукционную наплавку наиболее эффективно используют в условиях крупносерийного и массового производства [1]. Современное поточное массовое производство, как правило, высокоавтоматизированное. Поэтому при разработке конструкции необходимо анализировать также схемы автоматизации загрузки детали в индуктор и возможности передачи ее на последующие операции механической обработки.

Чтобы увеличить электрический КПД, а также $\cos\phi$, зазор между индуктирующим приводом и нагреваемой поверхностью должен быть минимальным. Однако чем меньше этот зазор, тем больше точность нужно затратить на изготовление детали индуктора.

Уменьшая зазор, мы всегда повышаем КПД, но возможно значительное удорожание изготовления и эксплуатации устройства. При малых зазорах,

повышается процент брака из-за случайных прикосновений детали к индуктору и возникающего при этом пробоя между индуктором и деталью. Зазор, который можно допустить без существенного уменьшения КПД, пропорционален ширине индуктирующего провода. Практически для деталей среднего машиностроения (автомобили, тракторы) зазоры менее 2–3 мм следует выбирать только в отдельных обоснованных случаях. При этом следует учитывать точность изготовления наплавляемой поверхности и поверхностей, на которые базируются заготовки, а также допуски на их взаимное расположение. Обычно зазор должен быть в 4–5 раз больше суммарной ошибки, которая может появиться из-за случайного совпадения отклонений размеров и расположения нагреваемой и базовых поверхностей.

В последние годы разработаны индукторы с электроизоляционным покрытием рабочих поверхностей окисью алюминия [13]. Благодаря этому устраняются случайные замыкания детали и индуктора, уменьшается зазор между ними и повышается КПД и, как следствие, сокращается время наплавки на 10–12 %. Все токоведущие элементы должны изготавливаться из меди М1–материала очень хорошей электропроводности.

Известно, что ток в индукторе протекает только в поверхностном слое токоведущих частей, толщина которого равна глубине проникновения тока данной частоты в медь. Поэтому с точки зрения экономии цветных металлов только эти элементы можно изготавливать из чистой электролитической меди. Остальные элементы могут быть изготовлены из любого немагнитного материала. Однако пока не разработаны дешевые способы прочного и плотного соединения меди с алюминием или текстолитом и из-за этого конструкции индукторов, изготовленных из различных материалов, используются еще редко.

Расчет параметров индуктора для наплавки представляет значительные трудности. Большинство наплавочных индукторов, особенно работающих на радиочастотах, изготавливают на основании опыта с последующей их доводкой после экспериментальной проверки. Разнообразие геометрических форм на-

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

плавляемых поверхностей деталей требует соответствующего числа различных по конфигурации индукторов.

По форме индукторы бывают – кольцевые и петлевые. По конструкции – разборные и неразборные. По числу витков – одновитковые и многовитковые. По направленности нагрева – для нагрева наружных (цилиндрических, плоских и пр.) (рис. 17) и внутренних поверхностей (рис. 18) [13].

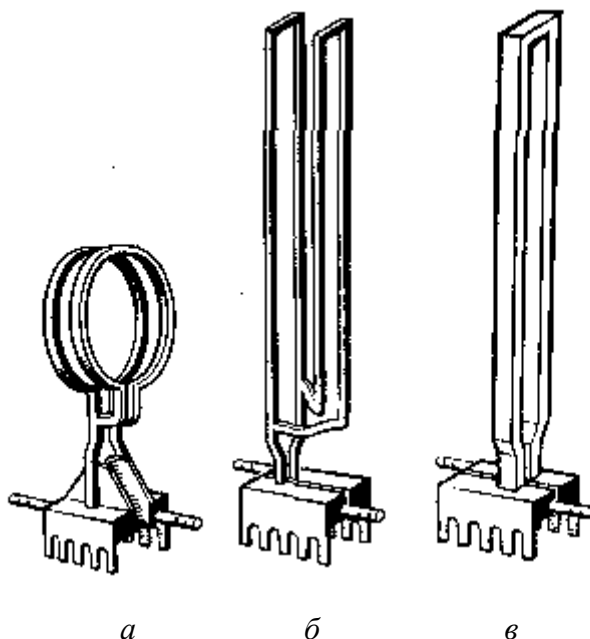


Рисунок 17 – Индукторы для нагрева наружных наплавляемых поверхностей:
а – с двумя витками, соединенными параллельно; *б* – прямоугольный; *в* – петлевой

Нашли распространение и индукторы с магнитопроводом, которые применяются для вытеснения тока в сторону открытого паза. Такие конструкции используют главным образом при закалке внутренних (рис. 18, а) или плоских поверхностей, а также в случаях, где требуется неодинаковая степень нагрева. Без магнитопровода ток в силу кольцевого эффекта концентрируется на внутренней, удаленной от нагреваемой детали поверхности индуктирующего провода, напряженность поля на поверхности детали снижается и КПД индуктора резко уменьшается.

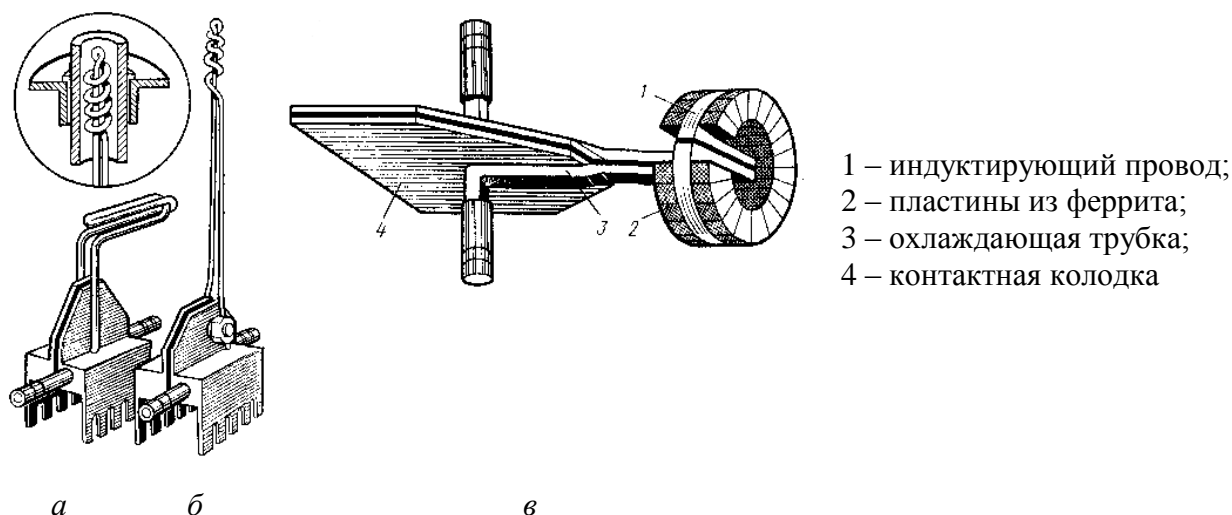


Рисунок 18 – Индукторы для нагрева внутренних поверхностей:

а – четырехпроводниковый; *б* – многовитковый; *в* – с магнитопроводом из феррита

Магнитопровод изготавливают из пластин трансформаторной стали марки Э42 или Э44 толщиной 0,2–0,35 мм. На радиочастотах и в некоторых случаях при частоте 8000 Гц для концентрации нагрева используют для магнитопровода ферриты. Феррит—это полупроводниковый магнитный материал, получаемый спеканием спрессованной тонкой смеси окислов некоторых металлов. Для использования в индукторах можно применять, например, ферриты, изготовленные из смеси состава: NiO – 12%, Zn–18%, Fe₂O₃–66% и CuO–4% (по массе). Температура спекания ферритов 1300–1400°С.

