

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

(код и наименование направления подготовки)

Сварка и пайка новых металлических и неметаллических неорганических
материалов

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Исследование процессов наплавки алюминидов железа на
высокохромистые стали»

Студент

А.И. Бобровский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Руководитель

к. т. н., профессор А.И. Ковтунов

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

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Применение интерметаллидных сплавов для решения проблем возникающих на производстве	4
2 Свойства сплавов на основе системы Fe-Al.....	8
3 Генерирование покрытий на основе системы железо-алюминий.....	22
3.1 Метод алитирования.....	22
3.2 Метод напыления.....	23
3.3 Метод наплавки.....	24
4 Материалы наплавки.....	29
4.1 Присадочный материал	31
5 Методология изысканий.....	36
5.1. Методология анализа эксплуатационных свойств	36
5.2 Методика исследования механических свойств.....	38
5.3 Методика исследования химических свойств	39
5.4 Способы изысканий при процессах аргонодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом на основе системы железо- алюминий.....	41
6 Результаты проведенных исследований	47
6.1 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СвА5	47
6.2 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СвАК5	58
6.3 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СвАК12	70
7 Сравнение полученных результатов	83
Заключение	92
Список используемых источников.....	94

Введение

Образовывающийся при эксплуатации трубопровода для транспортировки продуктов изобутана (изобутилена) (далее – трубопровод) абразивный износ из-за влияния сверхвысоких температур, высокого давления, а также переменных нагрузок, приводит к повреждениями контактных поверхностей. Данная проблема приводит к повышению затрат предприятия.

В ходе оценки износа трубопровода и анализа производственного цикла можно прийти к выводу о причинах возникновения данной проблемы, а именно недостаточная износостойкость и термостойкость используемого в трубопроводе материала

Исследуя возможные пути решения считаю необходимым отметить наличие большого количества путей решения данной проблемы, в том числе конструктивные и технологические. Считаю одним из самых эффективных способов - технологический (например, нанесение различных типов покрытий на элементы трубопровода, которые позволят повысить его механические свойства).

Данное мероприятие позволит продлить срок эксплуатации из-за увеличения времени разрушения трубопровода под воздействием агрессивной среды, приводящей к возникновению абразивного износа, а также повышению свойств материала к стойкости против агрессивного воздействия окислителей.

Целью данной магистерской диссертации является снижение затрат предприятий путем разработки материала способный увеличить ресурс установки из высоколегированной хромоникелевой стали 12X18H10T, используемой в трубопроводе.

Объектом исследования выбран трубопровод, функционирующий на производстве ООО «СИБУР Тольятти» (далее – Организация).

1 Применение интерметаллидных сплавов для решения проблем возникающих на производстве

Интерметаллидным сплавам можно дать следующую характеристику: это сплавы, с неизменным соотношением компонентов, которые используют в своей основе упорядоченное интерметаллидное соединение.

В интерметаллидных сплавах формируется ковалентная или ионная связи между атомами, что приводит к более лучшим показателям, таким как высокая химическая стойкость, повышенная температура плавления, низкая плотность.

Однако это приводит к повышенной хрупкости, что затрудняет использование интерметаллидных сплавов без улучшения состава, а также ведет к дополнительным исследованиям.

Самыми распространёнными и имеющими большой потенциал являются интерметаллидные сплавы содержащие в своем составе алюминиды титана и никеля или интерметаллиды ниобия. Превосходство интерметаллидных сплавов содержащих в своем составе алюминиды титана и никеля или интерметаллиды ниобия выражается в высоких эксплуатационных характеристиках сравнимых с более дорогими жаропрочными никелевыми сплавами при меньшей стоимости.

Одними из минусов интерметаллидных сплавов содержащих в своем составе алюминиды титана и никеля или интерметаллиды ниобия можно отнести повышенную их хрупкость при комнатных температурах с узким интервалом легирования, что ограничивает их применение.

Так же считаю необходимым отметить, что для повышения технологической пластичности производится улучшения состава указанных сплавов путем формирования оптимальной структуры.

Например, у интерметаллида Ni_3Al содержит в объеме дендритной структуры показатель вязкой γ -фазы, колеблется в диапазоне от 5% до 10% по массе (что является не высоким показателем).

Рассматривая указанную проблематику на конкретных примерах, хотелось бы отметить следующее. Предприятия и организации использующие в своем технологическом процессе углеродные газы применяют для защиты трубопроводов, используемых для транспортировки произведенного газа, метод нанесения интерметаллидных покрытий. Способы нанесения могут различаться на каждом конкретном предприятии или организации и являются индивидуальными для каждого конкретного случая. Анализ нанесения интерметаллидных покрытий среди различных предприятий и организаций позволяет говорить об увеличении в данных случаях срок эксплуатации трубопроводов в 1,5 – 2,0 раза.

Данная проблема является актуальной и для ООО «СИБУР Тольятти» которое столкнулось с подобной проблемой на своих производственных мощностях. Элемент системы трубопроводов для осуществления транспортировки ненасыщенных углеродов из высоколегированной хромоникелевой стали 12X18H10T, находится под безостановочным абразивном износе. (рис. 1.1).

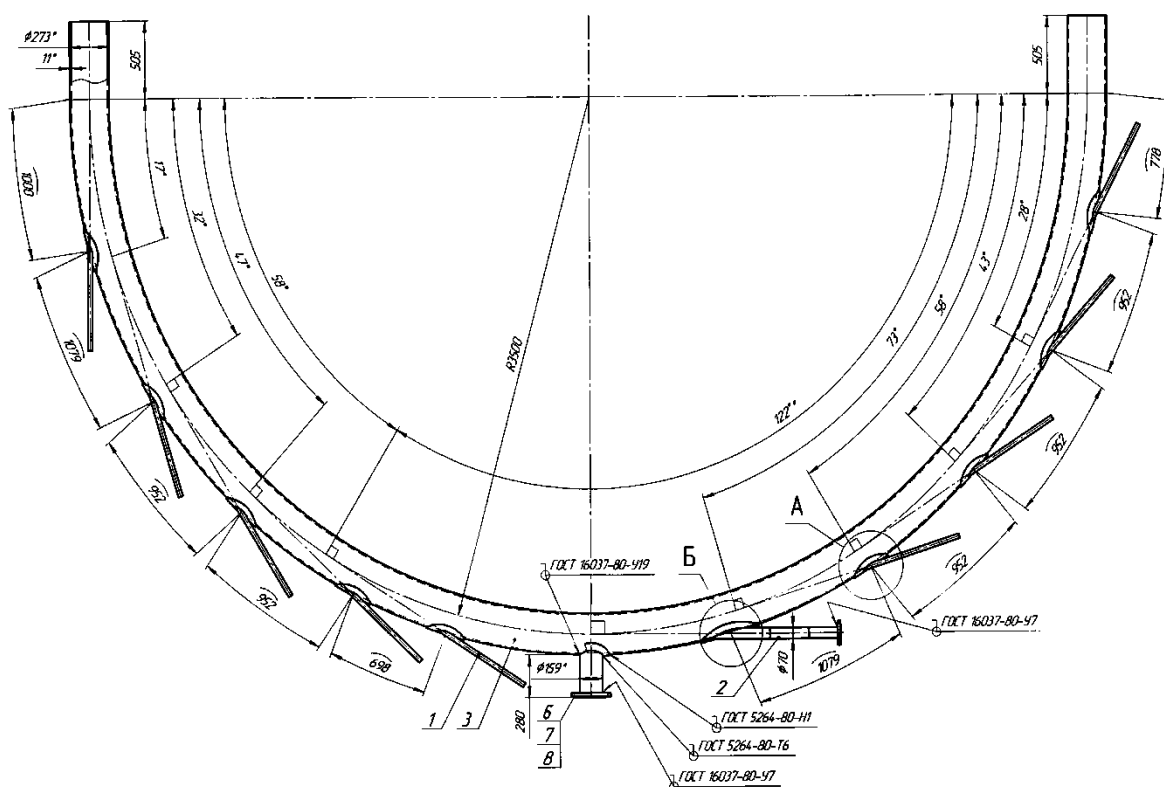


Рисунок 1.1 – Схема трубопровода для транспортировки продуктов изобутана (изобутилена)

