

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра «Материаловедение и технологии обработки материалов»

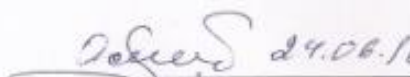
УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.И. Темных
(подпись)
«__» _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА


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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАФИТА НА
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

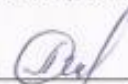
Руководитель

 24.06.16 О.А. Масанский
(подпись, дата)

Выпускник

 24.06.16 И.А. Сафонов
(подпись, дата)

Нормоконтроль

20.06.16  Л.А. Свечникова
(подпись, дата)

Красноярск 2016

РЕФЕРАТ

Актуальность. Модернизация современного производства связана с внедрением нового оборудования и инновационных решений. Применение композиционных материалов в различных отраслях промышленности, позволяет получить требуемое сочетание механических и эксплуатационных свойств. Разработка технологии регулирования структурообразованием материалов, с учетом скоростей нагрева и охлаждения, дает возможность использовать один и тот же материал, для формирования требуемых физико-механических и эксплуатационных свойств. Применение таких технологий для получения слоистых композиционных материалов рабочих органов горнодобывающей и строительной дорожной техники позволяет увеличить эксплуатационный срок службы и повысить технико-экономические показатели.

Ключевые слова – слоистый композиционный материал, технология наплавки, флюс, скин-слой, твердость, износостойкость, микроструктура, карбид.

Объект исследования – слоистый композиционный материал полученный методом индукционной наплавки.

Цель работы –изучить влияние введения графита в состав наплавляемой шихты на структурообразование и свойства слоистого композиционного материала.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Анализ технологий и материалов для получения слоистых композиционных материалов	5
1.1 Анализ технологий получения слоистых композиционных материалов	5
1.2 Анализ износостойких материалов.....	13
1.3. Выбор компонента основы слоистого композиционного материала	16
1.4 Выбор флюса	17
2 Технология получения слоистых композиционных материалов	20
2.1 Анализ процессов протекающих при индукционной наплавке ...	20
2.2 Технология получения СКМ	22
2.3 Технология проведения наплавки на установке УВГ 2-25	28
2.4 Методы проведения исследований и применяемое научное оборудование	30
3 Экспериментальные исследования	32
3.1 Влияние скорости нагрева и охлаждения на структурообразование износостойких композиционных материалов	32
3.2 Влияние на структурообразование износостойких композиционных материалов толщины наплавляемого слоя	34
3.3 Влияние введения графита на структуру и свойства слоистого композиционного материала	38
Заключение	44
Список используемых источников	45

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие машиностроительной отрасли тесно связано с внедрением новых технологий и материалов. В настоящее время проводятся исследования отечественными и зарубежными учеными в области износостойких материалов для создания рабочих органов горнодобывающей и строительной дорожной техники.

Одним из основных направлений является получение материалов, свойства которых задаются технологическими процессами получения изделия.

Получение слоистых композиционных материалов с применением таких материалов позволяет формировать требуемый комплекс физико-механических свойств обеспечивающий высокую эксплуатационную стойкость изделия в заданных условиях.

Применение высокоэнергетического воздействия на порошковые материалы позволяет управлять скоростями нагрева и охлаждения а, следовательно, возможностью получения максимально неравновесных структур. Преимущество применения порошковых материалов является возможность их смешивания или введения добавок, что позволяет дополнительно оказывать влияние на формирование необходимых эксплуатационных свойств.

1 Анализ технологий и материалов для получения слоистых композиционных материалов

В современное время в промышленности применяются всевозможные методы и способы поверхностного упрочнения изделий и их восстановления [1,2,3,4]. Исследованию различных способов восстановления изношенных деталей строительного дорожной, сельскохозяйственной, горной и др. техники посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых: Вологдин В.В [5], Доценко Н.И. [6], Кряжков В.М. [7], Лившиц Л.Г. [8], Ткачев В.Н. [9] и др. Получены результаты исследования данных авторов позволили определить наиболее перспективные методы получения износостойких слоистых композиционных материалов (СКМ)–нанесение на компонент-основу расплава металлических сплавов, с применением новых технологий и оборудования. Основными способами получения СКМ, для повышения износостойкости рабочих органов строительного-дорожной и горнодобывающей техники являются электродуговой, плазменный, электрошлаковый, индукционный и др. методы.

1.1 Анализ технологий получения слоистых композиционных материалов

Получение слоистых композиционных материалов, в условиях высокоэнергетического нагрева, сопровождаются частичным расплавлением металла компонента основы и перемешиванием его с металлом расплава, что приводит к изменению его химического состава. Такое изменение затрудняет прогнозирование структурно-фазового состава и свойств получаемых слоистых композиционных материалов [10,11]. Поэтому при выборе способа получения СКМ, одним из основных критериев является глубина проплавления компонента основы слоистого композиционного материала и скорость нагрева.

Электродуговой метод различными способами применяют при восстановлении изношенных поверхностей деталей, устранении брака в изделиях по-

лученных методом литья, для наплавки поверхностей со специальными свойствами. При установившемся процессе плавления электрода под действием теплоты дуги происходит равномерно. Однако не вся мощность дуги расходуется на плавление металла. Часть её теряется на излучение, плавление покрытия и т.п. Не весь расплавленный металл переходит на формирование слоя, так как существуют потери на его угар и разбрызгивание. Общие потери при наплавке покрытыми электродами с учётом потерь на угар, разбрызгивание и огарки составляют до 30 %. Недостатком дуговых методов наплавки является значительная глубина проплавления. При однослойной наплавке доля основного металла в наплавленном может составлять до 60 % [12,13].

Электрошлаковый метод позволяет выделить ряд преимуществ, выгодно отличающих его от других способов получения слоистых композиционных материалов [2, 14, 15]. Во время проведения технологической операции, разбрызгивание отсутствует, шлак надёжно защищает жидкую металлическую ванну от вредного воздействия воздуха. Расход флюса на образование шлаковой корки на поверхности полученного слоя металла составляет не более 5 % его массы. В сравнении с дуговым процессом, расход электроэнергии в 1,5 раза, а флюса в 20 раз меньше. При вертикальном положении формируемой поверхности облегчается всплывание газовых пузырьков, частиц шлака и удаление их из металла. Поэтому при электрошлаковом методе склонность к образованию пор и других неплотностей значительно ниже, чем при дуговой. Вследствие благоприятного направления роста кристаллов в слое металла, полученным электрошлаковым способом, значительно снижается склонность к образованию кристаллизационных трещин. Этому также способствуют более низкие скорости нагрева и охлаждения границы раздела, чем при электродуговым методе.

Недостатками этого метода являются: возможность формирования слоя на поверхности изделия только в вертикальном положении; получение равномерной толщины слоя возможно только на плоских поверхностях; недопустимость прерывания процесса; зона плавления составляет более 3,0 мм.

Плазменное поверхностное упрочнение, как один из методов упрочнения источниками нагрева с высокой плотностью мощности, в настоящее время находит эффективное применение [16]. Сущность метода заключается в том, что в термических фазовых и структурных превращениях, происходящих при быстром концентрированном нагреве рабочей поверхности детали плазменной струей (дугой) и теплоотвода в материал детали [17, 18].

Плазменный метод основан на подаче электродного материала в виде порошка в струю плазмы, где происходит разогрев до температуры плавления в виде капель переносится на металл компонента основы [17, 19, 20, 21]. Подача металлических порошков в струю плазмы производится с помощью инертных газов: аргона, азота и др. Для формирования слоя деталей цилиндрической формы плазматрон устанавливается на суппорт токарного станка, переоборудованного на низкое число оборотов. В качестве материала получаемого слоя могут использоваться не только порошки металлов, но и неметаллов (керамический порошок), что позволяет получать металлокерамические покрытия.

При осуществлении плазменно-порошкового метода используют три вида плазменной дуги: прямого, косвенного действия и комбинированную. Комбинированная дуга обладает лучшими технологическими возможностями. Такая схема позволяет осуществлять в широком диапазоне раздельное регулирование степени нагрева присадочного материала и металла компонента основы.

Доля металла компонента основы в полученном слое составляет до 5 %. Плазменная струя окружена соосным потоком защитного газа, обеспечивающим надежную защиту расплава металлического порошка. Ввиду отсутствия резких колебаний давления дуги формируемая поверхность получается гладкой, с минимальным припуском на механическую обработку. Плазменно-порошковый метод осуществляют также с подачей порошка в хвостовую часть ванны. В этом случае обеспечивается более надежная подача присадочного порошка, а при использовании порошковых карбидов отсутствует их разложение, так как они, попадая в ванну, минуя разрушающее действие электрической ду-

ги. При этом полученный слой металла имеет строение композиционного сплава. Реализация плазменного метода осуществляется с применением порошком сферической формы, размером частиц 40–400 мкм.

Плазменный метод с токоведущей присадочной проволокой обеспечивает минимальное оплавление металла компонента основы и достаточно высокую производительность процесса. В зависимости от толщины формируемого слоя, диаметра проволоки и диаметра изделия, сила тока, подаваемая на проволоку, составляет 30–70 А, а к детали – 100–200 А. При этом глубина проплавления в среде защитного газа – аргона составляет около 0,65–1,6 мм, в среде CO_2 – 0,8–2,4 мм, высота полученного валика 4,5–5 мм.

Недостатками методов газотермического и плазменного напыления или наплавки, использующего для нанесения покрытий порошковые материалы, являются: сложность обеспечения стабильности свойств и надлежащего уровня качества покрытий, получаемых из многокомпонентных механических смесей порошков, что вызвано сегрегацией компонентов при смешивании и транспортировании смеси из дозирующих устройств в струю плазмы; размер частиц порошка определяется параметрами питателя, следовательно, при составлении многокомпонентных систем, размер гранул порошка всей системы должен быть одинаковым или различаться в допустимых пределах.

Индукционный метод, широко применяется в современной промышленности для восстановления изношенных деталей, имеет отличительную особенность перед другими методами [22, 23, 24, 25]. Получение расплава металлического порошка при индукционном методе происходит за счёт действия индуктируемого тока. Для нагрева над изделием размещают индуктор, представляющий собой один или несколько витков медной трубки или шины. По индуктору протекает ток высокой частоты (ТВЧ), создающий переменное электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в поверхностном слое детали, что, в свою очередь, вызывает интенсивный нагрев этого слоя и расплавление присадочного материала. С увеличением частоты тока, глубина проплавления, следовательно, доля металла компонента основы в расплаве ме-

таллического порошка уменьшается. При таком способе получения слоистых композиционных материалов толщина границы раздела может составлять 40–60 мкм.

Получение слоистых композиционных материалов индукционным методом, осуществляется с применением металлических порошков различного химического состава [9, 26]. При составе шихты размер частиц порошка может иметь широкий гранулометрический диапазон и составляет от 0,1 до 1 мм.

Спекание применяемых металлических порошков флюсовой частью шихты исключает притягивание ферромагнитных составляющих шихты к индуктору при включении его на нагрев, а в случае применения парамагнитных порошков предварительное спекание или брикетирование не обязательно.

Применение индукционного метода позволяет формировать слой на изделиях цилиндрической формы. Для этого шихту насыпают на разогретую до 300–400°С поверхность изделия, спекают ее флюсовой частью, формируя конфигурацию изделия. Расплав металлического порошка сохраняют (поддерживают) в горизонтальном положении.