Использование ферритов при изготовлении индукторов для наплавки дает заметный эффект. Например, при индукционной наплавке очень часто возникает необходимость сконцентрировать магнитное поле на том или ином участке детали, где из-за особенности ее конструкции ил и иных причин выделяется меньше тепла [1]. Такая неравномерность нагрева отражается на качестве наплавки и получается перегрев отдельных участков детали, а иногда и вообще отказаться от упрочнения таких поверхностей. В этом случае целесообразно использовать ферриты, которые дают дополнительные возможности по управлению магнитным полем высокой частоты. Ферриты особенно необходимы для индукторов для нагрева деталей сложной конфигурации, а

также индукторов для нагрева внутренних поверхностей. КПД индукторов с магнитопроводом достаточно велик и достигает в среднем 80%.

Индуктирующий провод и другие токонесущие элементы индуктора нагреваются при прохождении по ним тока высокой частоты. Кроме того, наплавляемая деталь излучает тепло, которое частично поглощается индуктирующим проводом. Только в отдельных случаях выделяющееся тепло может быть рассеяно в окружающую атмосферу. В большинстве случаев для предохранения индукторов от разрушения (расплавление участков) их элементы необходимо принудительно охлаждать [13].

Способы индукционной наплавки. Существующие варианты наплавки с использованием индукционного нагрева токами высокой частоты можно классифицировать по состоянию основного металла и виду наплавляемого материала. Различают следующие способы наплавки: порошкообразной шихтой, монолитным или брикетированным присадочным материалом, в огнеупорной среде, центробежной и жидким сплавом.

Наплавки порошкообразной шихтой. При наплавке порошкообразной шихтой в качестве присадочного материала используют порошкообразную шихту, которая состоит из гранулированного сплава и флюсов на основе буры. Приготовленную шихту наносят равномерным слоем на поверхность наплавляемого изделия. Затем изделие с нанесенным слоем шихты вводят в индуктор ТВЧ, форма и размеры которого определяются конфигурацией упрочняемой поверхности. Питание индуктора осуществляют от ламповых высокочастотных установок с частотой 70 или 440 кГц.

После включения питания внутри индуктора возникает переменное электромагнитное поле. В электропроводящих телах, находящихся в электромагнитном поле, индуктируются токи. Происходит нагрев элементарных объемов материала и изделия в целом. Однако в данном случае наплавки шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью, в связи с большим сопротивлением металлического порошка незначительно реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Наплавочная

						ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			50

шихта является как бы «электропрозрачной» для возникающего в индукторе поля. Поэтому основное количество тепла будет выделяться в тонких поверхностных слоях основного металла, а присадочный материал (шихта) будет нагреваться главным образом в результате теплопередачи от наплавляемой поверхности. В этой связи температура плавления порошкообразного сплава входящего в состав шихты, должна быть ниже температуры плавления основного (наплавляемого) металла. При этом скорость нагрева упрочняемой поверхности должна значительно превышать скорость отвода тепла в тело детали и потерь на излучение.

В процессе нагрева шихты до температуры 600–750 °С происходит расплавление флюса и образование жидкой фазы, которая смачивает поверхность детали и частички твердого сплава. Улучшается теплопередача от основного металла в присадочный, а температурный градиент резко уменьшается. При дальнейшем нагреве увеличивается химическая активность флюса и он вступает в контакт с окислами, переводя их в жидкий шлак. Одновременно происходит процесс плавления гранул присадочного материала, которые хорошо смачивают раскисленную поверхность основного металла. В результате на наплавляемой поверхности детали образуется слой жидкого присадочного сплава, наружная поверхность которого защищена от взаимодействия с кислородом воздуха слоем жидкого шлака (рис. 19). Учитывая мгновенность процесса наплавки, выбирают такой флюс, чтобы раскисление наплавляемого металла продолжалось в течение нескольких секунд.

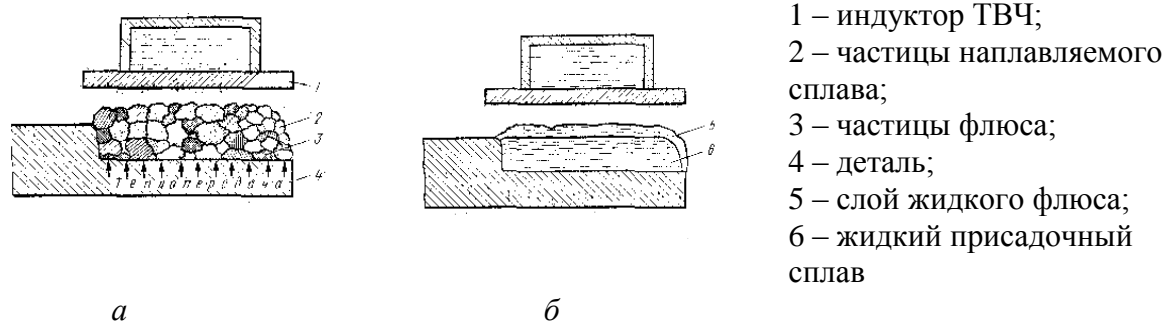


Рисунок 19 – Схема способа индукционной наплавки порошкообразной шихтой:
а – начало процесса; *б* – окончание процесса

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

После отключения питания индуктора ТВЧ происходит процесс кристаллизации наплавленного слоя сплава. Дальнейшая обработка заключается в удалении шлака и придании режущему лезвию или всей детали окончательной формы известными методами – гибкой, заточкой и пр.

Рассмотренный вариант индукционной наплавки выгодно отличается от других известных тем, что возможна качественная наплавка не только механически обработанных поверхностей, но и покрытых слоем ржавчины или окалины. При наличии указанных видов загрязнений необходимо только незначительное увеличение количества флюсов в шихте [1].