Используемые в технологическом процессе сырье транспортируются между катализатором и реактором по трубопроводу. Его транспортировка происходит вместе с разогретым до 400°C восстановленным катализатором. Катализатор поступает в трубопровод через специальный канал из регенератора. В последующем получившуюся смесь транспортируют по трубопроводу дальше в реактор реактору. Данная смесь основанная на горячем катализаторе, а так же парах газа и воды, непосредственно в равной степени заполняется по всему объему трубопровода, что поддерживает постоянно кипящий слой.

Поступающий в реактор катализатор закоксовывается. Далее катализатор отправляется на очистку в регенератор, в котором поддерживается рабочая температура кипящей среды. Образовавшийся кокс подвергается выжиганию воздухом при температурах в диапазоне 580°C - 650°C . Рабочая среда температур регулируется змеевиками пароперегревателя. «Регулирование температуры осуществляется путем отбора избыточного тепла в кипящем слое. Очищенный от кокса катализатор перемещается по трубопроводу в обратном направлении и попадает в реактор».

«Пары углеводородов, образовавшиеся в следствии реакции, а так же водяные пары с частицами катализатора, которые не осели в отстойной зоне реактора, поступает по трубопроводу в циклонные сепараторы. Пары из сепараторов направляют дальше, и в конечном итоге они попадают в ректификационную колонну. В дальнейшем улавливается катализаторная пыль, которая возвращается в кипящий слой». [11]

«Данный производственный цикл характеризуется постоянным воздействием агрессивной среды на материал трубопровода. Рабочая

температура достигает 600° С, максимальное давление достигает 3 кг/см², транспартирующая среда в установке разбавлена азотом и воздухом».

2 Свойства сплавов на основе системы Fe-Al

Внедрение интерметаллидных сплавов системы Fe-Al на базе промышленных предприятий с целью улучшения технологических процессов сейчас нашло широкое применение. Данные мероприятия приводят к инновационной модернизации металлургического производства путем создания новых и совершенствования уже существующих сплавов. Все выше перечисленное может указывать на важность и приоритетность совершенствования технологических процессов с экономической точки зрения.

Рассматривая развитие интерметаллидных сплавов на территории СНГ хотелось бы отметить следующее. «Создание интерметаллидных жаропрочных сплавов на основе интерметаллида Ni₃Al начиная с 80-х годов связано с работами ВИАМ, которым созданы такие сплавы как: ВКНА-2М, ВКНА-1ЛК, ВКНА-4, ВКНА-1В, ВКНА-4У. С начала 2000 годов были созданы такие сплавы, как ВКНА-4УР, ВКНА-1ВР, ВКНА-1ВУ. Например для камеры сгорания в реактивных двигателях стали применять сплав ВКНА-1В, а для створок реактивного сопла - ВКНА-1ВР».

«Также считаю необходимо отметить исследования в данной области зарубежом. Например, в 80-х программа исследований в Oak Ridge National Laboratory (ORLN) основной упор в исследованиях дела на хрупкость интерметаллидных сплавов. Одним из сплавов был интерметаллид Ni₃Al, имеющих предел текучести при повышении температуры до 800 С. Исследования доказали тот факт, что при комнатной температуре монокристаллы Ni₃Al достаточно пластичны, что связано с хрупко разрушающимися поликристаллами. Однако имеется падение пластичности в условиях окислительной атмосферы при средних температурах».

Повышенной пластичностью обладают сплавы субстехиометрического состава (23 до 24 ат. % Al), хотя в стехиометрические и суперстехиометрические сплавы не обладают повышенной пластичностью.

«Исследования ORLN показали, что бор сильно сегрегирован по границам зерна, что приводит к понижению свободной энергии поверхности. Кроме того, повышение содержания хрома до 8% приводит к улучшенному сопротивлению к окислению при высоких температурах. Это происходит из-за формирования оксидной пленки».

Интерметаллидные сплавы используются для наплавки на стальные изделия из углеродистых сталей, применяемых в условиях высоких температур, а также там, где присутствует повышенный абразивный износ. Кроме того, наплавка покрытий на основе системы железо-алюминий на сплавы из высоколегированных хромоникелевых сталей позволит существенно увеличить эксплуатационный срок, при вредных условиях высокого абразивного износа.

Fe и Al образуют твердые растворы, и эвтектику [1, 2]. Показатели твердость интерметаллидных фаз системы железо-алюминий колеблются в пределах от 270 до 1150 кгс/мм².

«Добавление 5% алюминия в стали повышает показатель жаростойкости, вплоть до 800° С, а при повышении содержания Al до 25%, показатели температуры жаростойкости поднимаются до 1100° С и выше» [1].

«На состоянии системы Fe-Al изображенном на диаграмме (рис. 2.1) можно проследить образование следующих химических соединений: FeAl₂ (49,13% Al), FeAl (32,57% Al), Fe₂Al₇ (62,93% Al), FeAl₃ (59,18% Al), Fe₂Al₅ (54,71% Al), и др».