В настоящее время существуют различные способы нанесения расплавов металла на поверхность изделия с применением ТВЧ:

- армирование расплавленного поверхностного слоя металла компонента основы тугоплавкой или труднорастворимой присадкой;
- заливка жидкого присадочного металла на подогретый компонент основы;
- расплавление непосредственно на компоненте основы пасты, состоящей из смеси порошкообразных твердых сплавов связующим веществом;
- погружение подогретой детали в форму – тигель с расплавленным металлом;
- центробежная заливка деталей цилиндрической формы;
- расплавление специальной порошковой шихты, нанесённой на упрочняемую поверхность (по методу Ростовского-на-Дону НИИТМа).

Расплавление непосредственно на компоненте основы пасты, состоящей

из смеси порошкообразных твёрдых сплавов связующим веществом был опробован Г. И. Глушковым и М. Г. Лозинским применительно к наплавке плужных лемехов. Порошкообразный твёрдый сплав (сталинит) фракций определённых размеров смешивают связующей жидкостью (патокой меляссы). Полученную пасту наносят на упрочняемый участок (режущее лезвие) и просушивают в течение 3–4 ч вначале на воздухе, а затем в печи при 100 °С. Эта операция обеспечивает плотное прилегание присадочного металла к основному. После этого в изолированном многovitковом индукторе, имеющем форму сплюснутой спирали, нанесённую пасту доводят до полного расплавления. Для более интенсивного нагрева твёрдого сплава воздушный зазор между верхним слоем пасты и внутренней поверхностью индуктора в несколько раз меньше, чем у противоположной плоскости лемеха. Генератором токов высокой частоты служит ламповая установка ГЗ-46. Минимальное время индукционного нагрева составляет 2 мин. Полученный слой стеллита имеет твёрдость НВ 600, его структура состоит из эвтектики и карбидов игольчатой и ромбической формы. Образование монолитного и прочного соединения объясняется частичным оплавлением поверхностного слоя основного металла и последующей диффузии углерода из твёрдого сплава в сталь. Достоинством этой работы является расплавление более легкоплавкого, чем сталь, сплава на упрочняемом участке компонента основы [9].

Получение слоистого композиционного материала по методу Ростовского-на-Дону НИИТМа основано на использовании токов высокой частоты для нагрева компонента основы и расплавления присадочного материала, в качестве которого используется специальная порошковая шихта. Шихта состоит из гранулированного металлического порошка и флюсов на основе буры, борного ангидрида, силикокальция, фтористого кальция и др.

Необходимо отметить, что состав применяемой шихты при использовании данного метода можно приготовить непосредственно перед началом процесса, путем смешивания порошков различного химического состава и флюса. Шихту наносят на поверхность компонента основы определённой толщины, которая за-

висит от требуемой толщины получаемого слоя. После чего деталь с нанесённым слоем шихты подводят под индуктор, питаемый от высокочастотной установки, подобно тому, как это делается при индукционной закалке.

При прохождении тока высокой частоты через контур индуктора в поверхностных слоях компонента основы индуктируются токи Фуко, и наружный слой металла быстроразогревается. Слой шихты, расположенный между индуктором и нагреваемой поверхностью, в связи с высоким сопротивлением металлического порошка слабо реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Нагрев шихты происходит за счёт тепловой передачи от металла компонента основы. В связи с этим температура окончания плавления шихты должна быть ниже температуры солидуса металла компонента основы, а скорость подвода тепла к нагреваемой поверхности должна быть значительно больше скорости его отвода вглубь изделия и потерь в окружающую среду.

Флюс, входящий в состав шихты выполняет защитные функции:

– удаление окисной плёнки с поверхности компонента основы и частиц металлического порошка, предотвращая взаимодействие металла шихты с кислородом воздуха;

– торможение отвода тепла в окружающую среду.

Стоит отметить, что подбор флюса осуществляется таким расчётом, чтобы раскисление расплава металлического порошка протекало в течение нескольких секунд. Во время проведения наплавки флюс так же обладает рафинирующим эффектом.

В качестве источников питания, как правило, применяют высокочастотные ламповые установки типа ЛЗ с частотой 70 кГц. В настоящее время в «ЦКБ «Геофизика» г. Красноярск разработан и внедрен в производство высокочастотный транзисторный генератор нового поколения УВГ 2-25 имеющий высокий промышленный КПД. Применение данного генератора способствует снижению продолжительности нагрева почти в 2 раза (рисунок. 1).

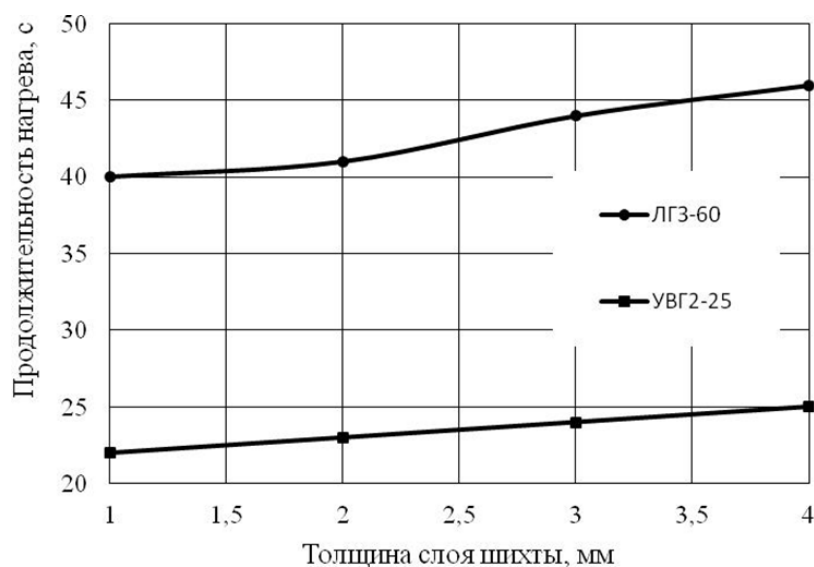


Рисунок 1 – Зависимость времени нагрева от толщины слоя шихты

Максимальная мощность потребления составляет не более 30 кВт, при максимально возможной выходной мощности 25 кВт. Потребление электроэнергии в 3 раза меньше по сравнению с генераторами лампового типа. Скорость с которой формируется слой составляет около $1 \text{ дм}^2/\text{мин}$. Быстрый выход на рабочий режим и возможность быстрой смены технологической операции значительно повышают коэффициент производственной загрузки установки. Применение данного генератора позволяет получать слоистые композиционные материалы с заданной скоростью нагрева и глубиной проплавления металла компонента основы. Формирование наплавленного слоя композиционного материала при рабочей частоте генератора 44 или 66 кГц это дает возможность уменьшить размер переходной зоны до 5–10 мкм. Образование границы раздела СКМ происходит в результате адгезии при жидко твердофазном взаимодействии компонентов и протекании диффузионных процессов. Такое преимущество может быть направлено на регулирование структуры и свойств СКМ, с учетом характера износа детали.

Индукционный метод получения композиционных материалов имеет относительно простую технологическую схему, которая стабильна в условиях серийного производства и применима к упрочнению деталей самогоразличного назначения, а так же для упрочнения фасонных деталей[9].

1.2 Анализ износостойких материалов

Научные исследования и разработки в области износостойких материалов показывают, что для изготовления деталей работающих в условиях абразивного, ударно-абразивного или ударного износа эффективно применение белых чугунов, о чем свидетельствует ряд работ, проведенных в этой области [27, 28, 29, 30, 31, 32]. Высокая износостойкость таких сплавов обеспечивается наличием в структуре легированных карбидов железа и карбидов легирующих элементов.

Были рассмотрены и установлены три группы, имеющие практическое значение для получения слоистых композиционных материалов в условиях высокоэнергетического индукционного нагрева [9, 32, 33]:

- легированные чугуны (абразивный износ в почвенной среде, сыпучим абразивом; изнашивание агрессивной абразивной средой без ударного воздействия; абразивный износ в сочетании с ударными нагрузками);

- сплавы на основе кобальта и никеля (изготовление литых деталей, используемых при абразивном изнашивании в интервале низких и средних температур, абразивный износ в сочетании с ударными нагрузками);

- псевдосплавы (абразивный износ в сочетании с ударными нагрузками, изнашивание агрессивной абразивной средой без ударного воздействия).

Более наглядное представление основных достоинств и недостатков износостойких материалов для индукционного метода, а также области их применения представлены в таблице 1. Химический состав рассмотренных материалов представлен в таблице 2.

Таблица 1– Рекомендации по применению износостойких материалов

Условия эксплуатации	Рекомендуемый сплав	Достоинства	Недостатки
Абразивный износ в почвенной среде, сыпучим абразивом	Псевдосплавы различных марок	Отсутствие дефектов в слое, использование не дефицитных материалов, значительное повышение срока службы	Недопустимость эксплуатации сударными нагрузками
Изнашивание агрессивной абразивной средой без ударного воздействия	ФБХ-6-2	Высокое сопротивление истиранию	Повышенная хрупкость при статическом и особенно динамическом нагружении
Изнашивание в абразивной-коррозионной Среде	Стеллиты различных марок	Обладают высокой жаропрочностью, хорошим сопротивлением абразивному износу, коррозии и эрозии	Основной недостаток высокая стоимость из-за наличия вольфрама и кобальта
Изготовление литых деталей, используемых при абразивном изнашивании в интервале низких и средних температур	Нихард	Хорошая сопротивляемость истиранию при низких и средних температурах	Чувствителен к ударам и резким колебаниям температуры. Требуется термическая обработка
Абразивный износ в сочетании сударными нагрузками	Сормайт № 1 ПГС-27	Хорошая сопротивляемость ударно-абразивному износу, не требуется термической обработки	Более низкий коэффициент износостойкости по отношению к сплавам: ФБХ-6-2 псевдосплавы

Таблица 2 – Рекомендации по применению износостойких материалов

Марка материала	Химический состав, %										
	C	Cc	Ni	B	Si	Mn	V	Co	W	Ti	Fe
Сормайт	2,5–3,5	25,0–31,0	3,0–5,0	–	2,8–4,2	0,5–1,5	–	–	–	–	Основа
ПГС-27	3,9	28,0	2,5	–	1,2	0,8	–	–	–	–	
ФБХ-2	3,5–5,5	32,0–37,0	–	1,5–2,2	1,0–2,5	1,5–4,0	–	–	–	–	
ХТ 5У	3,5–4,0	28,0–30,0	–	–	4,5–5,5	1,5–2,0	1,5–2,0	–	–	3,2–3,7	
Нихард	2,7–3,6	1,5–2,6	3,0–5,0	–	0,4–0,7	0,4–0,7	–	–	–	–	
ВИСЧХОМ-9	2,5–4,8	2,0–4,5	–	–	0,4–0,7	4,0–6,5	–	–	–	–	
Колмонои	До 1,0	8,0–18,0	основа	1,5–4,0	1,0–5,0	–	–	–	–	–	
Стеллит В2К	1,8–2,5	27,0–33,0	2,0	–	1,0–2,0	До 1,0	–	47,0–53,0	13,0–17,0	–	2,0
Стеллит В3К	1,0–1,5	28,0–32,0	2,0	–	2,5	До 1,0	–	58,0–62,0	4,0–6,0	–	2,0
НХ13С2Р2	0,2–0,35	12,0–14,0	основа	1,8–2,0	2,0–2,2	До 0,4	–	–	–	0,2	3,0
Релит	3,8–4,0	–	–	–	–	–	–	–	95,0	–	–
Псевдосплав ПС-3	Сормайт № 1 + релит										
Псевдосплав ПС-4	Сормайт № 1 + феррохром										
Псевдосплав ПС-5	Сормайт № 1 + феррохром (58%) + ферротитан (2%)										

Большинство высокоуглеродистых материалов после кристаллизации образуют сеть трещин. Это не всегда является дефектом, потому что снимаются напряжения на границе раздела полученного металла и металла компонента основы, предотвращая растрескивание последнего. Если известно, что поверхность сеткой трещин будет подвергаться при эксплуатации тяжелым ударам, рекомендуется предварительное нанесение на металл компонента основы пластичного буферного слоя.