При наплавке порошкообразной шихтой используют флюсы, состоящие в основном из трех компонентов: буры, борного ангидрида и силикокальция. Третий компонент вводят для повышения активности раскисления, так как в состав силикокальция входит силицид кальция (CaSi_2) и примеси алюминия, магния, железа. Как известно, силицид кальция широко используется в металлургической промышленности как высокоактивный восстановитель окислов металлов. Добавка силикокальция во флюс позволяет резко уменьшить вязкость шлака в интервале температур, начиная от момента завершения процесса наплавки до полной кристаллизации жидкого сплава. Кроме того, силикокальций способствует хорошей дегазации расплава, предотвращает появление на поверхности металла окислов типа вьестита и обеспечивает рафинирование жидкого присадочного сплава в результате удаления неметаллических включений, содержащих по 30 % кальция.

В практике индукционной наплавки используют флюсы двух типов: плавленные и в виде механической смеси различных компонентов. Плавленные флюсы получают в результате совместного предварительного плавления при температуре около 850 °С кристаллической буры, борной кислоты и силикокальция. Такие флюсы обозначают индексом П (плавленные) и цифрой, которая показывает массовое отношение количества борного ангидрида к буре. Например, у флюса марки П–1,5 отношение содержания борного ангидрида к буре равно 1,5. Флюсы, представляющие собой механическую смесь буры,

						ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			52

борного ангидрида и силикокальция, вводятся непосредственно в наплавочную шихту в виде исходных компонентов.

Однако такие флюсы имеют ряд недостатков:

- компоненты флюса не подлежат длительному хранению;
- происходит значительное газовыделение в процессе наплавки;
- имеется токсичность борного ангидрида;
- имеется гигроскопичность отдельных компонентов.

В отличие от механических смесей плавленные флюсы практически не растворимы в воде. Это позволяет использовать наплавочные пасты с пластификаторами, содержащими воду. Токсичные в отдельности компоненты после сплавления образуют инертное при комнатной температуре соединение. При использовании флюсов группы П заметно улучшается формирование поверхности наплавленного сплава.

Для сокращения расхода дорогостоящих борсодержащих компонентов некоторая часть их может быть заменена определенным более дешевым наполнителем, например, гранулами стекла, роль которого заключается только к механической защите поверхности от окисления. Установлено, что без ущерба для качества наплавки во флюсе можно заменить до 30 % борсодержащих компонентов. В качестве инертных добавок в состав флюса вводят дробленое стекло или сварочный флюс АН-348А, который усиливает различия в коэффициентах линейного расширения шлака и сплава. Это способствует более полному отдалению шлаковой корки с наплавляемой поверхности. Введение добавок-заменителей в состав флюса снижает его стоимость.

В качестве наплавочного материала используют металлический порошок [6]. Известно, что металлические порошки практически не реагируют на действие переменного электромагнитного поля индуктора ТВЧ, а их нагрев осуществляется главным образом в результате теплопередачи от основного наплавляемого металла. В этой связи сплавы, которые используются для индукционной наплавки, должны соответствовать некоторым дополнительным требованиям:

- температура плавления сплава должна быть ниже температуры плавления основного металла не менее чем на 100–150 °С;
- наплавочный материал должен быть в виде порошка определенного гранулометрического состава;
- сплав должен иметь минимальную магнитную проницаемость.

Износостойкость наплавленного сплава зависит от числа твердых составляющих в структуре сплава. В области восстановления и упрочнения деталей используются два различных метода контроля содержания твердых компонентов в наплавке:

- изменением химического состава сплава;
- введением в шихту труднорастворимых примесей, образующих в результате взаимодействия с легкоплавкой связкой специфические композитные материалы – псевдосплавы.

В настоящее время наиболее широко распространен первый способ регулирования содержания твердых составляющих в сплаве. К преимуществам псевдосплавов следует отнести возможность в очень широких пределах управлять свойствами наплавляемого материала, а результате выбора соответствующих компонентов.

Наплавка порошкообразной шихтой используется для ограниченной номенклатуры автомобильных деталей [4].

Наплавка монолитным или брикетированным материалом. При наплавке монолитными или брикетированным присадочным материалом на упрочняемую поверхность наносят монолитный или брикетированный присадочный материал, форма и размеры которого приблизительно соответствуют необходимому наплавленному слою. Затем осуществляется расплавление ТВЧ присадочного материала на основном металле [1].

Данный способ впервые был использован западными автомобильными фирмами. Например, английская фирма «AustimotorCo. Ltd» разработала технологию и оборудование для восстановления и упрочнения наплавкой авто-

мобильных клапанов [4]. В качестве присадочного материала применяют литые кольца из стеллита.

Шесть технологических позиций, приведенных на рис. 20, объясняют сущность принципиальной схемы способа. В тарелке клапана предварительно протачивают канавку, в которую укладывают кольцо стеллита. Затем заготовку клапана закрепляют за стержень в вертикальном положении при помощи механизма фиксации установки.



Рисунок 20 – Схема наплавки клапанов монолитным присадочным материалом

В положениях б–в осуществляется нанесение флюса на наплавленную поверхность (канавка под кольцом спутника). Для этого с помощью задвижек заполняющее кольцо сателлита поднимается на определенную высоту над клапанной пластиной и удерживается в этом положении. Кроме того, сопрягаемых поверхностей кольца и канавки распыляется из сопла струей сернистого масла. В положении в на проблемные места и прочие сопла применять флюсы. Пылевые частицы флюса хорошо прилипают к поверхностям, покрытым маслом. После этого защелки занимают наименьшее положение, и заполняющее кольцо возвращается в исходное положение.

Двухступенчатый нагрев основного и присадочного материалов осуществляется в положениях з–д. Сначала продукт предварительно нагревается с

помощью неподвижного индуктора, питаемого от ТВЧ 2,5 кВт и частотой 450 кГц. После этого (положение δ) заготовки клапана окончательно нагреты подвижным индуктором, который приведен в действие более мощным (10 кВт) высокочастотным генератором. В результате нагрева расплавляются флюс и наполнитель (кольцо). Поток жидкости очищает осажденную поверхность от оксидов, а поступающий сюда затем расплав спутника приварен к основному металлу вентильной заготовки.

При положении ϵ специальной камерой и вращающейся пресс-формой осуществляется направленное затвердевание наплавленного слоя стеллита и охлаждение биметаллической заготовки до комнатной температуры. Далее заготовка отправляется на механическую обработку.

Наплавка в огнеупорной среде. Наплавка позволяет восстанавливать не только плоские, но и цилиндрические, конические и прочие рабочие поверхности деталей. Это обеспечивается в результате принудительного формирования расплава на упрочняемой поверхности специальной огнеупорной оболочкой[1].