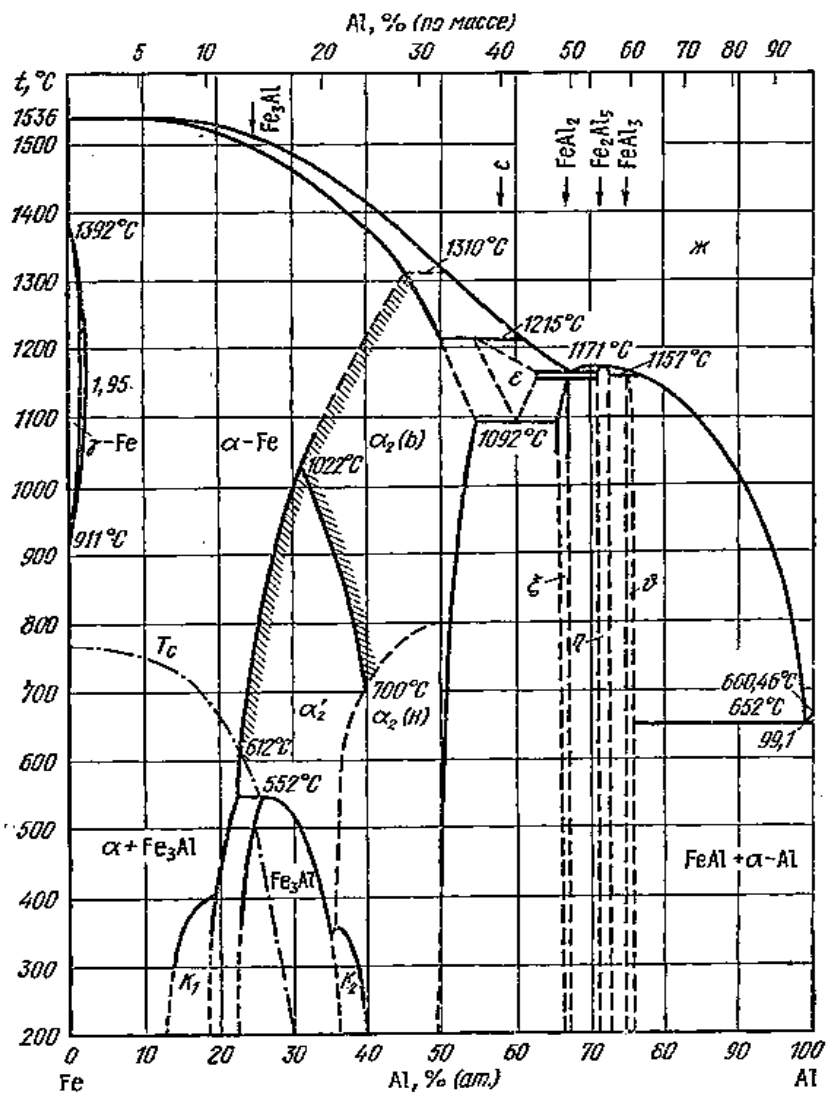


Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния железо-алюминий.

Свойства сплавов системы железо-алюминий, в том числе механические и эксплуатационные, характеризуются наличием железа, содержащимся в алюминии в форме химических соединений. Увеличение концентрации железа ведет к повышению твердости, но приводит в геометрическому снижению показателя пластичности материала (рис. 2.2).

«Механические свойства и эксплуатационные характеристики представленных соединений системы во многом зависят от особенностей кристаллической и электронной структуры. При соотношении валентных электронов и атомов в решетке, равном $3/2$, интерметаллические соединения образуют β -фазы с объемноцентрированной кубической или со сложной кубической структурой. К таким соединениям относится интерметаллид FeAl. Интерметаллические соединения данного типа характеризуются

высокой стойкостью к окислению и газовой коррозии, что позволяет применять сплавы на основе этих интерметаллидов в качестве жаростойких материалов и покрытий»[3].

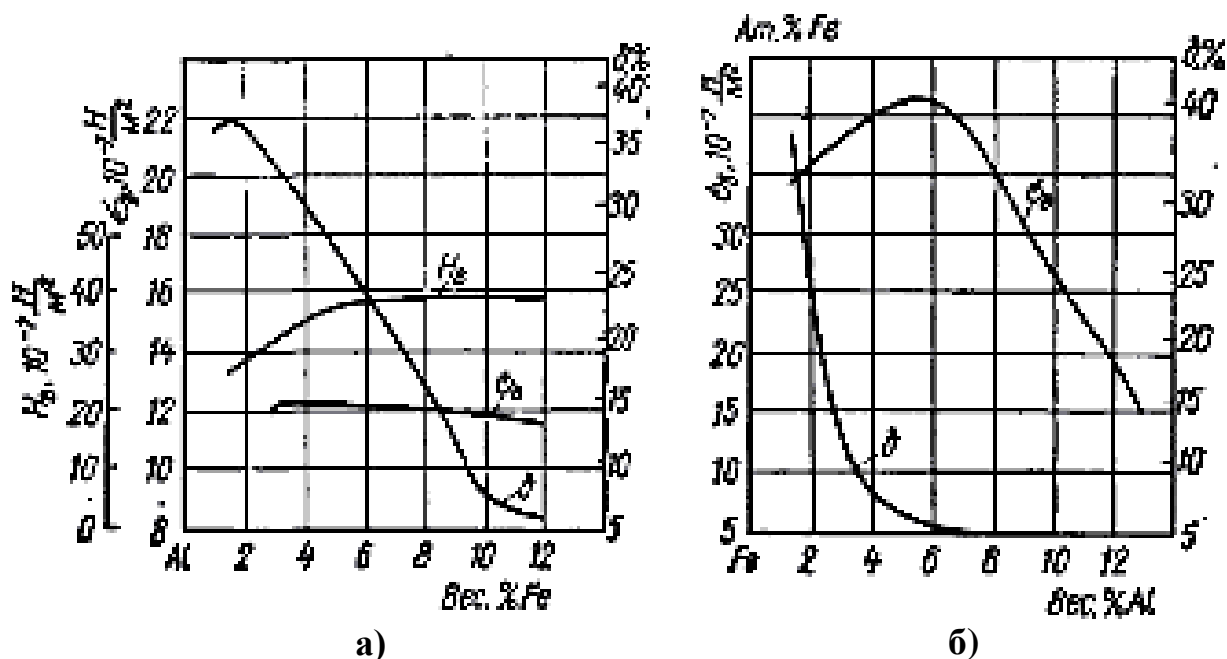


Рисунок 2.2 – Изменение механических свойств (твёрдость, прочность, пластичность) сплавов системы железо-алюминий в зависимости от содержания железа (а) и в зависимости от содержания алюминия (б).

Наиболее низкими показателями пластичности обладают сплавы с содержанием железа в диапазоне от 8 до 10 % включительно. Дальнейшее повышение количества железа в сплаве приводит к потере пластично, сплав становится хрупким.

Высокая микротвёрдость характерна для FeAl₃; FeAl₂; Fe₂Al₇; Fe₂Al₅, при этом считаю необходимым учитывать тот факт, что их микротвёрдость значительно выше, чем у чистого железа или алюминия, и измеряется в пределах от 960 до 1150 кгс/мм². Для фазы FeAl значение микротвёрдости достигает 600 кгс/мм², а для фазы Fe₃Al – 270 кгс/мм². Наивысшая микротвёрдостью свойственна Fe₂Al₅ (1150 кгс/мм²)

Повышенная абразивная стойкость сплавов обусловлена более высоким показателем твердости отдельных фаз интерметаллида. Повышение содержания железа в составе интерметаллида ведет к более низким показаниям твердости материала.

Следовательно можно сделать заключение о том, что прочностные показатели фаз, будут претерпевать изменения противоположные изменению твердости материала. Наиболее высокими показателями прочности при сжатии, из-за наличия мягкой межзеренной прослойки Al, располагают Fe_2Al_7 , FeAl, Fe_3Al , а минимальными показателями: $FeAl_3$; $FeAl_2$; Fe_2Al_7 ; Fe_2Al_5 .

Характеристики прочности таких фаз изменяются прямо противоположно характеристикам твердости.

«Свойственная интерметаллидам системы железо-алюминий хрупкость обуславливается особенностями кристаллического строения, а также наличием ковалентных и ионных связей. Также это можно объяснить тем, что при деформации кристаллической решетки приводит к появлению полос скольжения, что в свою очередь ведет к хрупкому разрушению» (рис 2.3).