1.3. Выбор компонента основы СКМ

В настоящее время применяются различные износостойкие материалы, состав которых изменяется в широких пределах – от сплавов на основе железа с общим содержанием легирующих элементов 1,5–2%, до сплавов на основе никеля, кобальта и вольфрама, концентрация которых достигает 90–96%.

Изменение химического состава наплавляемого материала и их структуры, достигается заданный комплекс механических и эксплуатационных свойств, требуемый для конкретных условий эксплуатации.

Температура плавления материала основы применяемого для получения слоистого композиционного материала должна быть на 100–150°C выше температуры плавления наплавляемой шихты. Это необходимо для определения механизма взаимодействия компонентов СКМ и глубину проплавления металлической основы. Соответственно температура плавления металлической основы должна быть 1350–1400°C. Металлическая основа должна обладать высокой прочностью, достаточной жесткостью, хорошей теплопроводностью, а так же она должна хорошо свариваться и обрабатываться резаньем, и как правило низкой себестоимостью. Основываясь на поставленных требованиях, в качестве металлической основы СКМ, для проведения экспериментальных исследований была выбрана конструкционная низколегированная строительная сталь 09Г2С ГОСТ 1577-93 [34, 35].

Сталь легирована марганцем и кремнием, имеет низкое содержание углерода, что располагает эту сталь к хорошей свариваемости. Линейный коэффициент температурного расширения (ЛКТР) стали 09Г2С составляет $13,8 \cdot 10^{-6}$. Температура плавления, соответствует исходящим требованиям.

1.4 Выбор флюса

Получение СКМ с применением высокоэнергетического индукционного нагрева, осуществляется в обычной атмосфере, без специального оборудования, где неизбежно протекают такие процессы как, взаимодействие расплава металлического порошка с кислородом, азотом, парами воды и т.д. Для защиты наплавляемого металла находящегося в расплавленном состоянии при высоких температурах исходного и закристаллизовавшегося металла необходимо обеспечить надлежащую защиту. С этой целью используют флюсы, они защищают металл от окисления на всем этапе получения СКМ. В составе шихты содержится 70–80 % металлического порошка и 20–30 % флюса [9, 36, 37].

Требования к флюсам. Следует отметить, что флюсы, оказывают графинирующее действие на жидкий металл. В результате воздействия переменного электромагнитного поля происходит движение расплавленного металла, что обеспечивает его взаимодействие с флюсом. В результате такого взаимодействия происходит очищение жидкого металла, в частности, снижается содержание кислорода, который находится в виде окислов на поверхности каждой частицы, помимо этого эффекта, флюс задерживает теплоотдачу в окружающую среду, а также может легировать металл, находясь в расплавленном состоянии. Состав флюсов выбирать надо таким образом, чтобы раскисление металла протекало в течение нескольких секунд. Флюс должен обеспечивать плотный защитный слой шлака над расплавленным металлом. Во время нагрева шихты и металлической основы, в первую очередь должно происходить плавление флюса, то есть он должен иметь температуру плавления значительно ниже температуры плавления компонентов слоистого композиционного материала. Флюсы играют важную роль в процессе плавления металла, поэтому к ним предъявляется целый ряд требований. Они должны обеспечивать надежную защиту зоны плавления от воздействия атмосферы, гарантировать хорошее формирование металлического слоя. Легкую отделимость шлаковой корки, отсутствие пор, трещин и других дефектов.

Таким образом, к флюсам для индукционного метода предъявляют следующие требования:

- при взаимодействии флюса с жидким металлом не должно происходить легирование металла элементами, ухудшающими физико-механические свойства сплава;

- температура плавления флюса должна быть значительно ниже температуры плавления компонентов слоистого композиционного материала. Жидкий флюс должен до расплавления металлического порошка очистить поверхность его частиц, а также и поверхность компонента основы от пленки окислов и защитить основной металл и частицы сплава от дополнительного окисления при нагреве до температуры наплавки;

- при колебаниях температуры флюс не должен изменять значительно свой состав. Такие изменения могут быть вызваны испарением составляющих флюсов или взаимодействием между ними или расплавленным металлом;

- образующийся шлак должен иметь минимальную плотность, что способствует выводу неметаллических включений из расплавленного металла;

- шлак должен обладать минимальной вязкостью и высокой газопроницаемостью при температуре кристаллизации металла. При повышении вязкости шлака газовые пузыри, достигая границы раздела металл – шлак, оказывают давление на слой шлака и жидкий металл и при низкой газопроницаемости слоя шлака выдавливают на поверхности жидкого металла углубления (кратеры), которые ухудшают равномерность слоя полученного металла и портят внешний вид поверхности;

- флюс в интервале рабочих температур не должен образовывать и выделять токсичных соединений;

- смесь флюса с гранулированными сплавами не должны разделяться на составляющие фракции при транспортировке, хранении и наплавке.

Выводы. На основании проведенного обзора материалов для проведения экспериментальных исследований в качестве наплавочного материала был выбран сплав сормайт в виде порошка, химический состав которого приведен см. таблицу 2. Данный сплав характеризуется низким коэффициентом трения и противостоит интенсивному абразивному и умеренному ударному износу. Температура плавления сормайтасоставляет около 1250 °С.

В качестве материала подложки была выбрана конструкционная низколегированная строительная сталь 09Г2С ГОСТ 1577-93[35]. Данная сталь имеет температуру плавления на 150°С выше температуры плавления металлического порошка.

В качестве защитной среды выбран флюс АН-20 измельченный.

2Технология получения слоистых композиционных материалов

2.1 Анализ процессов протекающих при индукционной наплавке

Физико-химические процессы при индукционном нагреве. Наиболее важным отличием получения СКМ в условиях высокоэнергетического индукционного нагрева, с технологической и энергетической точки зрения, является способ подвода тепла и кинетика индукционного нагрева [25, 38, 39, 40]. Расплавление нанесенной шихты за счет теплопередачи от основного металла компонента основы обуславливает определенные особенности процесса и, в частности, вызывает отставание роста температуры металлического порошка от температуры компонента основы. В период нагрева до точки Кюри ($768\text{ }^{\circ}\text{C}$) индуктируемый ток ввиду поверхностного эффекта распределяется главным образом в наружном слое (около $0,1\text{ мм}$) компонента основы. Этот период характеризуется опережающим нагревом компонента основы и усиливающимся температурным градиентом. После перехода через точку Кюри глубина проникновения тока в металл компонента основы увеличивается (в зависимости от частоты) в $10\text{--}20$ раз, благодаря чему распределение температуры в металле компонента основы становится более равномерным. Когда слой шихты прогреется до температуры $600\text{--}750\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от состава флюса), начинается плавление флюсов, оседание частиц металлического порошка, всплывание и удаление газовых пузырей. К моменту начала плавления флюсов градиент температур между компонентом основы и шихтой особенно велик и достигает $250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$. После образования жидкой фазы, скорость теплопередачи в присадочном материале значительно возрастает и температурный градиент резко уменьшается. Расплавленный флюс активно смачивает окисленную поверхность стали и частиц металлического порошка, окутывая их сплошной оболочкой. По мере дальнейшего нагрева поверхностное натяжение на границе флюс – металл снижается, условия смачивания улучшаются, увеличивается химическая активность флюса.

При температуре около 800°С расплавленный флюс вступает во взаимодействие со окисными пленками и тонким поверхностным слоем компонента основы, переводя их в жидкий шлак, предохраняя взаимодействующие материалы от дальнейшего окисления. Этим самым создаются необходимые предпосылки для образования прочной металлической связи между компонентами слоистого композиционного материала. При достижении температуры солидуса металлического порошка начинает плавиться металлическая часть шихты, при этом жидкий шлак, имеющий значительно меньший удельный вес, вытесняется на поверхность расплавленной ванны.

Расплавленные капли металлического порошка смачивают раскисленную поверхность металла компонента основы, растекаются и сливаются друг с другом, уменьшая тем самым свободную энергию системы. Сложный комплекс процессов, происходящих при формировании СКМ в условиях высокоэнергетического индукционного нагрева, можно разделить на следующие этапы:

- нагрев компонента основы до температуры плавления флюсовой части шихты;
- расплавление флюсов;
- нагрев и расплавление металлической части шихты;
- взаимодействие компонента основы, флюсов и расплава металлического порошка между собой;
- формирование слоя из жидкого металла в период кристаллизации;
- охлаждение в верхнем интервале температур, сопровождаемое диффузионными процессами;
- охлаждение в нижнем интервале температур, когда диффузионные процессы полностью приостановлены.

Основные закономерности, характеризующие направление физико-химических процессов каждой стадии, во многом схожи с аналогичными закономерностями при газоплазменном или электродуговом методе [9].

2.2 Технология получения слоистых композиционных материалов

Экспериментальное оборудование и оснастка. Получение экспериментальных образцов слоистого композиционного материала осуществляли при помощи высокочастотной индукционной установки типа УВГ 2-25, с генератором ГНОМ-25М1, разработанного в ЦКБ «Геофизика» г. Красноярска (рис. 2). Данный генератор позволяет в значительной степени уменьшить количество возможных негативных факторов которые могут возникнуть при использовании данного метода.

Генератор установки УВГ 2-25 питается от обычной трехфазной сети 380/220 В, с частотой 50 Гц и полностью выполнен на полупроводниковых элементах. Генератор достаточно компактен, долговечен и имеет высокий промышленный коэффициент полезного действия. При максимально возможной мощности 25 кВт генератор потребляет не более 30 кВт мощности. Электрическая схема генератора на транзисторах преобразует выходную частоту 50 Гц в рабочие частоты 44 или 66 кГц, питающие индуктор. Генератор снабжен надежной системой ограничения тока, которая предохраняет электронные компоненты от перегрузок исключая при этом выход его из строя.

Габаритные размеры генератора 720×500×470 мм, масса 60 кг. К согласующему устройству генератор подсоединяется гибким кабелем, а к системе охлаждения – водоохлаждающими шлангами. Охлаждение осуществляется обычной проточной водой с давлением на выходе 2–5 атм. И расходом не более 10 л/мин. При отсутствии воды может использоваться автономная емкость жидкостного охлаждения, обеспечивающая замкнутый круг циркуляции охлаждающей жидкости.



a

б

Рисунок 2 – Установка УВГ 2-25:

a – индукционный генератор ГНОМ-25М1; *б* – выносной нагрузочный контур

Конструкция индуктора представляет собой четырех витковую спираль с ферритовым концентратором внутри (рис. 3).