Рассмотрим сущность данного способа на примере наплавки цилиндрической поверхности цапфы вала (рис. 21). На наплавляемую поверхность детали наносят слой присадочного металла требуемой формы и размеров. Присадочный металл наносят любыми известными методами – установкой монолитных или брикетированных втулок, заливкой жидкого металла, расплавлением мерных заготовок и пр. Для каждого конкретного случая в зависимости от особенностей наплавляемой поверхности выбирают свою технологическую схему подачи присадочного сплава. Огнеупорную оболочку наносят на наружную поверхность присадочного металла и частично на наплавляемую деталь. В качестве материала для огнеупорной оболочки используют смесь, состоящую из мелкозернистого (размер зерен обычно менее 0,2 мм) наполнителя (кварцевый песок, магнезит и др.) и связующего компонента – терморезистивной смолы. Песчано-смоляные смеси быстро твердеют при тепловой обработке, после которой оболочка приобретает прочность и хоро-

						ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			56

шую газопроницаемость. Наиболее часто в качестве связующего материала используют порошкообразную смесь фенолоформальдегидной смолы с уротропином, который вводится для ускорения процессов затвердения.



Рисунок 21 – Схема процесса индукционной наплавки в огнеупорной среде:

a – деталь после нанесения присадочного материала; *б* – деталь после нанесения огнеупорной оболочки; *в* – расплавление основного и присадочного материала через оболочку; *г* – деталь после наплавки

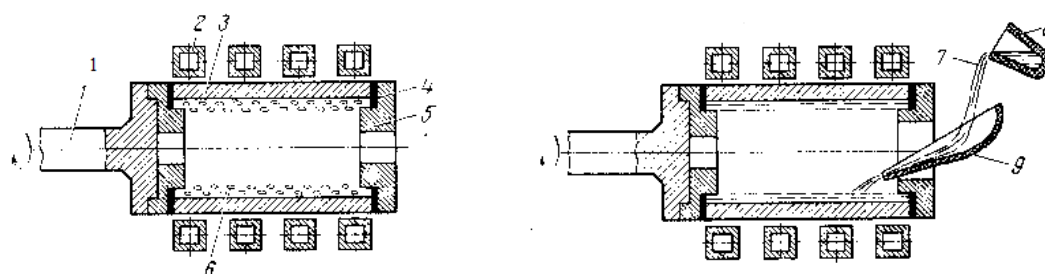
Подготовленную таким образом деталь помещают в индуктор токов высокой частоты. Для индуцируемого электромагнитного поля огнеупорная оболочка является «электропрозрачной». Благодаря этому происходит нагрев и плавление присадочного и частично или полностью основного металла в объеме, замкнутом оболочкой. Меняя время нахождения наплавляемой детали во включенном индукторе, можно управлять глубиной проплавления основного металла. В результате наличия эффекта электромагнитного перемешивания металла происходит интенсивное усреднение состава присадочного и основного материалов внутри огнеупорной оболочки. При частичном расплавлении основного металла граница сплавления образуется в месте контакта жидкой и твердой фаз. При полном переводе основного металла в жидкую фазу граница сплавления отсутствует. Благодаря тому, что нагрев, плавление

и кристаллизация металла происходят внутри огнеупорной оболочки (без доступа атмосферного кислорода), качество наплавленных деталей высокое. После остывания с наплавленной детали легко удаляется огнеупорная оболочка. Изделие направляют на последующую механическую обработку.

Данный способ может быть использован для восстановления зубчатых венцов и валов коробок передач, ведущих шестерен, главной передачи автомобиля и других деталей [4].

Центробежная индукционная наплавка. Наплавка используется для восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей (рис.22). К особенностям данного способа следует отнести принудительное формирование расплава присадочного металла центробежными силами [1].

В зависимости от агрегатного состояния присадочного материала различают две разновидности центробежной наплавки. В одном случае присадочный металл подается на наплавляемую поверхность в твердом состоянии в виде кусочков, стружки, порошка и пр. В другом – подается на предварительно нагретую поверхность в виде расплава.



1 – шпиндель центробежной машины; 2 – индуктор ТВЧ; 3 – наплавляемая деталь;
 4 – прокладки; 5 – крышка с отверстием; 6 – шихта; 7 – присадочный сплав;
 8 – разливочный ковш; 9 – лоток из огнеупорного материала

а

б

Рисунок 22 – Принципиальная технологическая схема центробежной наплавки:
а – присадочный металл в виде шихты; *б* – присадочный металл в виде расплава

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В первом случае стальную заготовку втулки закрепляют в патроне шпинделя центробежной установки с горизонтальной осью вращения. Порция присадочного металла определенной массы (определяется размерами наплавляемого слоя) вместе с флюсом подаются во внутреннюю полость втулки, размещенной в цилиндрическом индукторе ТВЧ. Для нагрева втулок используют одно- и много-витковые индукторы. При использовании одновиткового индуктора центробежные установки должны помимо вращательного обеспечивать и возвратно-поступательное движение шпинделя. В этом случае вся поверхность заготовки будет равномерно нагреваться до заданной температуры. Заготовки втулок перед наплавкой закрывают с обоих торцов специальными крышками (заглушками). По конструкции они бывают глухие или с отверстием, служащим для выхода газов и визуального наблюдения за процессом. Во избежание выплеска жидкого металла в процессе наплавки крышки во время сборки уплотняют асбестовыми прокладками.

Частоту вращения заготовки выбирают в зависимости от степени склонности присадочного сплава к ликвации. При использовании сильно легирующих сплавов необходимо использовать минимальные скорости вращения. Кроме того, для таких сплавов необходимо регламентировать количество заливаемого металла, температуру, продолжительность нагрева и скорость охлаждения. Для нагрева используют, как правило, относительно низкие частоты 2500 Гц или 8000 Гц. Это связано с большей глубиной проникновения тока в материал заготовки в электромагнитном поле.

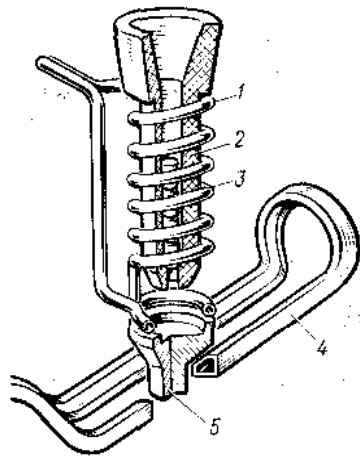
Нашел применение и второй вариант центробежной наплавки с использованием предварительно расплавленного присадочного металла. Способ используется при наплавке гильз автомобильных двигателей, восстановлении рабочей поверхности тормозных барабанов [4].

Наплавка заливкой жидкого присадочного сплава на предварительно нагретую поверхность. Наплавка заключается в том, что восстанавливаемую (упрочняемую) поверхность детали очищают от окислов и покрывают флюсом. Затем деталь нагревают до температуры 1050–1200 °С, после чего на

восстанавливаемую поверхность подают жидкий присадочный сплав. В результате контакта жидкого присадочного сплава с предварительно нагретой и очищенной от окислов поверхностью детали происходит надежное сплавление [1].