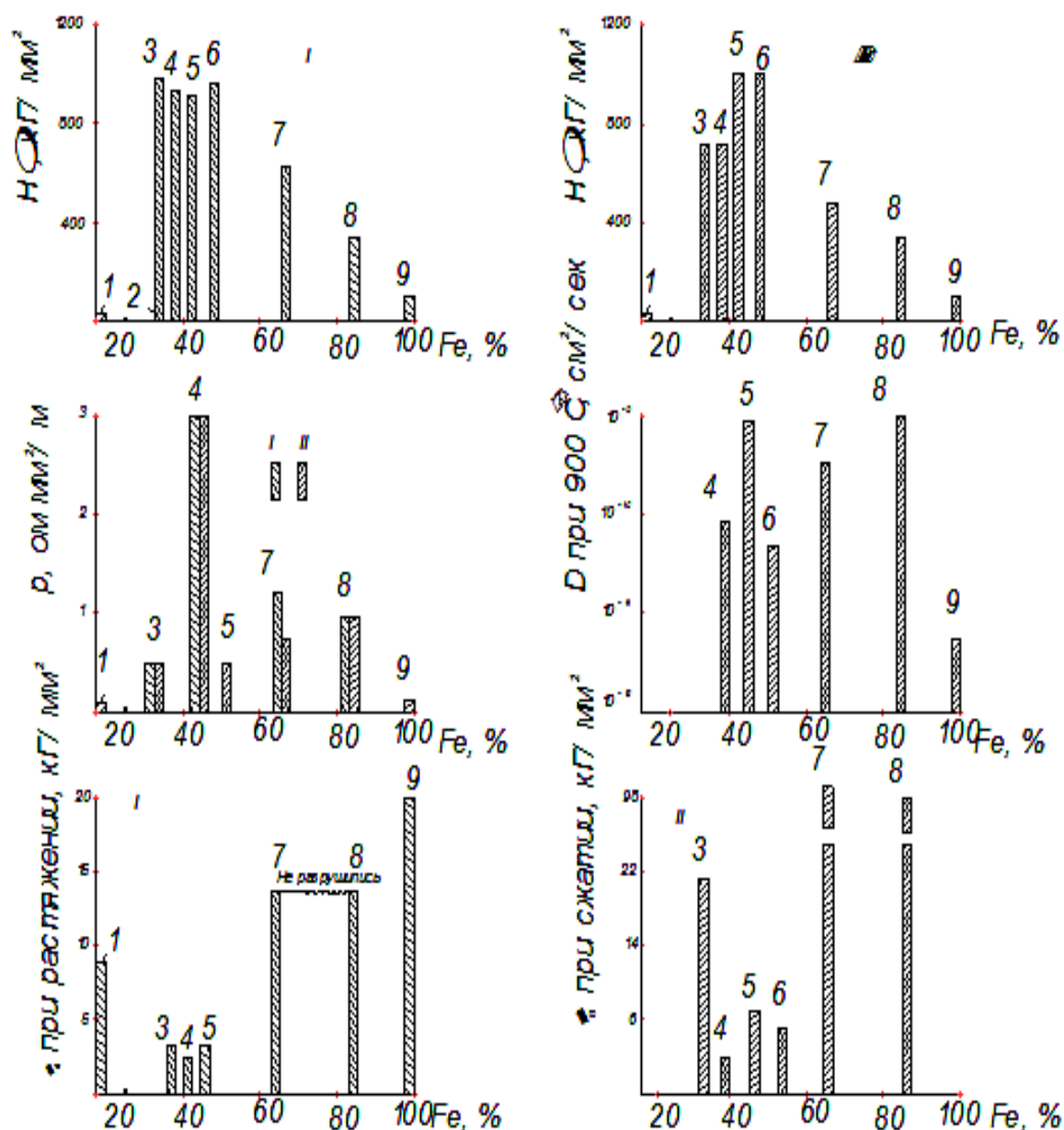


Рисунок 2.3 – Свойства интерметаллических фаз системы Fe – Al.

«В системе Al-Fe имеется четыре стабильных интерметаллических соединения и пять в системе Fe-Si, то есть, Al_5Fe_2 , Al_2Fe , Al_5Fe_4 , Fe_2Si , Fe_5Si_3 , $FeSi$, $FeSi_2-L$ и $FeSi_2-H$, соответственно. Они были смоделированы с использованием так называемой модели составных энергий. В системе Al-Si нет интерметаллических соединений. Соединения Al_5Fe_4 были смоделированы с конечными диапазонами растворимости, а все остальные бинарные интерметаллические соединения были смоделированы как стехиометрические фазы. В настоящей работе в системе Al-Fe-Si все бинарные интерметаллические соединения, кроме Al_5Fe_4 , $FeSi_2-L$ и $FeSi_2-H$,

обрабатывают так, чтобы они не имели растворимости третьего элемента из-за отсутствия экспериментальной информации. Самыми пластичными фазами в условиях комнатных температур, являются фазы Fe_3Al и FeAl , а значит их использование в наплавке наиболее приемлемо» [22].

«Сплавы на основе данных соединений отличаются высокой жаростойкостью в серосодержащих средах, а также в солевых растворах сульфатов и хлоридов» [13].

Невысокие показатели пластичности, а также охрупчиванием при комнатных температурах, приводят к не востребованности сплавов на основе системы железо-алюминий в качестве конструкционных материалов,

«Интерметаллид Fe_3Al является хорошим модельным сплавом системы FeAl вследствие склонности к упорядочению по схеме A2-B2-D03 при понижении температуры. Интерметаллид Fe_3Al перспективен для промышленного применения из-за благоприятного сочетания прочностных свойств, коррозионной стойкости, низкой плотности и стоимости производства» [13]. «Сплавы на основе интерметаллида Fe_3Al применяются в качестве материала, работающего в условиях динамических нагрузок, для изготовления лопаток газовых турбин авиадвигателей и производства дисков регенераторов автомобильных газотурбинных систем, как заменители нержавеющей стали в системе выхлопа, в качестве магнитострикционного материала в сердечниках магнитомеханических преобразователей ультразвуковой техники» [13].

«Наилучшие механические свойства наблюдаются при определенных типах и параметрах микроструктуры» [14].

«Для интерметаллидных сплавов на основе FeAl и Fe_2Al применяется, так называемое дисперсное упрочнение, посредством методик порошковой металлургии, обеспечиваемое оксидами» [5].

«Сплавы на основе интерметаллида Fe_3Al образуют класс относительно легких конструкционных недорогостоящих материалов, предназначенных для работы при температурах до $680\text{ }^\circ\text{C}$ ». «Ограничения

при производстве и эксплуатации связаны с низкой пластичностью при комнатных температурах» [13].

«Со стороны Al система Fe-Al характеризуется наличием эвтектического равновесия Ж (Al) + FeAl₃ с температурой, близкой к температуре плавления Al, и незначительной растворимостью Fe в твердом (Al), уменьшающейся с понижением температуры. температура эвтектики по данным различных авторов находится в пределах 646-655 с концентрациями эвтектической точки в пределах 1,7-2,5 % (по массе) Fe [6]. Согласно работе [7] наиболее надежными значениями температуры эвтектического превращения являются 654-655 и концентрации эвтектической точки 0,9 % (ат.) (1,8 % (по массе)) Fe» [13].

Изменение показателей дробления зерна ведет к росту прочности, а также пластичности интерметаллида,

Однако это приводит к осложнению зернограницного разрушение, что в свою очередь создает условия для сверхпластической деформации.

«Мелкозернистая структура обеспечивается кристаллизацией на высоких скоростях охлаждения, а также выбором оптимальных условий термомеханической обработки. Для этого применяются методы порошковой металлургии» [13].