Вертикальное и горизонтальное перемещение детали относительно индуктора осуществляется при помощи стола (рис. 4). Вертикальное перемещение стола обеспечивается при помощи рукоятки 13 и ходового винта 10, которые приводят в действие рычаги 3 и 4, обеспечивая перемещение в вертикальном направлении среднестола 1. На средний стол, крепится ходовая гайка 8 с ползуном 7. Ползун приводится в действие при помощи рукоятки 12 и ходового винта 11, перемещая при этом, в горизонтальном направлении, стол 6.

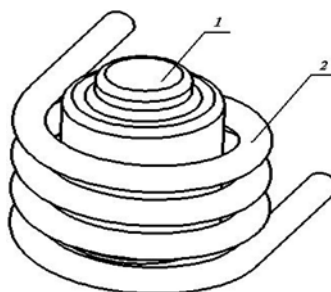
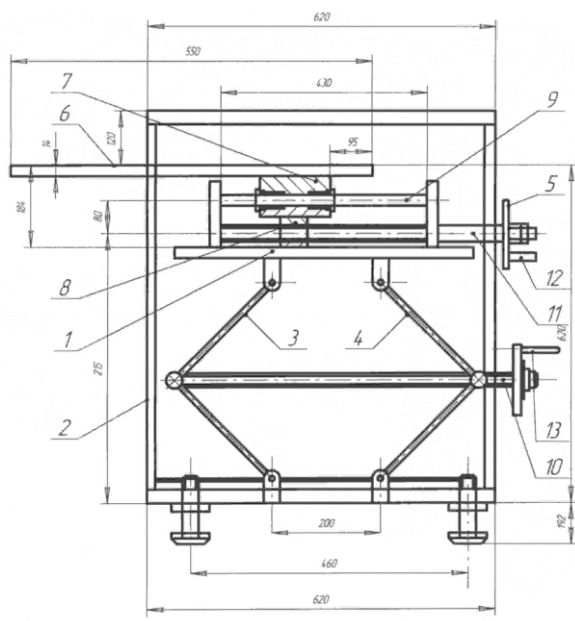


Рисунок 3 – Витковый индуктор с ферритным сердечником:

1 – водоохлаждаемая кварцевая колба с ферритным сердечником;

2 – витковый индуктор.



- 1 – стол средний;
- 2 – каркас;
- 3, 4 – рычаг;
- 5 – колонка;
- 6 – стол верхний;
- 7 – ползун;
- 8 – гайка ходовая;
- 9 – направляющая;
- 10, 11 – винт ходовой;
- 12, 13 – рукоятка

Рисунок 4– Стол для вертикального и горизонтального перемещения детали

Шихта наносится на поверхность компонента основы в виде порошка равномерным слоем либо при помощи дозатора, либо выравниванием при помощи лопатки до нужной высоты. Отсутствие ферромагнитных свойств применяемого металлического порошка позволяет упростить технологический процесс получения СКМ, отпадает необходимость предварительного брикетирования порошка с целью устранения электромагнитного взаимодействия порошков синдуктором.

Технология проведения наплавки. Создание гетерогенных металлических материалов с заданным комплексом физико-механических свойств может быть реализовано только лишь с помощью применению комплексного подхода, сочетающего получение определенного химического состава, технологию получения и упрочняющую обработку. В результате этого возможно получение требуемого фазового состава и определенного структурного состояния слоистых материалов. Свойства сплавов определяются не только химическим составом и микроструктурой, но и в значительной степени типом, размерами, формой и характером распределения фаз различной природы и происхождения.

Применение технологий, предусматривающих высокоэнергетическое воздействие в процессе структурообразования, позволяет управлять макро- и

микроструктурой, прочностными и эксплуатационными характеристиками изделий различного назначения. Современное представление об эффективном управлении свойствами материалов основывается на возможности создания условий, которые могут радикально влиять на процессы самоорганизации структур[41].

Выбор режимов проведения наплавки. От правильно выбранного режима проведения индукционной наплавки зависит получаемая структура наплавленного металла, конфигурация наплавленного слоя и, в конечном итоге, свойства наплавленной детали [41].

Продолжительность наплавки является основным параметром, определяющим не только качество и свойства наплавленного слоя, но и производительность и экономичность процесса. Скорость проведения наплавки определяется частотой тока, мощностью высокочастотной установки, толщиной наплавленного слоя и физическими свойствами наплавленного шихты.

При проведении наплавки необходимо достигнуть минимального перегрева основного металла. Слои порошковой шихты имеют очень низкий коэффициент теплопередачи, поэтому для достижения температуры плавления в верхних слоях шихты потребуется тем больше времени, чем толще слой присадочного материала.

Необходимо учитывать факторы, определяющие условия нагрева при изучении процессов, происходящих при нагреве и плавлении порошковой шихты. Прежде всего, следует оценить влияние частоты тока на кинетику разогрева и плавления отдельных частиц. Известно[42, 43], что с увеличением частоты тока растут энергетические показатели нагрева, но происходит уменьшение толщины скин-слоя, величина которого определяется по формуле 1:

$$\Delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu\mu_0}}, \text{ м} \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота генератора,

μ – магнитная проницаемость вещества,

μ_0 – магнитная постоянная,

ρ – удельное сопротивление вещества.

Оценка толщины скин-слоя (материал – Сормайт, частота $f=100$ кГц, для парамагнетиков $\mu = 1$, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Ф/м, $\rho = 10^{-8}$ Ом/м) дает величину приблизительно 500 мкм, что сравнимо с средним размером частиц порошка, используемого для наплавки. Следовательно, в этом случае частицы среднего размера приблизительно 200 мкм прогреваются равномерно. В свою очередь, ферромагнитная подложка, на которую производится наплавка, прогревается намного интенсивнее, причем толщина скин-слоя подложки составляет около 16 мкм вплоть до перехода материала подложки в парамагнитное состояние. Такое поведение подложки может являться одним из способов регулирования процесса наплавки.

Сначала происходит быстрый разогрев подложки, т. к. поглощаемая мощность пропорциональна $\sqrt{\rho\mu}$,

где ρ – удельное сопротивление материала подложки,

μ – его магнитная проницаемость.

Глубина проникновения тока δ_n на частоте 10^5 Гц при комнатной температуре подложки составляет δ_n примерно 0,06 мм. По мере разогрева подложки эта величина растет как за счет увеличения удельного сопротивления, так и за счет уменьшения магнитной проницаемости материала подложки. При температуре 1300 °С глубина проникновения равна δ_n примерно 1,8 мм [44, 45].

При этом слой порошка Сормайта греется мало, т.к. частицы порошка электрически изолированы друг от друга оксидным слоем на их поверхности и слоем флюса. Вследствие этого каждая частица греется независимо от других,

глубина проникновения волны в сормайт составляет при комнатной температуре $\delta_c \sim 0,16$ мм, что совпадает с средним размером частиц порошка.

Если магнитоанизотропный материал поместить в магнитное поле, то химический потенциал атомов в зерне будет зависеть, кроме обычных скалярных параметров, еще и от ориентации зерна в магнитном поле, также следует учитывать энергетическое состояние поверхности частицы. Частицы наплавляемого сплава имеют небольшие размеры, не превышающих 200 мкм, т.е., достаточно большое количество атомов находится на ее поверхности, и имеют химический потенциал, отличный от потенциала атомов, находящихся на некотором удалении от поверхности. За счет повышенного термодинамического потенциала поверхности частицы начало ее оплавления возможно при температурах несколько меньших, чем требуется для расплавления всего объема частицы. Важно отметить, что такой процесс может протекать в условиях равновесной термодинамики т.к. следует учитывать, что плавление носит диффузионный характер, и для его осуществления необходимо определенное время.

Для ориентировочного определения оптимальной продолжительности наплавки в зависимости от требуемой толщины наплавляемого слоя можно воспользоваться данными, представленными на рисунке 5.

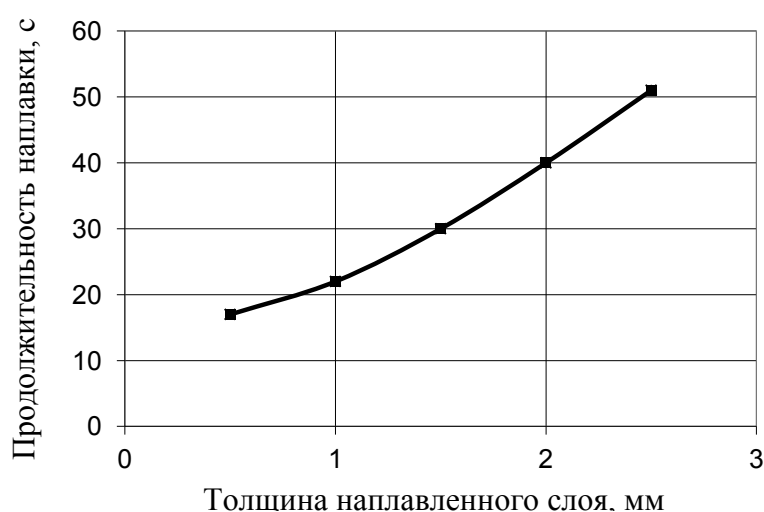


Рисунок 5 – Продолжительность наплавки в зависимости от толщины наплавленного слоя

Оптимальные режимы наплавки для данного генератора не определены, поэтому для решения данной задачи, наплавку производили при постоянной толщине соскоростью от 5 до 8 м/ч, дальнейшее исследование которых позволило определить оптимальные режимы проведения наплавки.

2.3 Технология проведения наплавки на установке УВГ 2-25

1 Подготовка шихтовых материалов. На этом этапе производится составление шихтового материала в соответствии со строгой пропорции, при помощи весового или дозирующего оборудования. После чего осуществляется смешивание компонентов шихты в специальных смесителях пальцевого типа, либо вручную, для достижения как можно большей степени однородности. Полученная шихта обладает парамагнитными свойствами, производить брикетирование полученного наплавочного материала или его защиту от электромагнитных полей индуктора не нужно.

2 Подготовка подложки под наплавку. Подложки для проведения наплавки представляли собой пластины размером 100×200×10мм. С целью определения влияния качества подготовленной поверхности на качество наплавленного слоя и зоны сплавления, были использованы пластины с различным способом подготовки:

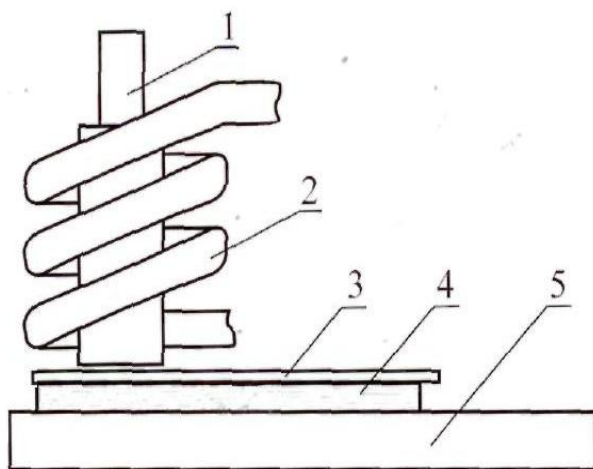
- механически не обработанные пластины с наличием ржавчины и других загрязнений;
- механически обработанные, без наличия загрязнений, жировых пленок и ржавчины;
- механически обработанная поверхность на фрезерном станке с шагом 3,0×1,0 и 4,0×1,5мм.