Рассмотрим данный способ наплавки на примере упрочнения (аналогично осуществляется и восстановление) толкателей клапанов автомобильных двигателей (рис. 23) [4]. В тарелке толкателя перед наплавкой протачивают углубление, которое по форме и размерам соответствует наносимому упрочняемому слою. Первоначально при помощи дозатора в выточку тарелки толкателя подается порция (0,2–0,3 г) флюса, затем заготовка перемещается в зону действия щелевого индуктора ТВЧ предварительного нагрева, где нагревается до температуры 1150–1200 °С. Присадочный материал, в качестве которого используется низколегированный износостойкий чугун, в виде мерных заготовок (палочек) через загрузочную воронку подается в керамический тигель, который расположен в многовитковом цилиндрическом индукторе ТВЧ с переменным шагом витков. Большое число витков к нижней части тигля обеспечивает более высокую температуру расплаву в области выпускного отверстия. После расплавления порция присадочного сплава вытекает через выпускное отверстие в дне тигля и попадает в выточку поверхности толкателя. Нижний виток цилиндрического индуктора обеспечивает необходимый дополнительный нагрев заготовке и залитому жидкому присадочному сплаву.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60



- 1 – индикатор ТВЧ для плавления присадочного материала;
- 2 – керамический тигель;
- 3 – присадочный материал;
- 4 – индуктор ТВЧ для нагрева тарелки толкателя;
- 5 – толкатель

Рисунок 23 – Схема наплавки жидким сплавом толкателей автомобильных двигателей

Индуктор для предварительного нагрева заготовок толкателей питается от машинного генератора с частотой тока 2500 Гц, плавящий же индуктор зенитам от лампового генератора с рабочей частотой тока 66–70 кГц [13]. Часовой расход мощности на подогрев заготовок толкателей составляет 45–50 кВт и около 32–35 кВт идет на расплавление мерных палочек присадочного сплава. Заключительной операцией является принудительное охлаждение стержня толкателя, которое осуществляется из спрейера водой. Это обеспечивает направленную кристаллизацию и отбел наплавленного слоя чугуна.

3.2 Технология осуществления процесса наплавки

Образец, на который производилась наплавка представляет собой подложку размером 100×200×10 мм из материала сталь Ст3. В качестве наплавляемого материала использовались порошки Н77Х15С3Р2-4 и ПР-Н73Х16С3Р3.

Перед наплавкой на наплавляемый образец при помощи дозатора или лопатки наносится порошок наплавляемого сплава, слоем 1,5–10,0 мм. После этого наплавляемый образец помещают на подвижный столик для индукционной наплавки и устанавливают расстояние между наплавляемым образцом и индуктором, которое должно быть 4–7 мм.

Затем, включив установку, осуществляют процесс индукционной наплавки порошка на наплавляемый образец. Столик нужно перемещать, для того, чтобы процесс наплавки проходил по всей поверхности нанесенного порошка и наблюдать за процессом. Наплавку проводят до полного расплавления наплавляемого материала, после чего индукционную установку отключают. Первый эксперимент состоял в наплавке порошка H77X15C3P2-4 (рис 24). Второй эксперимент состоял в наплавке порошка ПР-Н73Х16С3Р3 (рис 25). Поскольку эти порошки относятся к самофлюсующимися то в процессе наплавки можно отчетливо наблюдать защитный слой, возникающий в процессе плавления [6]. Скорость перемещения в данном случае, определялась визуально, по мере плавления последующих участков порошка, находящегося на подложке.

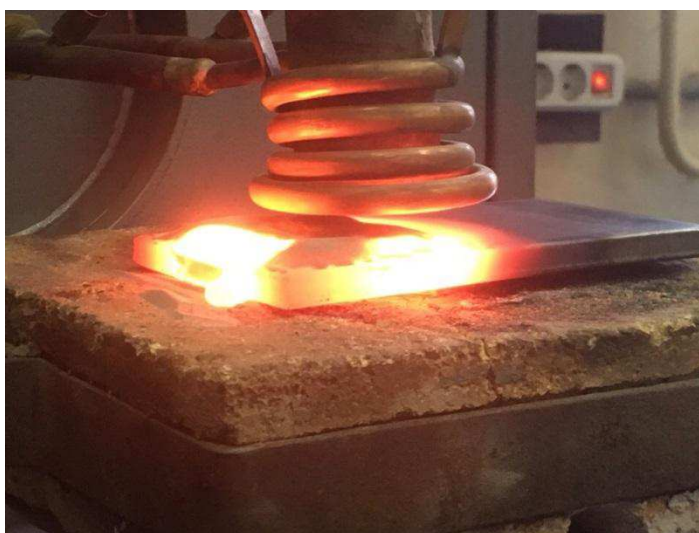


Рисунок 24 – Процесс наплавки порошка H77X15C3P2-4

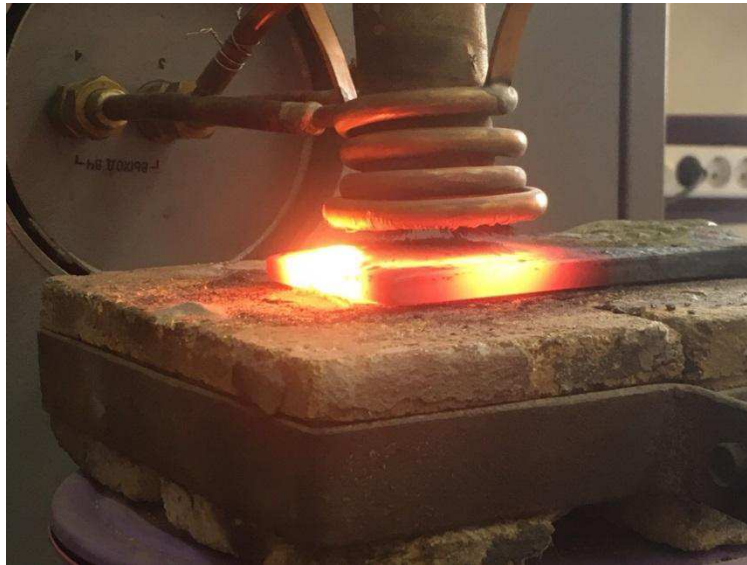


Рисунок 25 – Процесс наплавки порошка H73X16C3P3

После наплавки образцы охлаждались на спокойном воздухе.

3.3 Методы проведения исследований и применяемое оборудование

После проведенного процесса наплавки, полученные образцы, для проведения дальнейших исследований, разрезались до нужного размера при помощи армированного абразивного круга в условиях интенсивного водяного охлаждения.

Для определения механических свойств, химического и фазового состава, наплавленного слоя, а также качества зоны сплавления полученных образцов были проведены следующие исследования:

- металлографические (методом оптической микроскопии);
- измерение твердости и микротвердости.