Вышеизложенное приводит к широкому применению покрытия на основе системы Fe-Al, приводящему к росту сроков эксплуатации, что в свою очередь позволяет в значительной мере уменьшить расход дефицитных материалов. Следовательно это позволяет снизить стоимость изделий.

Основными физико-химическим свойствами интерметаллических фаз являются коэффициент диффузии, коэффициент линейного расширения, электросопротивление и теплоемкость.

Коэффициент диффузии Al в Fe на семь порядков выше, чем Fe в Al [6]. Коэффициент диффузии Fe в интерметаллиды на два порядка выше, чем значения коэффициента самодиффузии Fe. Самый высокий коэффициент диффузии наблюдается у интерметаллидов Fe₂Al₅, FeAl,

Fe₃Al. С повышением температуры нагрева подвижность атомов железа в интерметаллидах растет. Следовательно, при образовании интерметаллидов в зоне контакта Al с Fe диффузия Fe в Al растет.

«Увеличение концентрации легкоплавкого материала не приводит к монотонному изменению значений коэффициента диффузии, что может быть связано с особенностями структуры соответствующих интерметаллических фаз.»

«Коэффициент диффузии алюминия при температуре 580° С в интерметаллические фазы системы железо-алюминий выше, чем коэффициент его самодиффузии, практически на 3 порядка. Наиболее высоким коэффициентом диффузии при данной температуре обладает соединение FeAl₂.»

«Основная проблема использования данных материалов в качестве композиционных заключается в том, что существует мало технологий по созданию присадочных материалов на основе интерметаллидных фаз Fe₃Al, FeAl. Поэтому для формирования интерметаллидного покрытия системы никель-алюминий и железо-алюминий в качестве способов нанесения покрытий выбирали двухдуговую, аргонодуговую наплавку плавящимся и неплавящимся электродом. Используя при этом традиционные присадочные материалы» [21].

Существует большое количество контрольных и иных мероприятий при осуществлении наплавки, например:

- строгое соблюдение технологии процесса наплавки;
- контроль толщины наплавляемого металла;
- правильный выбор присадочного материала;
- контроль изменения температурных режимов;
- контроль изменения режимов процесса наплавки;
- и тд.

Кроме того, огромное влияние на сплавляемость металла имеют легирующие элементы (рис. 2.4), которые можно отнести к добавкам,

позволяющих в ходе определенных методик при введении в сталь с соблюдением определенных пропорций изменить свойства исходного металла (легированной стали).

Возможные трудности при сваривании сортов стали, трудно поддающихся сварке, решаются путем добавления в металл дополнительных химических элементов. Важно обратить внимание при этом на строгое соблюдение температурных режимов.

Однако нарушение составов легирующих элементов, необходимых для хорошей свариваемости, повлечет образование дефектов в сварном шве.

Держа в голове разнообразие факторов, влияющих на сплавляемость стали, необходимо учитывать в первую очередь химический состав.

Химический состав является наиболее важен в процессе формирования новых покрытий и образовании сварного шва.

Влияние легирующих элементов на механические свойства феррита
в термически улучшенном состоянии

Исследуемый элемент	Содержание элемента %	σ_p кг/мм ²	σ_S кг/мм ²	σ_B кг/мм ²	δ %	ψ %	a_k кг/мм ²	Твердость H_{P}
Fe	—	28,2	28,8	40,7	25	66	17,0	110
Si	0,71	27,4	28,8	46,1	28	78	17,0	153
	2,26	35,0	36,2	51,3	30	69	2,7	172
	2,51	34,7	36,2	50,7	29	41	0,2	176
	4,92	—	—	—	—	—	0,3	216
Cr	0,84	33,3	35,8	46,1	26	77	18,0	123
	1,24	31,0	32,8	42,1	23	75	31,0	156
	3,20	54,8	57,8	65,1	13	67	9,5	215
	4,17	67,6	70,1	77,3	22	66	7,1	245
Mn	0,85	28,6	30,1	40,6	29	75	16,0	130
	1,70	39,9	41,5	53,0	25	75	15,0	180
	2,53	65,6	66,6	71,8	16	62	11,0	200
	4,00	71,9	73,8	77,7	14	52	0,4	235
Ni	1,26	40,2	41,2	46,5	22	66	18,0	144
	2,48	42,2	43,1	51,0	25	75	19,0	185
	3,10	43,5	44,1	52,0	28	77	17,0	176
	5,33	73,9	75,3	78,7	16	70	11,0	230
Mo	1,27	33,1	35,5	48,2	—	—	15,0	144
	2,61	27,5	27,7	43,4	30	60	11,0	135
	3,0	28,4	29,4	42,7	28	68	9,0	140
	6,54	30,0	36,3	52,5	26	63	7,1	172
W	0,89	24,3	25,5	40,2	23	75	16,0	110
	1,86	28,5	29,3	42,4	25	62	8,8	127
	2,59	27,3	29,2	44,0	18	59	6,4	125
	5,15	—	—	—	—	—	3,0	144

Рисунок 2.4 – Влияние легирующих элементов на механические свойства феррита в термически улучшенном состоянии

«В качестве легирующих элементов наиболее часто используются Cr, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Nb, Co. Реже используются Al, Si, B и некоторые другие элементы» [30].

Анализируя указанное можно констатировать вариантность эффекта:

- положительный эффект;
- крайне отрицательный эффект;
- отсутствие какого-либо эффекта или влияния.

«Почти все легирующие элементы изменяют температуры полиморфных превращений железа, температуру эвтектоидной и эвтектической реакции и влияют на растворимость углерода в аустените. Некоторые легирующие элементы способны, так же как и железо, взаимодействовать с углеродом, образуя карбиды, а также взаимодействовать друг с другом или с железом, образуя промежуточные фазы — интерметаллиды» [7].

«В процессе изменения температуры фазовых превращений металла и химического взаимодействия легирующих элементов в структуре стали могут появиться новые равновесные фазы» [5].

«Легирующие элементы образуют с железом твердые растворы замещения, изменяя период его решетки. Практически все элементы при содержании больше 1% снижают ударную вязкость феррита. Исключение составляет только никель. Искажение кристаллической решетки железа, возрастающее по мере увеличения разницы в атомных размерах, влияет на свойства феррита» [17].

В ходе легирования металла, обязательно происходят изменения на полиморфизм железа. Легирующие элементы необходимо поделить на две группы по степени оказания воздействия на температуру полиморфных превращений железа,

Первая группа включает в себя Ni, Mn, C, N, Co и др, которые оказывают влияние на устойчивость аустенита.

Вторая группа включает Cr, Ti, Nb, V и др., влияющие на увеличивающие устойчивости феррита, за исключением Cr.

В результате термообработки материала, влияние легирующих элементов, таких как Cr, Mn, Ni на свойства феррита проявляется наиболее вероятно.

Это происходит из за влияния на скорость полиморфного Fe γ \rightarrow Fe α , т.е. превращения железа, уменьшая ее (понижают температуру точки A3).

«Поэтому при медленном охлаждении безуглеродистого легированного железа (C<0,02%) образуется обычный феррит, имеющий равноосные зерна. При быстром охлаждении превращение Fe γ \rightarrow Fe α происходит по мартенситному механизму: безуглеродистый аустенит превращается в безуглеродистый мартенсит с типичным игольчатым строением. При этом имеет место наклеп, растет и плотность дислокаций, измельчается блочная структура. В результате твердость увеличивается до 350 HB» (рис 2.5) [30].