3 Подбор флюса. Для получения наплавленного слоя с качественной зоной сплавления и максимальным сохранением химического состава исходного материала, необходимо правильно определить состав количество флюса добавляемо-

го в шихту. Проведение наплавки содержанием флюса в количестве 15 %, 20 %, 25 % и 30 % позволило правильно определить это соотношение.

4 Метод двойной наплавки. После наплавления первого слоя и удаления шлаковой корки, наплавлялся второй слой. Толщина наплавления второго слоя и состав шихты аналогичны первому.

5 Индукционный нагрев образца. На поверхность пластины наносился слой шихты при помощи дозатора или вручную, с последующим выравниванием при помощи лопатки, толщиной 1,5–10,0 мм. После нанесения шихтового материала, наплавляемый образец подводился под индуктор таким образом, чтобы зазор между плоскостью индуктора и наплавляемой шихтой составлял приблизительно 5–7 мм (рисунок. 6), и включался индукционный генератор. Скорость нагрева составляла около 1000 град/с, скорость перемещения наплавляемого образца варьировалась от 5 до 8 м/ч.



- 1 – ферритный сердечник;
- 2 – витковый индуктор;
- 3 – наплавляемая шихта;
- 4 – металлическая подложка в форме пластины;
- 5 – стол

Рисунок 6 – Схема наплавки пластины на установке УВГ 2-25:

Для проведения исследования были отобраны образцы, полученные при спекании в различных технологических режимах, различной толщиной наплавляемого слоя, а также разным качеством подготовленной поверхности, и образцы, наплавленные методом двойной наплавки.

2.4 Методы проведения исследований и применяемое научное оборудование

Полученные экспериментальные образцы СКМ, для проведения экспериментальных исследований подвергались механической обработке для достижения необходимых размеров.

В представленной работе были проведены следующие исследования полученных образцов СКМ:

– металлографические исследования, с применением оптической микроскопии при помощи микроскопа (*Carl Zeiss Axio Vision*,) так же с применением растровых электронных микроскопов ("*HITACHI TM-1000*", *РЭМ-100У* и *JEOL JSM 7001F*);

– энергодисперсионный анализ и химический анализ применением растрового электронного микроскопа (*JEOL JSM 7001F*) оснащенного энергодисперсионным спектрометром фирмы (*Oxford Instruments*);

– анализ твердости с применением прибора (*ТК-2М*) по методу Роквелла в соответствии с ГОСТ 2999-75[46];

– анализ на микротвердость с применением (*ПМТ-3М*) в соответствии с ГОСТ 9450-76[47];

– рентгенофазовые исследования с применением (дифрактометр *T8-ADVANCE*);

– испытания на износ по методу сухого трения с применением абразивного материала ГОСТ 5009-82[48];

– анализ карбидной фазы методом количественной металлографии в ПЭВМ с использованием программной среды *SIAMS-600*.

Выводы

1. В качестве экспериментального оборудования для получения слоистых композиционных материалов, была выбрана установка УВГ 2-25, кроме того, осуществлен выбор соответствующей оснастки, применительной для данного оборудования, с целью обеспечения требований по креплению и перемещению изделия.

2. На основании выбранных материалов и оборудования, была разработана технология получения слоистых композиционных материалов, учитывающая особенности протекающих процессов, при индукционном нагреве, а также последующем плавлении и кристаллизации получаемого слоя.

3. Выбраны необходимое оборудование и методы проведения исследований экспериментально полученных образцов.

3. Экспериментальные исследования

3.1 Влияние скорости нагрева и охлаждения на структурообразование износостойких композиционных материалов

Закономерности формирования структуры наплавленного слоя определяются скоростями нагрева и охлаждения. Проведенные металлографические исследования показали, что скорость наплавки влияет на дисперсность и распределение фаз в структуре наплавленного слоя (рисунок. 7, 8). Увеличение скорости наплавки до 7,5 м/ч, способствует формированию более дисперсной структуры наплавленного слоя, получение которой характерно при высоких скоростях охлаждения и реализации наплавки с частичным растворением карбидов в жидкой фазе. Высокодисперсное строение структуры повышает износостойкость при абразивном износе. Полученная микроструктура имеет строение близкое к структуре исходного металлического порошка (рисунок. 9).

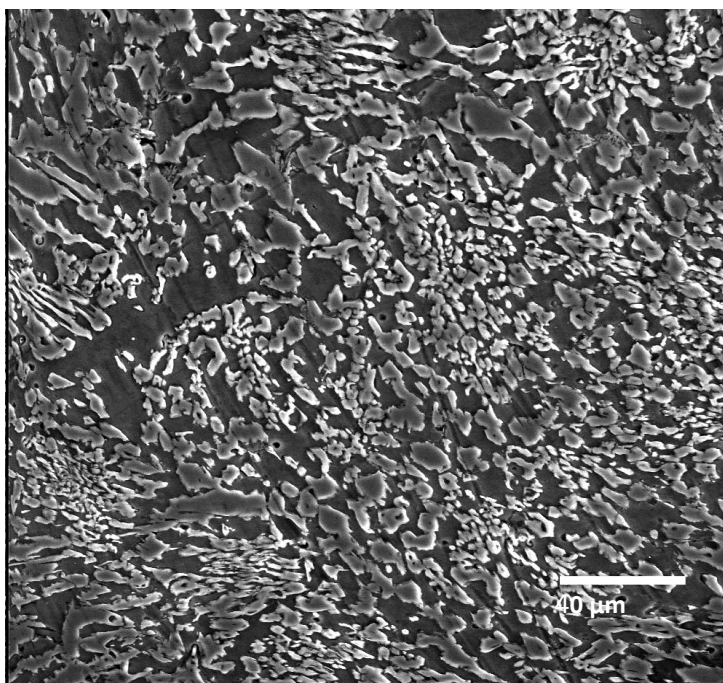


Рисунок 7 – Микроструктура наплавленного слоя со скоростью 7,5 м/ч

Снижение скорости наплавки до 5 м/ч, приводит к большему прогреву компонента подложки и полному растворению карбидов в жидкой фазе, скорость охлаждения снижается. Формирующаяся структура характеризуется увеличением метастабильного аустенита и огрублением карбидной фазы.

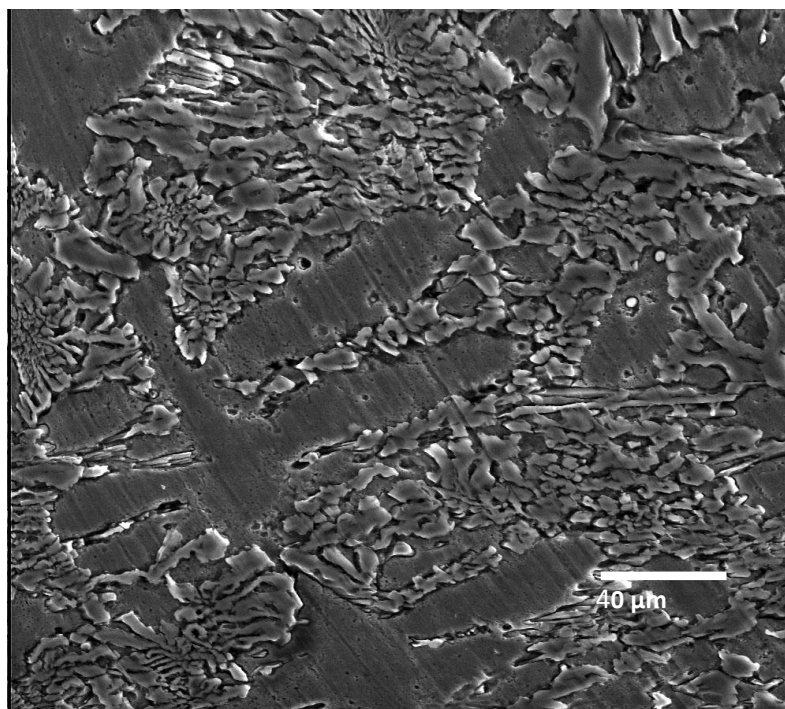


Рисунок 8 – Микроструктура наплавленного слоя со скоростью 5 м/ч

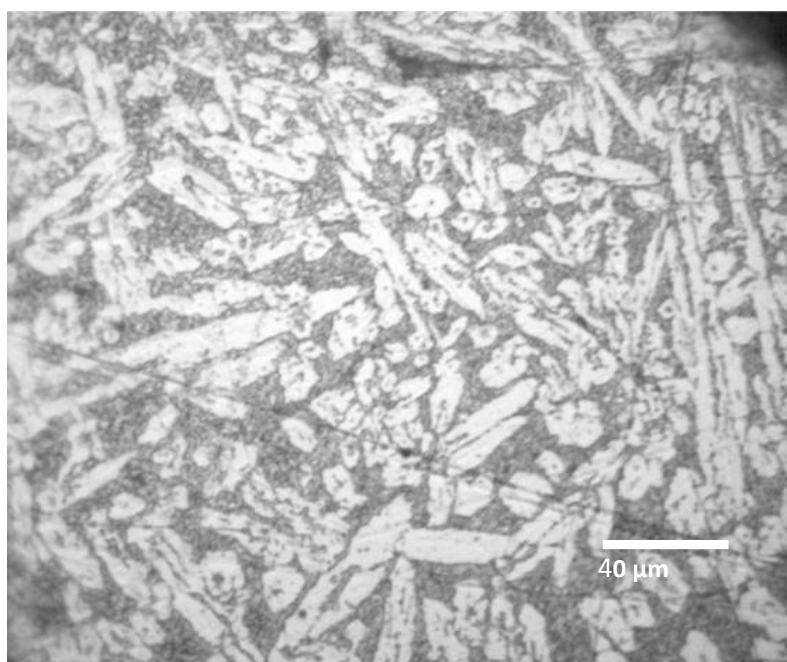


Рисунок 9 – Микроструктура частицы сормита

Применение таких режимов для получения слоистых композиционных материалов, способствует повышению износостойкости при условии ударно-абразивного износа.

3.2 Влияние на структурообразование износостойких композиционных материалов толщины наплавляемого слоя

Увеличение толщины наплавляемого слоя требует большего времени воздействия высокоэнергетического индукционного нагрева, что приводит к снижению скорости наплавки. В этом случае часть расплавленного сплава находится какое-то время в контакте с подложкой, что вызывает ее разогрев. После прохождения индуктором зоны наплавки скорость охлаждения снижается, что приводит к формированию крупных карбидов.