Металлографические исследования. Для проведения металлографических исследований были приготовлены микрошлифы. Так как наибольший интерес при исследовании обработанных образцов представляет микроструктура наплавленного слоя и зоны сплавления наплавленного металла с основным, плоскость шлифовки осуществлялась перпендикулярно наплавленному

слою. Шлифовку производили на шлифовальной машине по стандартной методике, при этом образцы зажимались в струбцину. После этого проводим механическую зачистку наждачной бумагой различной зернистости. При смене наждачной бумаги изменяют направление шлифовки на 90° для удаления рисок, созданных предыдущим шлифованием.

Заключительный этап обработки – механическое полирование образца до зеркального блеска. Полирование образцов проводится на ватмане с применением алмазной пасты зернистостью 20/14; 3/1.

Каждая операция проводится до полного исчезновения следов предыдущей. После полирования образцы тщательно протирают спиртом.

Качество полирования контролируется просмотром шлифа под микроскопом при увеличении в 50 раз. В случае необходимости шлиф просматривают при увеличении от 1250 до 1500 раз. Поверхность должна быть зеркальной, не иметь рисок и царапин.

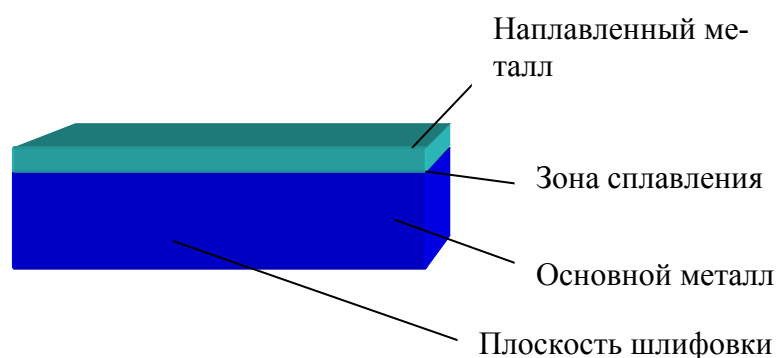


Рисунок 26 – Структура наплавленного образца и плоскость шлифовки

Заключительный этап в приготовлении шлифа – травление. Травление основано на том, что полированная металлическая поверхность шлифа, опущенного в реактив, представляет собой участки (фазы) с различными по величине электрохимическими потенциалами. Поэтому зерна каждой фазы имеют различную травимость. Для выявления микроструктуры основного

металла используется травитель, в данном случае 4-х процентный раствор азотной кислоты в спирте (табл. 4).

Условия травления: температура 18–20 °С, время 20–30 секунд.

Таблица 4 – Состав используемого реактива

Химический элемент	Объём, мл
Азотная кислота	4
Спирт	96

Для выявления структуры наплавленного металла использовался другой травитель, поскольку наплавленный слой представляет собой высоколегированный сплав на никелевой основе (табл. 5).

Таблица 5 – Состав используемого реактива для выявления структуры наплавленного металла

Химический элемент	Объём, мл
Азотная кислота	17
Спирт	50

Травление считается законченным, если поверхность шлифа становится слегка матовой. После остатки реактива смываются водой, и шлиф высушивают спиртом, прикладывая к нему лист фильтровальной бумаги.

Исследования проводили на микроскопе «*Carl Zeiss Axio Vision*» (рис. 27), который предназначен для наблюдения и фотографирования микроструктуры непрозрачных объектов в отражённом свете. Набор используемых объективов и окуляров обеспечивает визуальное изучение микроструктуры при увеличении от 60 до 1440 крат, фотосъёмку при помощи специальной цифровой насадки.



Рисунок 27 – Микроскоп фирмы *Carl Zeiss*

Травлённые шлифы в оптическом микроскопе исследовали при увеличении в 200–1400 крат.

Измерение твёрдости и микротвёрдости. Измерение твёрдости по Роквеллу образца (микрошлифа) проводилось на твердомере ТК–2 – прибор настольного типа, предназначенный для измерения твердости металлов и сплавов по методу вдавливания алмазного конуса или стального закалённого шарика под действием заданной нагрузки в течении определённого времени (рис.28).



Рисунок 28 – Измерение твёрдости образца на приборе ТК–2.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТом 9013–59.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Измерение микротвёрдости образца проводилось на микротвердомере ПМТ–3М (рис. 29). Данный прибор применяется при определении твёрдости таких объектов, которые не могут быть испытаны обычно применяемыми методами (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу), а именно мелких деталей приборов, тонких полуфабрикатов (лент, фольги, проволоки), тонких слоёв, получающихся в ходе термической обработки (азотирования, цианирования и др.) и гальванических покрытий. При этом испытании на испытуемую поверхность образца наносится отпечаток под действием статической нагрузки 200г., приложенной к четырёхгранной алмазной пирамиде в течение 10 с. При испытании измеряется длина каждой диагонали отпечатка и подсчитывается число твёрдости согласно имеющейся методики.



Рисунок 29 – Микротвердомер ПМТ–3М.

Число микротвёрдости определяется по таблицам, приведенным в ГОСТ 9450–91. Измерения проводили через каждые 100–150 мкм от поверхности наплавленного слоя образца.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

3.4 Анализ результатов исследований

После получения наплавленных образцов, для наиболее полного представления об их микроструктуре и свойствах, было проведено их комплексное исследование.

Металлографический анализ наплавленных образцов. Металлографическое исследование проводится с целью изучить структуру получившейся наплавки и определить её качество и свойства.

При индукционной наплавке взаимодействие материала пластины с наплавляемым сплавом происходит за счёт процессов смачивания поверхности наплавляемого металла расплавленной ванной и незначительной диффузии, что приводит к тому, что толщина переходной зоны фактически вырождена в неровную линию на первом образце (рис. 30), а на втором образце она ровная (рис. 31). Таким образом, исключается изменение химического состава наплавляемого материала, путем частичного его перемешивания с металлом пластины и возможной диффузии вглубь наплавляемого материала, наличием которого сопровождаются наплавленные слои, полученные электродуговым методом.