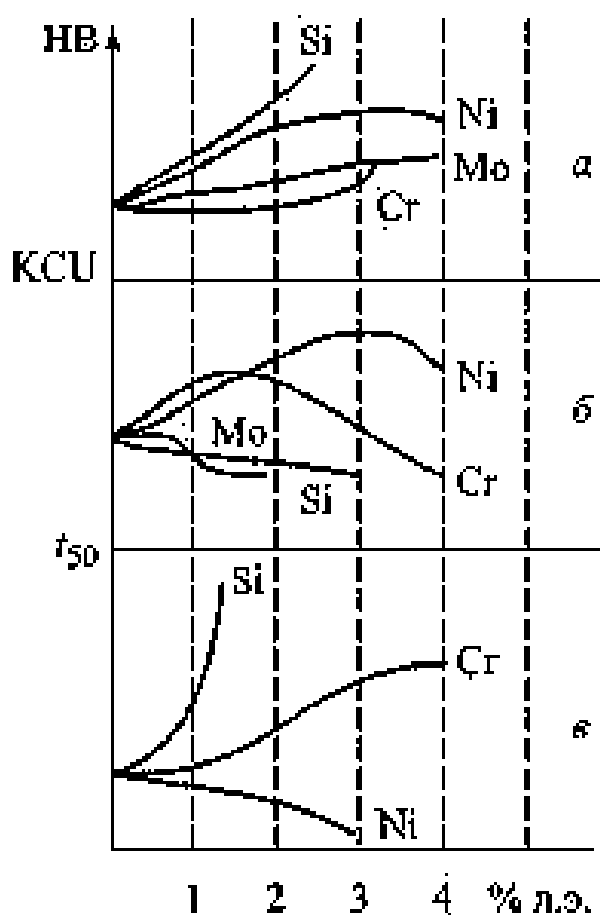


Рисунок 2.5 – Схема влияния легирующих элементов на феррит

«Легированный аустенит. В легированных сталях кроме углерода в решетке аустенита находятся также легирующие элементы, образующие с Fe γ твердые растворы замещения. Свойства такого легированного аустенита существенно отличаются от свойств аустенита углеродистой стали.

Легированный аустенит обладает высокой коррозионной стойкостью, химической прочностью при комнатных и высоких температурах, жаропрочностью» [24].

Одним из самых, если не самым популярным химическим элементом входящих в состав углеродистых сталей является углерод. Его содержание влияет на свойства стали при обработке или сварке.

Сварка низкоуглеродистых сталей, с процентным объемом С до 0.25%, происходит без отклонений.

Сварка среднеуглеродистых стали, с процентным объемом углерода выше 0,25%, происходит с отклонений.

В сталях с высоким содержанием углерода до 0,45%, твердый показатель свариваемости.

В естественных условиях содержание марганца в стали изменяется в диапазоне от 0,3 до 0,8 %. Считается, что марганец не влияет на свариваемость материала при удельном весе до 2 %. Однако указанное содержание марганца, может привести к образованию холодных трещин. Такое явление является следствием высокой твердости и прочности той стали.

Сплав, содержащий более 11 % марганца, при сваривании может начать выгорать, во избежание чего создан способ восполнения марганца через флюсы ли электродное покрытие. Данный сплав будет отлично сопротивляется износу посредством трения.

Содержание хрома (Cr) в аустените достигает до 0,3 %, что не оказывает практически никакого влияния на процесс свариваемости. Однако увеличение доли хрома более 1 %, приводит к образованию оксида Cr_2O_3 , который является тугоплавким и сильно понижает показатели свариваемости.

Более того увеличение доли хрома более 1 % может привести к образованию карбидов хрома с резким повышением твердости, что повлияет на закалочные характеристики аустенита.

В естественных условиях содержание кремния в стали изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,3 %. Дальнейшее его увеличение провоцирует свойства жидкотекучести и способствует возникновению тугоплавких соединений.

В естественных условиях содержание никеля (Ni) в стали может достигать 35%. При увеличении доли никеля в аустените сталь становится более прочной, а также повышается ее пластичность. В связи с выше изложенным, никель обычно используют в качестве основного элемента для легирования.

В естественных условиях содержание ванадия (V) в стали изменяется в диапазоне от 0,2 до 1,5 %. При увеличении доли ванадия в аустените сталь становится более прочной, а также повышается ее пластичность и ударная вязкость. Таким образом, использование ванадия ведет к образованию закалочных структур.

В естественных условиях содержание вольфрама (W) в стали изменяется в диапазоне от 0,8 до 18 %. При увеличении доли вольфрама в аустените сталь становится более прочной и теплоемкой. Однако в процессе сварки вольфрам быстро и легко выгорает.

Труднорастворимыми, а следовательно отрицательно влияющими химическими элементами являются сера (S) и фосфор (P). Использование серы может привести к появлению горячих трещин из-за кристаллизуется серы между кристаллами железа сварного шва. Использование фосфора приводит к хрупкости получаемого материала из-за образования фосфористого железа.

Железо и алюминий не имеют отрицательного влияния на свариваемость и создают карбиды.

Одно из свойств нержавеющей сталей, это наличие ниобия, он увеличивает вероятность появления горячих трещин.

3 Генерирование покрытий на основе системы железо-алюминий

Основными способами нанесения покрытий, алюминидов железа используемых на производствах, является напыление, алитирования и наплавка. Существуют также и иные способы.

3.1 Метод алитирования

При поверхностном насыщении металла алюминием процесс покрытия будет называться методом алитирования, в ходе которого интерметаллидные фазы образуются при алитировании поверхностного слоя.

Использование данной технологии целесообразно чаще всего для деталей из малоуглеродистых аустенитных сталей и жаропрочных сплавов [9, 11].

Метод алитирования можно разбить на следующие основные подвиды:

1) Калоризация, созданная в конце 20х годов двадцатого века является одним из самых популярных методов. При данной технологии алитирование происходит слоем толщиной в пределах от 0,03 до 1,5 мм при температурах в диапазоне 900°C - 1080°C в течении вплоть до 30 часов. При этом, показатели прочности сцепления наносимого материала невелики;

- электроалитирование или электрохимическое осаждение металлов, называемый также «гальваникой». Одним из плюсов данного метода является огромный выбор материала покрытия, что в свою очередь привело (рис. 3.1).

На схеме наблюдается процесс макания в водный раствор соли металлического образца, состоящего из того же материала, что собственно и само изделие (анод), нуждающееся в нанесении покрытия (катод). Пластина растворяется в результате процесса электролиза, который происходит с подачей постоянного электрического тока, и на поверхности исходного изделия образуется защитное покрытие.

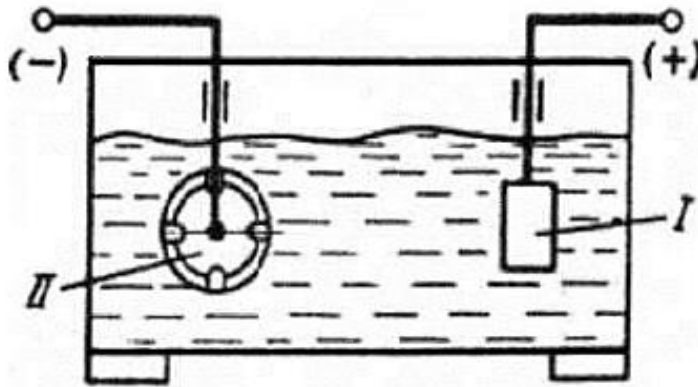


Рисунок 3.1 – Схема нанесения электролитических покрытий

I – анод, II – катод

Так как слой нанесенное нанесенного покрытия состоит только из алюминия отсутствуют интерметаллидные фазы

- плакирование;
- вакуумное алитирование;
- алитирование погружением в расплав.