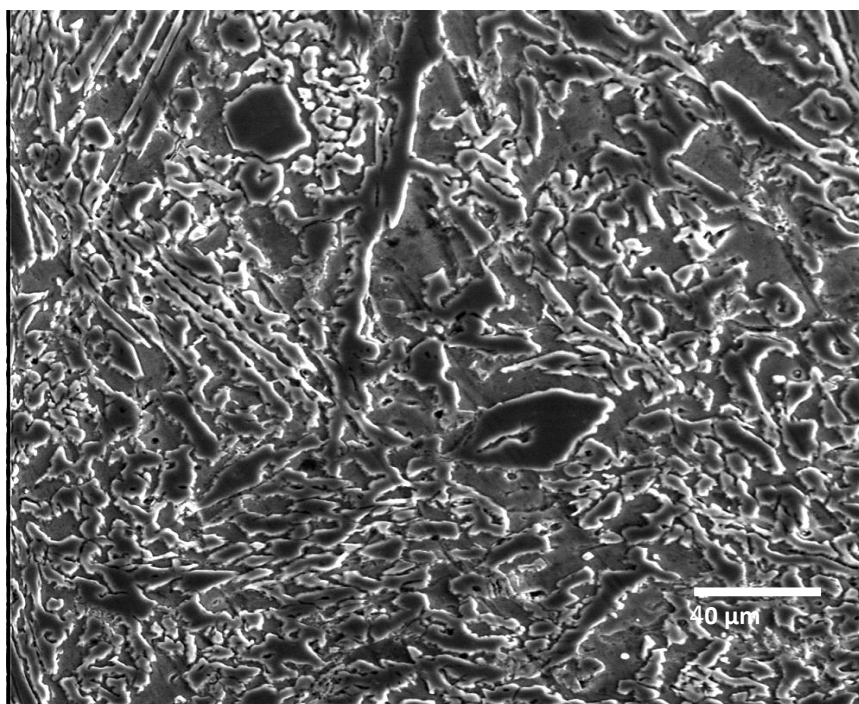


Рисунок 10– Структура слоя толщиной 2 мм. Расстояние от поверхности 0,5 мм

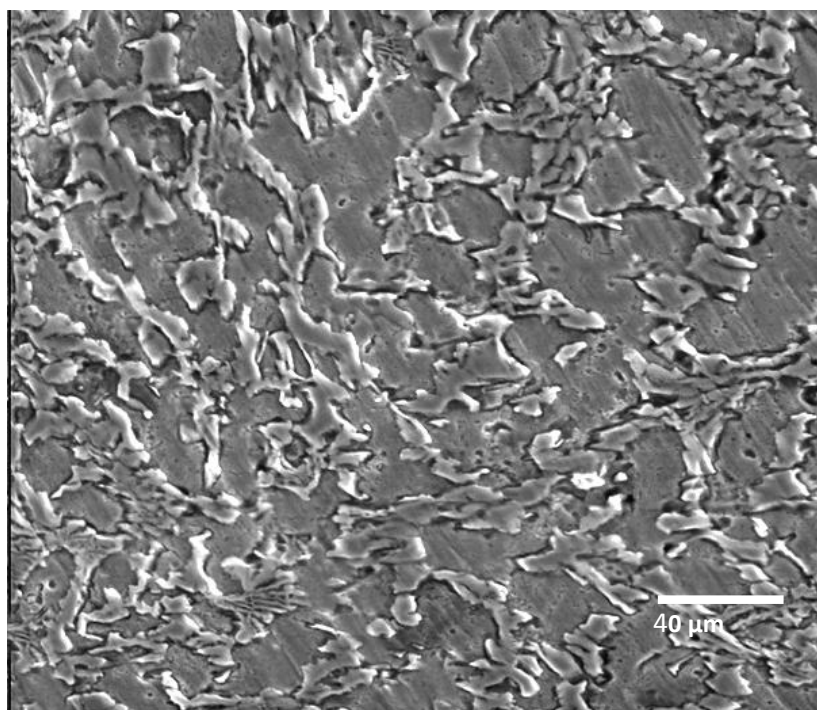


Рисунок 11 – Структура слоя толщиной 4 мм. Расстояние от поверхности 0,5 мм

Для проведения анализа на твердость и микротвердость были отобраны образцы, наплавленные при различных скоростях и с разной толщиной слоя. Применение анализа на твердость обусловлено тем, что твердость является одним из возможных критериев оценки износостойкости в лабораторных условиях, которая в свою очередь является основным свойством, определяющим ресурс и условия эксплуатации рабочих органов горнодобывающей и строительной дорожной техники.

Результаты, представленные в таблице 3, были получены с применением образцов наплавленных на механически обработанную поверхность и ограничены максимальной скоростью наплавки, позволяющей получать слоистые композиционные материалы, граница раздела которых не имеет дефектных участков.

Таблица 3 – Зависимость изменения твердости от скорости проведения наплавки и толщины наплавленного слоя

Скорость, м/ч.	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Толщина слоя, мм	Твердость, НСС							
0,5	–	–	–	–	55	56	57	58
1,0	–	–	–	53	55	56	57	–
1,5	–	–	51	52	54	56	–	–
2,0	–	47	49	51	54	–	–	–
3,0	43	45	48	51	–	–	–	–
4,0	42	44	47	–	–	–	–	–
4,5	41	43	45	–	–	–	–	–
5,0	41	43	–	–	–	–	–	–
5,5	40	42	–	–	–	–	–	–
6,0	40	–	–	–	–	–	–	–

По полученным результатам анализа твердости наплавленных образцов, построен график изменения твердости в зависимости от скорости наплавки при различной толщине слоя (рисунок 12), который показывает, что с увеличением скорости наплавки твердость наплавленного слоя увеличивается.

Полученные данные показывают, что увеличение толщины наплаваемого слоя, способствует снижению твердости. Такое изменение твердости объясняется увеличением прогрева компонента основы и уменьшением скорости кристаллизации наплаваемого металла, что приводит к увеличению размеров карбидной фазы

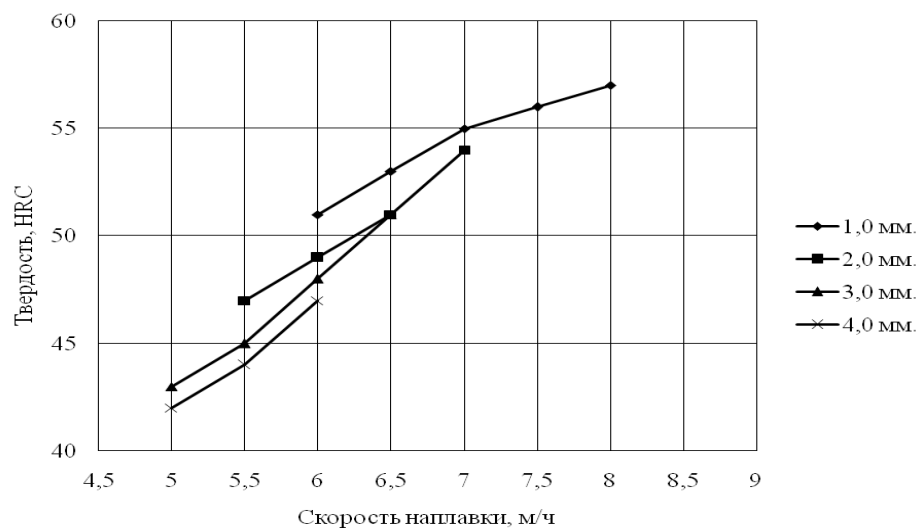


Рисунок 12 – График изменения твердости, в зависимости от скорости проведения наплавки, при различной толщине слоя

Анализ изменения твердости, с учетом результатов металлографических исследований, позволил определить оптимальную скорость проведения наплавки для получения слоистого композиционного материала с образованием без дефектной границы раздела и получения максимальной твердости. Для определения оптимальной скорости наплавки в зависимости от требуемой толщины наплавляемого слоя и получения максимальной твердости были построены соответствующие графики (рисунок 13, 14).

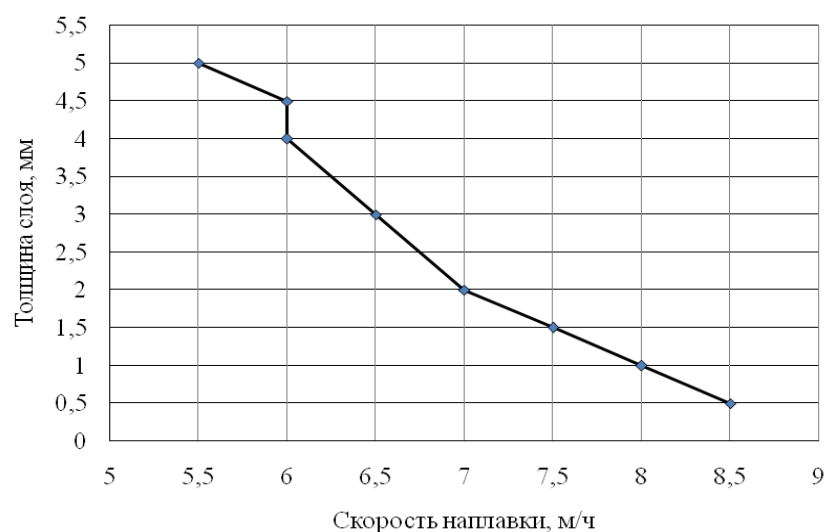


Рисунок 13 – Зависимость скорости наплавки от толщины наплавляемого слоя

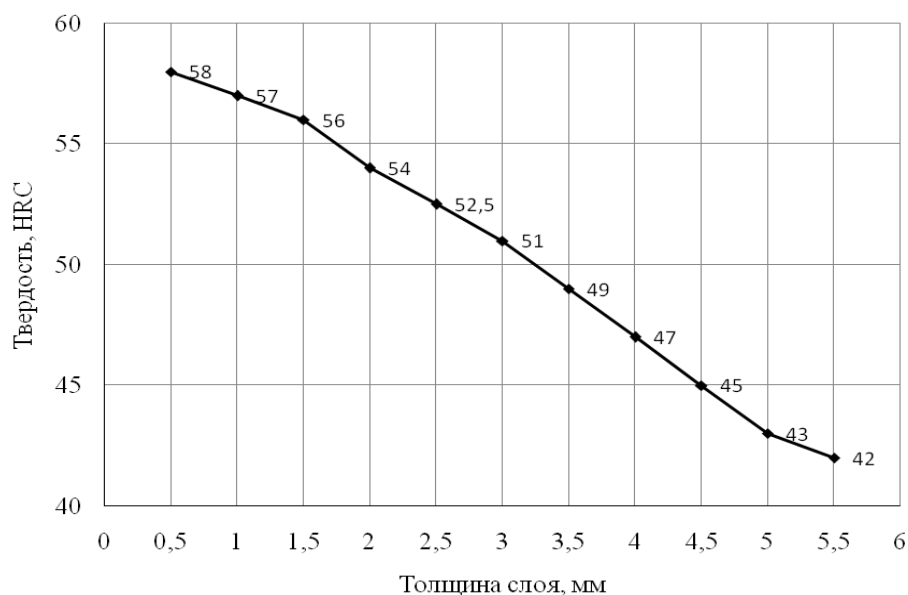


Рисунок 14 – Зависимость твердости от толщины наплавленного слоя

Слоистые композиционные материалы, полученные с применением наплавляемой шихты, состоящей из металлического порошка сормайт и флюса АН-20, показали эффективность применения при толщинах наплавляемого слоя в пределах до 3 мм. Увеличение толщины наплавляемого слоя приводит к увеличению времени воздействия высокоэнергетического индукционного нагрева, и, как следствие, приводит к большему прогреву металла подложки и снижению скорости охлаждения наплавляемого слоя. Снижение скорости охлаждения приводит к увеличению размера карбидной фазы, снижению твердости (смотри рисунок.14) и износостойкости СКМ в условиях абразивного износа [44].

3.3 Влияние введения графита на структуру и свойства слоистого композиционного материала

С целью повышения твердости наплавленного слоя, и как следствие, износостойкости слоистого композиционного материала в условиях абразивного износа было предложено ввести в состав наплавляемой шихты, состоящей из металлического порошка марки ПГС-27 и флюса АН-20, графитовый порошок марки ГТ-1 ГОСТ 17022-81 [49].