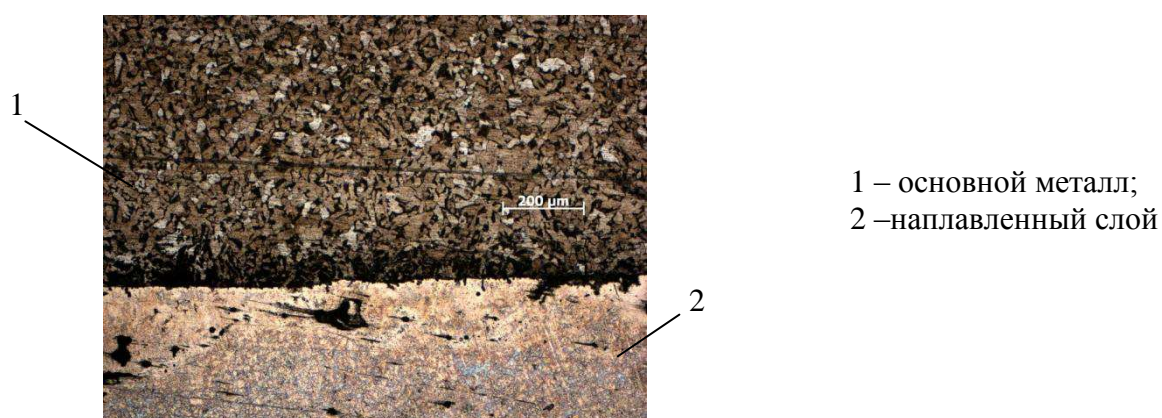


Рисунок 30 – Зона сплавления при индукционной наплавке порошка H77X15C3P2-4

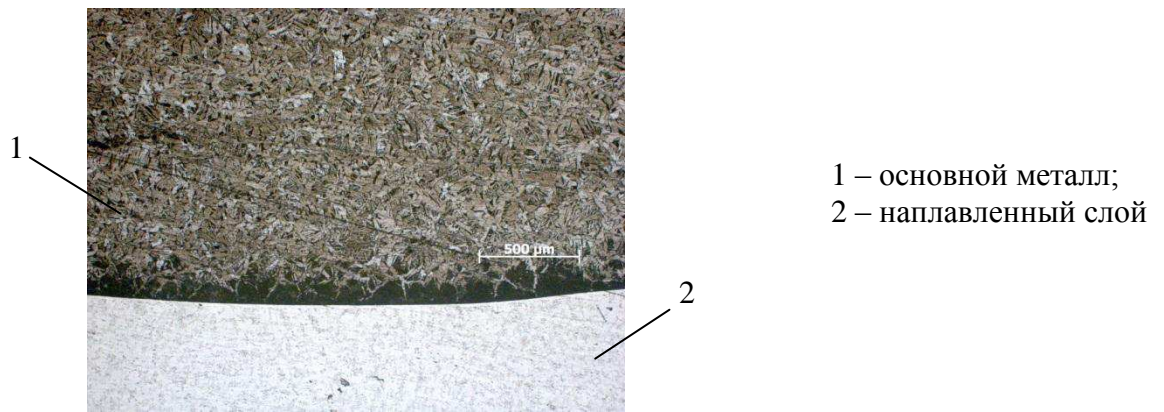


Рисунок 31 – Зона сплавления при индукционной наплавке порошка H73X16C3P3

Зона термического влияния первого образца не значительна, поскольку существенных структурных изменений на границе раздела не наблюдается (рис. 32).

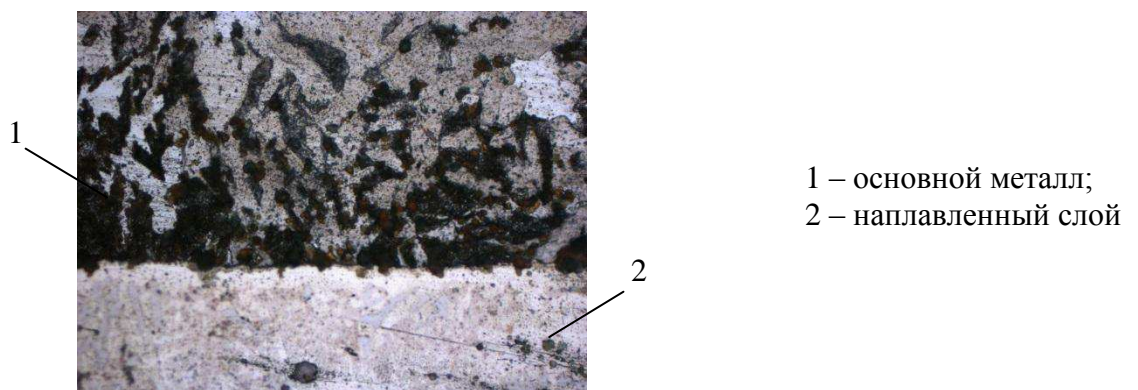


Рисунок 32 – Структура переходной зоны порошка H77X15C3P2-4

Можно наблюдать, что на втором образце зона термического воздействия значительно больше, чем в первом. Это подтверждается наличием Видманштеттовой структуры в зоне, прилегающей к наплавляемому слою (рис. 33). Возникновение такой структуры, которая проявляется в наличии крупноигльчатой структуры феррита, обусловлено значительным превышением температуры выше A_3 и последующим ускоренным охлаждением.

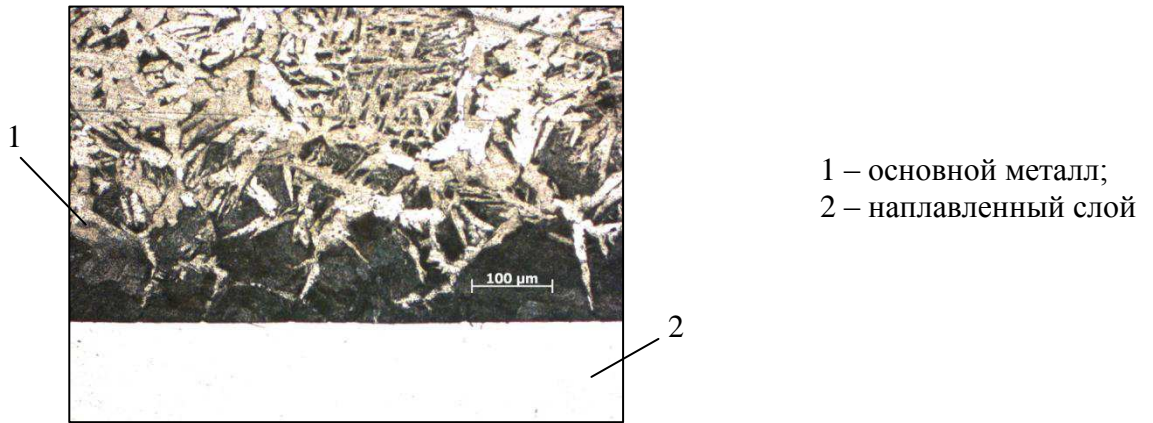


Рисунок 33 – Видманштеттова структура

Происхождение видманштетта объясняется на основе распределения прослоек эвтектоида параллельно граням растущего кристалла. В доэвтектоидной стали растущий кристалл – феррит, в заэвтектоидной – цементит.

Анализ твёрдости и микротвёрдости наплавленных образцов. Применение анализа твёрдости обусловлено тем, что твёрдость является одним из возможных критериев оценки износостойкости в лабораторных условиях.

Твёрдость подложки, измеренная на Бринелле, составляет НВ 131, что соответствует малоуглеродистой, нелегированной стали Ст. 3.