3.2 Метод напыления

Указанный метод активно используется в промышленности, где присутствуют сильные агрессивные износ из-за химического воздействия на сплав, в том числе путем окисления. Например его применяют в емкостях и трубопроводах.

Существует несколько вариантов нанесения напыления которые можно сгруппировать на две основные группы – это вакуумно-конденсационное напыление и газотермическое напыление.

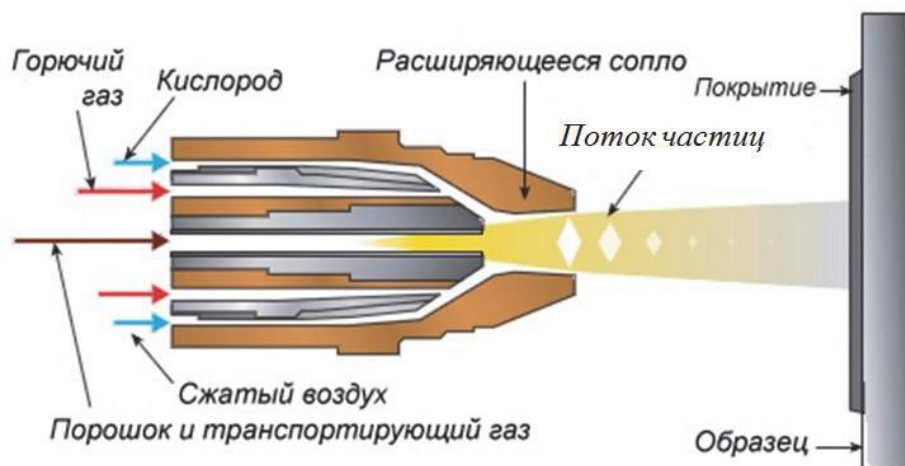


Рисунок 3.2 – Схема нанесения покрытий газотермическим способом.

Самым производительным способом является газотермическое напыление алюминиевых покрытий, которое было придумано в стенах ИЭС им. Е.О. Патона. Благодаря данному способу, например срок эксплуатации резервуаров удалось увеличить до 30 лет. Это стало возможным благодаря повышенной стойкости таких покрытий против растрескивания (неравномерность толщин в диапазоне до 20%).

Кроме того, данный факт подтверждается также отсутствием образования интерметаллидных фаз, при становлении слоя алюминия, необходимого для хороших эксплуатационных характеристик.

3.3 Метод наплавки

Под наплавкой понимается технологический процесс покрытия слоем расплавленного металла на оплавленную поверхность. После охлаждения слоя расплавленного металла он образует прочное покрытие, так как скрепляется с металлом на которой его нанесли.

К достоинствам наплавки считаю необходимым отнести образование интерметаллидных фаз в поверхностном слое с повышенными эксплуатационными и механическими характеристиками.

Аргонодуговая наплавка в защитном газе – один из вариантов наплавки, он происходит путем наплавки Al проволокой на исходное изделия из стали, данный способ нанесения покрытия очень высокопроизводительный.

Предлагаю выделить в наплавке два ключевых направления:

- восстановительная наплавка изделий;
- нанесение интерметаллидного слоя для увеличения срока службы используемого в конструкциях и деталях материала.

Кроме, того хотелось бы отметить схожесть наплавки со сваркой ввиду природы происходящих процессов. Но наплавка имеет ряд следующих отличий:

- равномерное проплавление основного металла;
- обеспечение качественного равномерного шва;
- полное отсутствие склонности материала к образования дефектов;
- высокая скорость процесса.

«Указанные отличия достигаются путем применения специальных методов. При этом можно отметить схожесть наплавки со сваркой в классификации видов и способов нанесения покрытий. В зависимости от формы использования энергии в процессе наплавки, различают газовую и дуговую наплавку.» (рис 3.3).

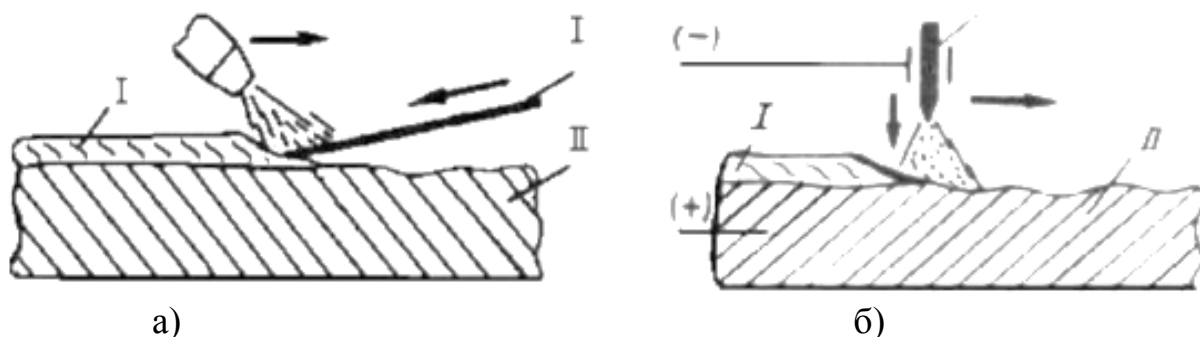


Рисунок 3.3 – Схема нанесения покрытий способом электродуговой наплавки (а) и газопламенной наплавки (б):

I – расходный материал, II – изделие

При помощи изменения режимами скорости подачи присадочной проволоки, или изменяя тепловые условия процесса, можно управлять скоростью проведения наплавки и контролировать состояние химического состава получаемого материала.

Получаемый при наплавке присадочной проволокой сплав с содержанием алюминия не более чем 17 %, можно характеризовать как отличительный недостаток данного метода

Однако хотелось бы отметить ряд преимуществ данного метода:

- возможность нанесения покрытий толщины от 0,25 до 450 мм, что может говорить о практически неограниченных размерах;
- высокая производительность - 25 кг/час,
- довольно простая и надежная конструкция;
- мобильность размещения и широкая возможность использования, вплоть до использования в полевых условиях.

Желаемый химический состав наплавленного слоя достигается переплавлением основного металла с присадочной алюминиевой проволоки, выпускаемых в соответствии с требованиями, утвержденными ГОСТ 7871-75. В России они производятся в широком ассортименте. Но все же производимых именно для промышленной наплавки покрытий системы Fe-Al в России на сегодняшний день материалов к сожалению нет.