Введение графита в состав наплавляемой шихты обеспечит формирование в структуре наплавляемого слоя формирования большего количества карбидной фазы, при одновременном уменьшении объемной доли аустенита.

Графитовый порошок был получен путем механического дробления с последующим просеиванием через сито с размером ячейки 500 мкм. Анализ графитового порошка показал, что размер гранул находится в пределах 50–100мкм.

Для получения экспериментальных образцов СКМ была использована наплавочная шихта с различным содержанием графитового порошка. Составы наплавляемой шихты, примененные для получения экспериментальных образцов, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав наплавляемой шихты

Состав наплавляемой шихты, %		
ПГС-27	Графит	Флюс АН-20
72	3	25
70	5	25
68	7	25

Проведенные металлографические исследования полученных экспериментальных образцов слоистого композиционного материала позволили установить, что вокруг первичных карбидов, имеющих тригональную форму, формируются структурные колонии карбидной фазы, имеющие ланцетовидную форму, которые отсутствуют в образцах, наплавленных без введения графита рисунок 15.

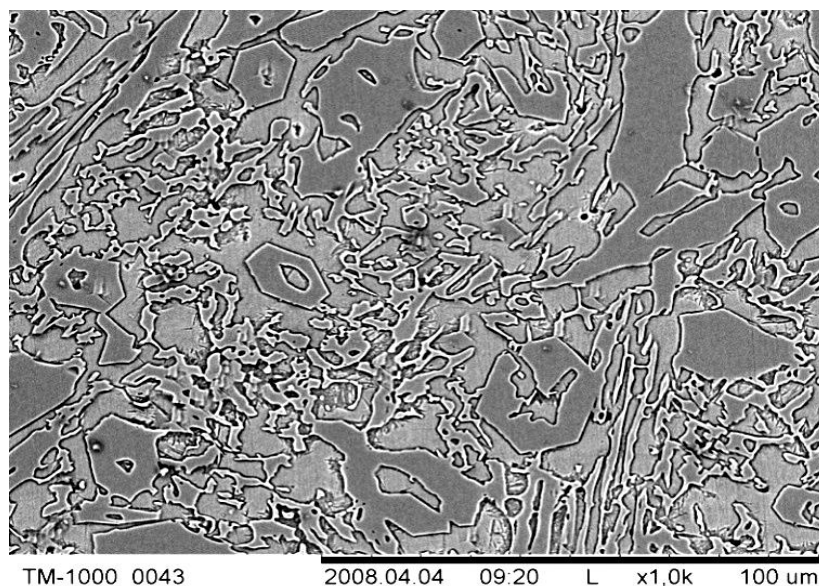


Рисунок 15 – Структура наплавленного слоя без графита

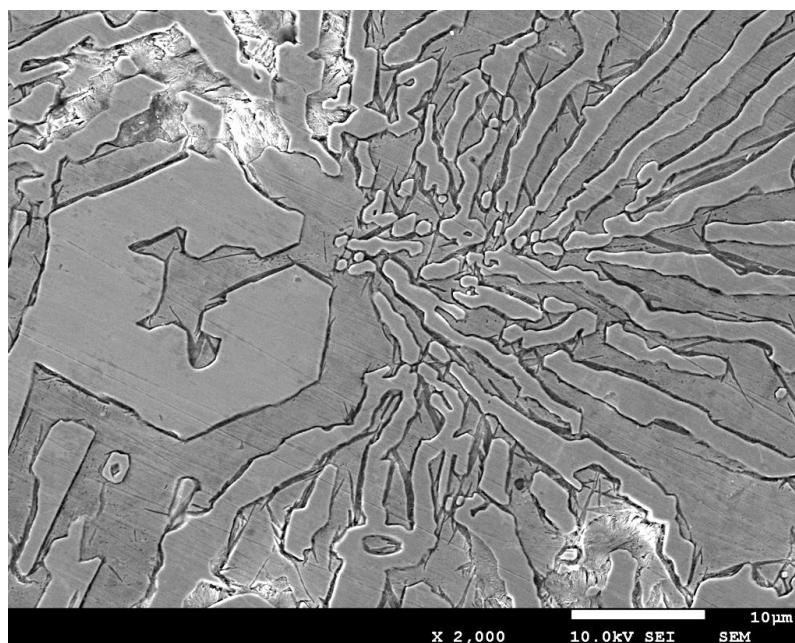


Рисунок 16 – Структура наплавленного слоя с введением графита

Формирование колонии карбидной фазы косвенно свидетельствует, об увеличении её доли в общем объеме.

Проведенный энергодисперсионный анализ наплавленного слоя экспериментальных образцов, дает возможность установить изменение химического состава фаз в исследуемой структуре. Полученные результаты исследования позволяют отчетливо наблюдать резкое снижение содержания хрома в 2 и 4 спектрах отсутствие никеля в 1, 3 и 5 спектрах (рисунок 17,18). Так как хром явля-

ется карбидообразующим элементом, а никель подавляет полиморфное превращение и способствует аустенизации стали, такое изменение химического состава позволяет предположить, что структура наплавленного слоя состоит из аустенита и карбидов.

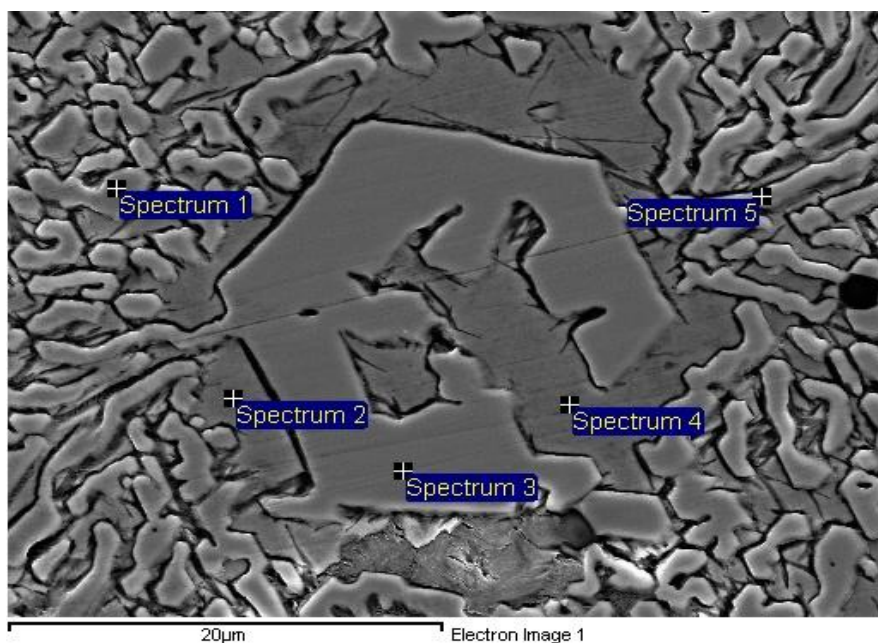


Рисунок 17 – Структура наплавленного слоя с графитом

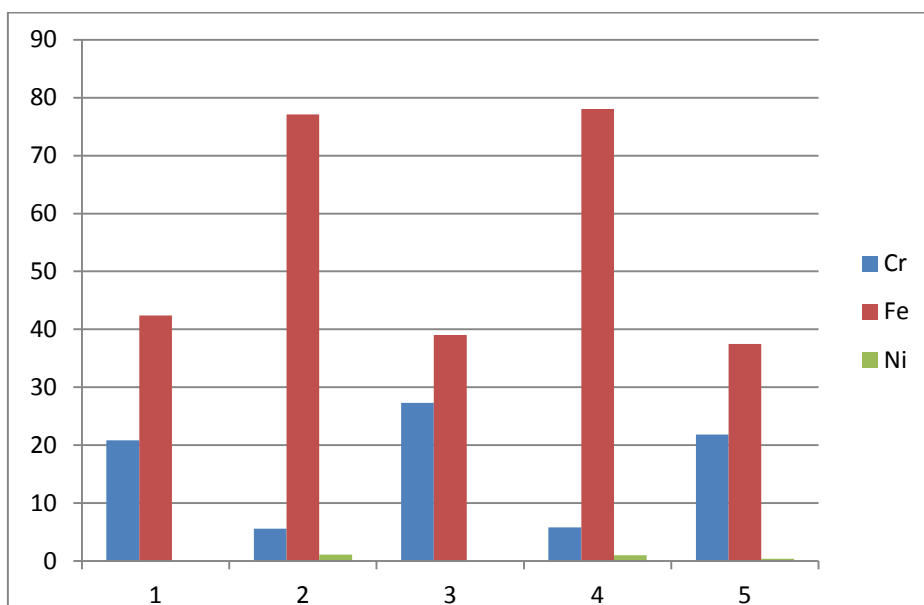


Рисунок 18 – Химический состав фаз в указанных спектрах

Введение графита в состав наплавляемой шихты способствует увеличению содержания углерода в структуре наплавленного слоя. Согласно диаграмме же-

лезо-хром-углерод (рисунок 19) повышение содержания углерода до 4%, при концентрации хрома 30% способствует образованию карбидной фазой типа $(Fe,Cr)_3C$.

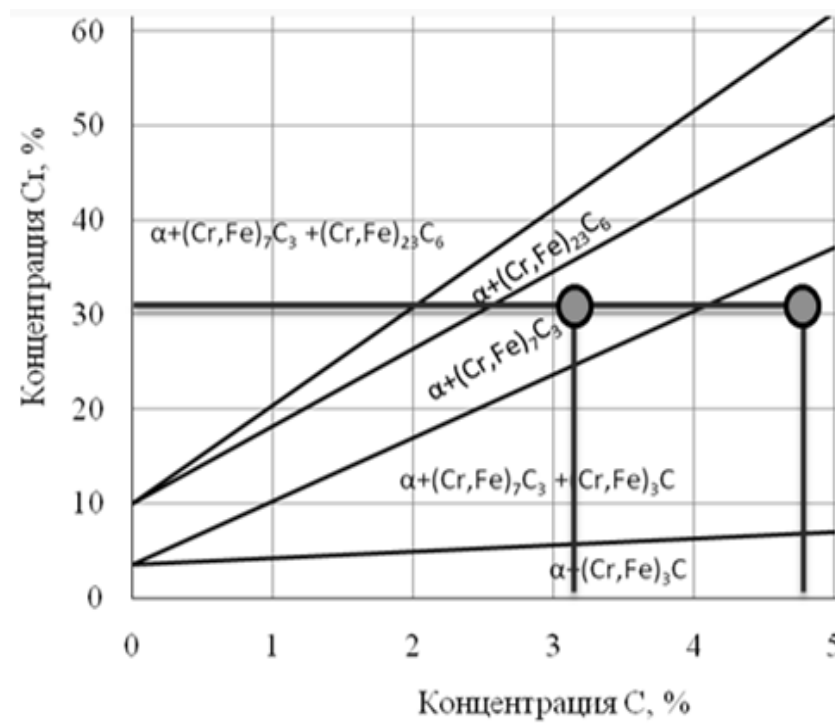


Рисунок 19 Диаграмма железо–хром–углерод

Проведенные рентгено-фазовые исследования показали наличие нескольких пиков интенсивности (рисунок 20). Их анализ свидетельствует о наличии в структуре наплавленного слоя слоистого композиционного материала легированного никелем и хромом аустенита карбидов типа $(Cr,Fe)_7C_3$, и карбидной фазы, которая отсутствует в структуре наплавленного слоя полученного без добавления графита, $(Fe,Cr)_3C$.