Твёрдость по Роквеллу, наплавленных слоев составляет HRC 45 и HRC 36, что находится в хорошем соответствии с техническими данными для этих сплавов.

Число твердости HV определяется по формуле 6 (МПа)

$$HV = 18540 P/d^2, \dots\dots\dots(6)$$

где P – нагрузка на пирамиду в г;

d – диагональ отпечатка в мкм.

Значения микротвёрдости для двух образцов приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Значения микротвёрдости

Сплав	Значение HV					
	1	2	3	4	5	6
1Н77Х15С3Р2-4	4570	4320	4450	4200	1300	1280
2 Н73Х16С3Р3	3420	3220	3400	3380	1286	1300

По результатам таблицы значения микротвердости был построен график зависимости микротвердости образцов (рис.34).

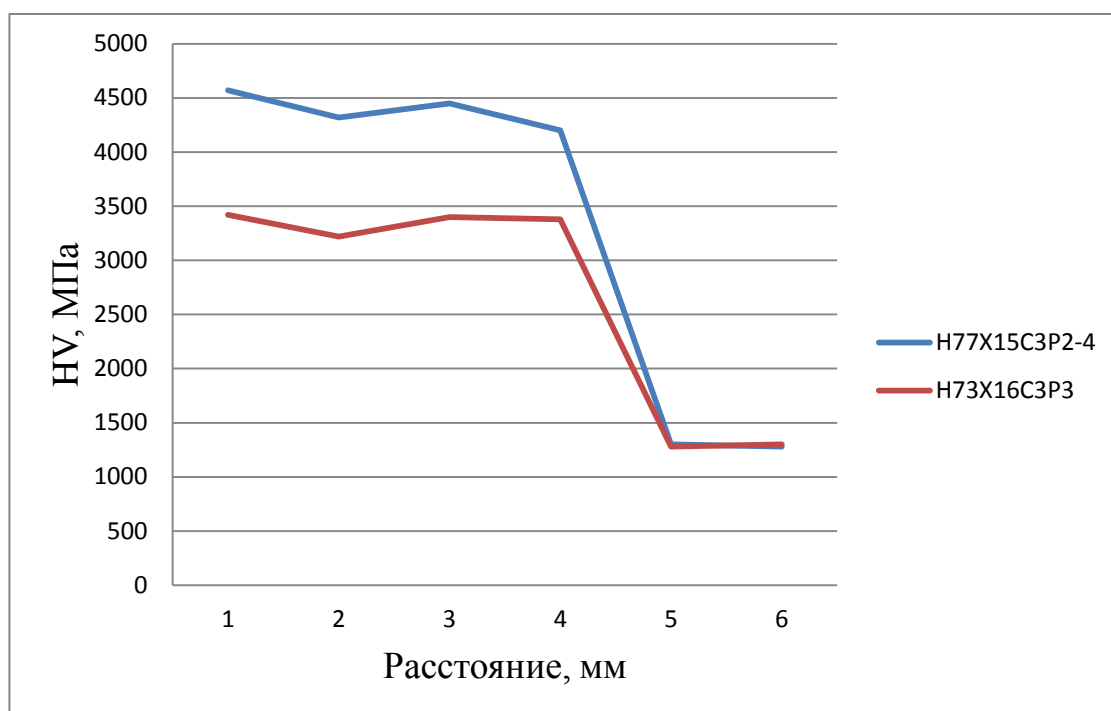


Рисунок 34 – График зависимости микротвердости образцов

Следует отметить резкий перепад твердости между подложкой и наплавленным металлом. Это результат технологии индукционной наплавки, при которой на определенных режимах не происходит расплавление металла подложки и тем самым, исключается перемешивание наплавляемого сплава с металлом подложки. Однако за счет хорошего смачивания подложки наплавляемым сплавом происходит диффузионное взаимодействие на границе раздела, что приводит к формированию значительных сил сцепления между подложкой и наплавленным слоем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа состояния вопроса было установлено:

1 Индукционная наплавка получила широкое распространение при изготовлении и ремонте рабочих узлов автомобилестроения, авиационной техники и другой техники, эксплуатирующейся в условиях интенсивного абразивного изнашивания и значительных статических и динамических нагрузок.

В процессе выполнения дипломного проекта были получены следующие результаты:

1 Выполнен патентный поиск материалов.

2 Изучены принципы индукционной наплавки и особенности технологии при наплавке порошковыми материалами.

3 Отработана технология и выполнена наплавка порошков самофлюсующихся Н77Х15С3Р2-4 и ПР-Н73Х16С3Р3.

4 Проведены экспериментальные исследования образцов, наплавленных по разработанной технологии.

5 На основании выполненного исследования определены основные параметры индукционной наплавки порошков Н77Х15С3Р2-4 и ПР-Н73Х16С3Р3.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

(спец. 150205.65). – 2-е изд., перераб. и доп. / В. И. Емелин, Ю. Г. Уткин. – Красноярск : Сибирский федеральный ун-т, 2007. 36 с.

11 СТП КГТУ 01-05. Общие требования к оформлению текстовых и графических студенческих работ. Текстовые материалы и иллюстрации – Взамен СТП КГТУ 01-02; Введ. 01.10.2005. – Красноярск: КГТУ, 2005. – 58 с.

12 Рукосуев А. П. Материаловедение / А. П. Рукосуев – КГТУ. – Красноярск, 2001. – 439 с.

13 Слухоцкий А. Е. Индукторы для индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин – Ленинград: Энергия, 1974 – 264 с.

14 Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. 544с.

15 Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. Ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 7-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2005. – 648с.: ил.

16 Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности в техносфере : учеб.пособие / О. Н. Русак, В. Я. Кондрасенко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2001. – 431 с.

17 Богданов В. Н. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности / В. Н Богданов, С. Е Рыскин. – М.: Машиностроение, 1965.

					ДП- 22.03.01 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В. И. Темных
(подпись)
« » 2018 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Мальцеву Данилу Дмитриевичу

Группа МТ 14-01Б Направление (специальность) 22.03.01 «Материаловедение и технологии обработки материалов»

Тема выпускной квалификационной работы: «Получение жаростойких композиционных материалов на никелевой основе методом индукционной наплавки»

Утверждена приказом по университету № 17807/с от 02.03.2018

Руководитель ВКР: А.М. Токмин, профессор кафедры «Материаловедение и технологии обработки материалов»

Исходные данные для ВКР: задание кафедры «МиТОМ»; методические указания к выполнению ВКР и её отдельных разделов; научная, учебная, методическая литература.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

- 1 Анализ литературы по проблеме
- 2 Изучение установки для индукционной наплавки порошковых материалов
- 3 Экспериментальная наплавка жаростойких покрытий

Руководитель ВКР


(подпись)

А.М. Токмин

Задание принял к исполнению


(подпись)

Д.Д. Мальцев

« ____ » _____ 2018 г.