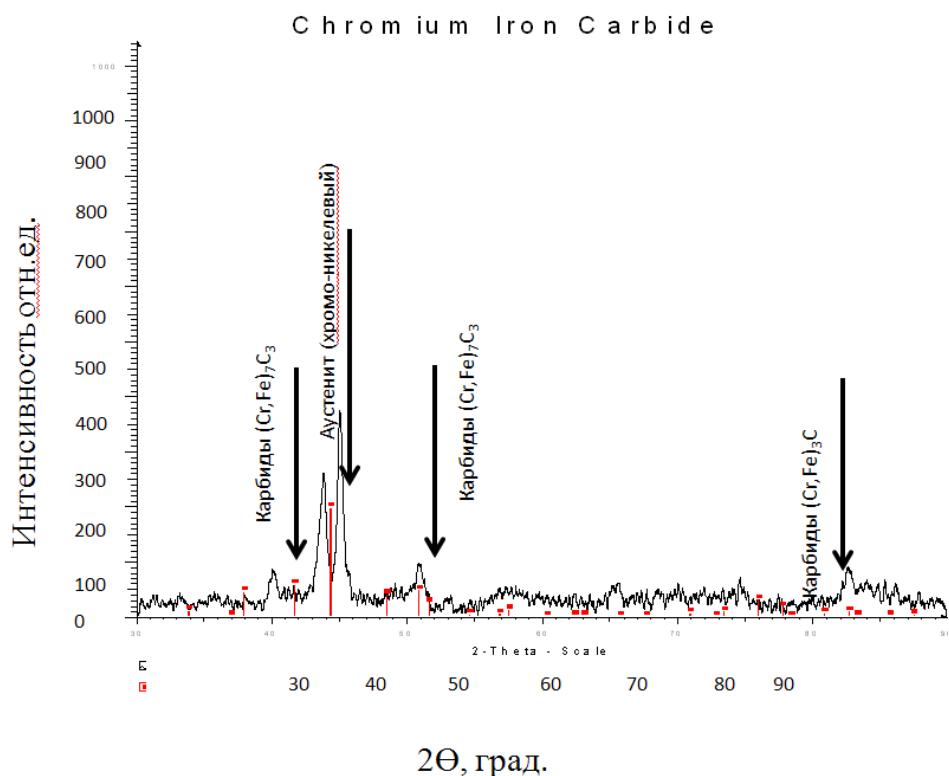


Рисунок 20 – Рентгено-фазовые исследования

Полученные результаты исследования показали, что введение графита приводит к образованию в структуре наплавленного слоя карбидной фазы типа $(Fe, Cr)_3C$.

Проведенный анализ твердости полученных образцов (рисунок 21) показывает, что при увеличении количества графита введенного в состав наплавляемой шихты, твердость возрастает. Такое увеличение твердости объясняется увеличением количества карбидной фазы в структуре наплавленного слоя и образованием карбидов типа $(Fe, Cr)_3C$.

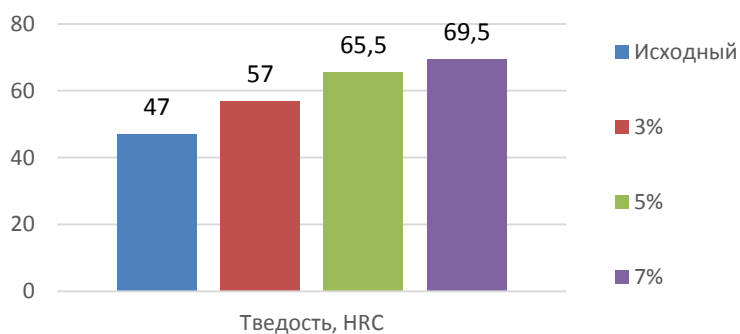


Рисунок 21 – Увеличение твердости при увеличении количества углерода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что введение графита в состав наплавляемой шихты способствует повышению твердости наплавленного слоя за счет образования дополнительных карбидов типа $(Fe,Cr)_3C$.

Повышение твердости, за счет введения графита, позволяет получать слоистые композиционные материалы, применяемые в условиях абразивного износа с большей толщиной наплавленного слоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гольдштейн Я. Е., Гольдштейн В. А. Металлургические аспекты повышения долговечности деталей машин/ Челябинск Металл 1995, 512 с.
- 2 Кусков Ю.М., Скороходов В.Н., и др. Электрошлаковая наплавка / М.: Наука и технологии 2001, 180 с.
- 3 Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление, / М.: Машиностроение, 1985, 240с.
- 4 Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / М.Машиностроение 1987, 187 с.
- 5 Вологдин, В. В. Пайка и наплавка при индукционном нагреве / М.: Машиностроение 1965, 62 с.
- 6 Доценко Н.И. Восстановление автомобильных деталей сваркой и наплавкой/ М.: Транспорт 1972, 351 с.
- 7 Кряжков В.М., Баранов Ю.Н., Буйлов К. Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники механизированной наплавкой с применением упрочняющей технологии / М.: ГОСНИТИ, 1972, 208 с.
- 8 Лившиц Л.Г., Поляченко А.В. Восстановление автотракторных деталей/ М.: Колос 1966, 479 с.
- 9 Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов./ Москва. Машиностроение. 1970, 183с.
- 10 Волоченко В.Н., Ямпольский В.М. Винокуров В.А. и др., Теория сварочных процессов / М.: Высш.шк. 1988, 559с.
- 11 Штенников В.С. Расчет доли участия электродного, порошкообразного и основного металла в наплавленном валике// Сварочное производство— 1986.— №6.—с.22.
- 12 Ерохин А. А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки / М.: Машиностроение 1964, 253 с.
- 13 Штенников В.С. Расчет доли участия электродного, порошкообразного и основного металла в наплавленном валике/ Сварочное производство—1986.—

№6.–с.22.

14 Сараев, Ю. Н. Влияние параметров импульсного процесса электрошлаковой наплавки на структуру и абразивную износостойкость Fe–C–Cr–Mn-покрытий / Ю. Н. Сараев / Сварочное производство – 2005. – №10. – С. 13–17.

15 Вашковец, В.В. Способ восстановления деталей электрошлаковой наплавкой / В. В. Вашковец / Техника машиностроения, 2008. – N 1. – С. 53.

16 Гладкий, П. В. Плазменная наплавка (обзор) / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев / Технология машиностроения, 2007. – № 4. – С. 41–49.

17 Белый А.В., Макушок Е.М., Коболь И.Л. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии / Минск: Наука и техника 1990, 52 с.

18 Лещинский Л.К., Самотугин С.С. Плазменное поверхностное упрочнение / Киев: Наука 1990, 109с.

19 Вайнерман А.С. и др. Плазменная наплавка металлов. / М.: Машиностроение, 1969. – 162с.

20 Комаров А.И., Ходаков В.Д., Зубченко А.С. Влияние параметров режима электродуговой наплавки на геометрические размеры валиков, наплавленных на вертикальную поверхность. / Сварочное производство. – 1981. – №12. – с.31–33.

21 Розенберг М.Г., Поздеев Г.А. Определение основных параметров режимов плазменно-порошковой наплавки. / Сварочное производство – 1989. – 35с

22 Пулька, Ч. В. Влияние режимов индукционной наплавки на структуру и свойства наплавленного металла / Ч. В. Пулька, О. Н. Шаблий, А. С. Письменный // Автоматическая сварка – 2004. №10 – С.19–21.

23 Волошин, В. В. Пайка и наплавка при индукционном нагреве / В. В. Волошин / М. – Л.: Машиностроение 1965, 92 с.

24 Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамунер / Л.: Энергоиздат, 1981, 328с.

25 Немков В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С.

Немков, В.Б. Демидович/ Л.: Энергоиздат 1988,280с.

26 Гринберг Н.А., Арабей А.Б. Износостойкие наплавочные материалы для упрочнения трущихся поверхностей в условиях абразивного и газоабразивного изнашивания// Сварочное производство– 1992. №5 –С.7–9.

27Горбачев П.А., РусинЮ.Г.Исследование физико-механический и эксплуатационных свойств износостойкогосплава ИЧХ15Г4НТ //ВКГТУ, Усть-Каменогорск 2002, 44 с.

28 Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны – эволюция и перспективы // Литейное производство – 2000. – №9.– С. 15–16.

29Бунин К.П. Структура и свойства стали и чугуна / М.: Metallurgy 1970, 144 с.

30Хосен Ри, Ри Э. Х., Тейх. В. А. Влияние легирующих элементов на кристаллизацию, структурообразование и физико-механические свойства белого чугуна / Ри Хосен, Э.Х. Ри, В.А. Тейх. // Литейное производство – 2000, №10. –С. 15–17.

31 Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны / М.: Metallurgy 1983 – 176 с.

32Структура и свойства высокоуглеродистых сплавов на железной основе для наплавки / Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев, В.Г. Васильев и др. // Металловедение и термическая обработка металлов, 2003, №5 – 36–40.

33Портной, К. И. БабичБ. Н.,СветловИ. Л. Композиционные материалы на никелевой основе / М.: Metallurgy 1979– 264 с.

34Шишков М.М. Марочник сталей и сплавов: Справочник. Изд. 3-е дополненное / Донецк: Юго-Восток 2002. – 456 с.

35 ГОСТ 1577-93 Прокат толстолистовой и широкополосный из конструкционной качественной стали. Технические условия – Введ. 01.01.97. Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 19 с.

36Лакедемонский, А. В. Справочник паяльщика / А. В. Лакедемонский, В. Е. Хряпин. / М.: Машиностроение 1967. – 48 с.

37 Потапов, Н. Н. Основы выбора флюсов при сварки сталей / М.: Машиностроение 1979. – 168 с.

38 Мюльбауэр А., Васильев А.С. Краткая история техники индукционного нагрева и плавки // Материалы международной конференции «Актуальные проблемы теории и практики индукционного нагрева». С-Пб 2005, с. 24–43.

39 Кинев Е.С., Головенко Е.А. Математическое моделирование физических процессов при индукционном нагреве / Оптимизация режимов работы электротехнических систем: межвуз. Сб. науч. Тр. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – с. 19–30, Красноярск.

40 Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение / М.-Л.: Энергия 1965, 522с.

41 Кабалдин Ю. Г., Муравьев С. Н. Исследование кристаллизации металлов на основе подходов теории синергетики // Литейное производство. 2008. № 5. С. 2–6.

42 Слухоцкий А. Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева / Л.: Энергия 1974, 264с.

43 Слухоцкий А.Е. Индукторы. / Л.: Машиностроение 1989, 69с.

44 Масанский О.А., Токмин А.М., Теремов С.Г. Исследование структуры и свойств слоя, полученного индукционной наплавкой металлических порошков // Технология машиностроения 2008. – №9, С. 15–18.

45 Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Ч.2. Теория электромагнитных явлений в веществе / Москва-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотичная динамика 2005, 848с.

46 ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу – Введ. 01.07.76. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 31 с.

47 ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников – Введ. 01.01.77. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1993. – 35 с.

48 ГОСТ 5009-84 Шкурка шлифовальная тканевая. Технические условия

– Введ. 01.01.83. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 2001. – 11 с.

49 ГОСТ 17022-81 Графит. Типы, марки и общие технические требования

– Введ. 01.01.82. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 2010. – 8 с.