«Аргонная наплавка может быть ручной, когда горелка и присадочный пруток находятся в руках сварщика, и автоматической, когда горелка и присадочная проволока перемещаются без непосредственного участия сварщика. При этом способе наплавки зажигание дуги не может быть выполнено путем касания электродом изделия. Поэтому при аргонодуговой наплавке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания подключается осциллятор. Осциллятор для зажигания дуги подает на электрод высокочастотные высоковольтные импульсы, которые ионизируют дуговой промежуток и обеспечивают зажигание дуги после включения сварочного тока. Если аргонодуговая сварка производится

на переменном токе, осциллятор после зажигания дуги переходит в режим стабилизатора и подает импульсы на дугу в момент смены полярности, чтобы предотвратить деионизацию дугового промежутка и обеспечить устойчивое горение дуги» [17, 19].

Еще одним распространенным и эффективным методом наплавки является двухдуговая наплавка в процессе которой используются одновременно две сварочные горелки с разными источниками питания и расположение близко друг к другу. В результате горелки горят в едином защитном пространстве. Дуги могут гореть по направлению друг к другу (рис. 3.4), или в противоположные стороны (одна вертикально).

Использование данного метода приводит к росту толщины шва, а также улучшает его нанесение, что влечет повышение механических и эксплуатационные свойства наплавленного валика, что в свою очередь достигается результате уменьшения скорости снижения температуры и с ростом скорость проведения непосредственной наплавки.

Рассматривая двухдуговую наплавку плавящимся электродом, следует обратить внимание на горение электрических сварочных дуг между электродной присадочной проволокой, подаваемой в зону сварки (в сварочную ванну) (рис 3.5).

При данном методе дуги расплавляет электродную проволоку и основной металл.

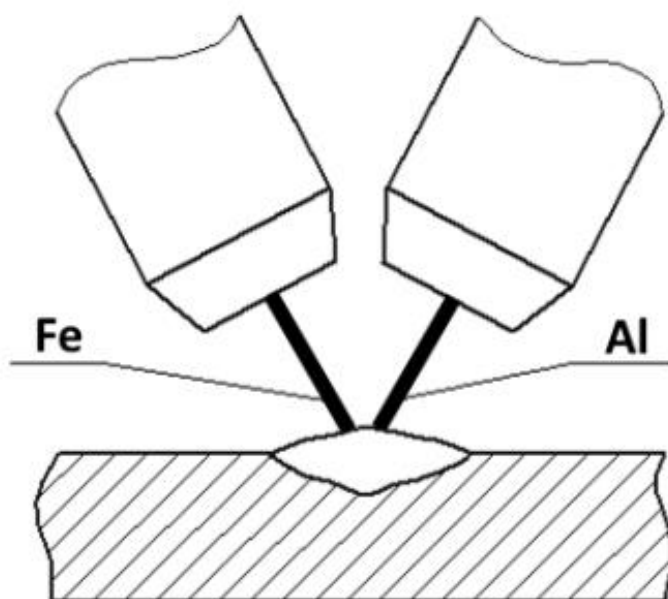


Рисунок 3.4 – Схематичное изображение двухдуговой наплавки



Рисунок 3.5 – Установка для двухдуговой наплавки

4 Материалы наплавки

Наплавка осуществляется с применением следующих материалов: присадочные проволоки, покрытые сварочные электроды, порошковые проволоки и порошки.

Подобные материалы имеют огромный спектр характеристик.

Выбор материала для наплавки характеризуется в первую очередь материалами детали и условиями ее эксплуатации. В дальнейшем для приобретения материалом детали необходимых свойств используется определенный химический состав, соответствующий наплавке.

Самым распространенным и простым способом наплавки для восстановления изношенных деталей является наплавка покрытым электродом из углеродистой стали (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Схематичное изображение покрытого сварочного электрода

Применение электродов легированных дополнительными химическими элементами, такими как Cr, Ni, Mn ведет к повышению качества наплавки.

В случае необходимости использования деталей подверженных интенсивному абразивному износу, считаю целесообразным использовать присадочные материалы из твердых сплавов, что было неоднократно подтверждено на практике, а также в рамках производственных процессов и циклов. Предлагаю разделить их три общепризнанные группы:

Релит – это сплавы из литых карбидов вольфрама, применяемые для износостойких стальных деталей, эксплуатируемых при ударных нагрузках и в условиях интенсивного абразивного износа;

Стеллиты – это сплавы, использующие вольфрам и кобальт или хром и никель, применяемые для износостойких стальных деталей, эксплуатируемых при ударных нагрузках в условиях коррозии. В основном применяется для наплавки на инструменты;

Сормиты - это сплавы, использующие железо-хромовую основу с добавлением никеля и марганца, применяемые для износостойких стальных деталей, эксплуатируемых при ударных нагрузках в условиях коррозии. За счет высокой экономической эффективности нашли применение в машиностроении, в частности при ремонте сельхоз техники, из-за более высокой жесткости, чем у стеллитов;

Сталиниты – это сплавы, использующие в своей основе железо, хром, марганец, кремний и до 7 - 10% углерода, применяемые для износостойких стальных деталей при грубой эксплуатации.

Наличие в структуре твердого сплава карбиды вольфрама (стеллиты) и Co-W или Ni-Cr (релиты) придает им свойства указанных химических элементов.

Кроме того, следует обратить внимание, что от технологических параметров процесса наплавки будет зависеть структура и физикомеханические свойства получаемого материала.

Указанное заключение можно наблюдать путем изменения режимов наплавки, которое необходимо для модификации плавления материала, влекущее геометрические характеристики наплавленного слоя, а также химические микронеоднородности наплавленного металла.

«Природа поверхностного упрочнения для каждого из используемых материалов имеет свои особенности. Для плакирования из углеродистой стали, упрочнение происходит за счет тепловых условий формирования поверхностного слоя при высокой скорости охлаждения упрочнения структуры с повышенной твердостью. Свойства поверхности после сварки легированных сталей зависит от типа легирующих элементов, определяющих

фазовый состав, границы, фазовые превращения, механические свойства» [22].

4.1 Присадочный материал

Используемые в рамках работы присадочные проволоки для наплавки и сварки стальных изделий были отечественными, что не отражает объективную картину сегодняшнего дня, когда для сварки и наплавки алюминия, нержавеющей стали и никеля в основном используют присадочную проволоку иностранного производства. Однако стоит отметить характерные для всех производителей присадочной проволоки признак – производится в катушках (рис. 2.4)



Рисунок 2.4 – Катушка алюминиевой сварочной проволоки

Хотелось бы отметить, что почти все производимые на территории Российской Федерации товары должны соответствовать тем или иным ГОСТам, которые расшифровываются по общим правилам. Данное требование применимо и к присадочной проволоке (материалом).

Маркировочный код ГОСТа для присадочной проволоки можно расшифровать по следующим составным частям:

Типоразмер;

Способ применения;

Химический состав;

Технологии изготовления материала.

Присадочные проволоки, применяемые при наплавке и сварке, маркируются по ГОСТу 2246-70.

С целью повышения срока эксплуатации и устойчивости материала к коррозии в состав присадочной проволоки включаются никель и хром. Данная присадочная проволока используется для выполнения работ с материалами из нержавеющей стали. При этом, необходимо отметить, что для наплавки или сварки нержавеющей стали обязательно применение защитного газа.

Кроме того, для наплавки или сварки нержавеющей стали присадочная проволока включает в свой состав такие элементы как углерод и кремний.

Использование углерода позволяет избежать появления межкристаллитной коррозии, а кремний приводит к получению более качественного и прочного сварного шва.

Наплавка болванок из алюминия, а также сплавов на его основе производится с помощью алюминиевой присадочной проволоки.

Для осуществления наплавки с использованием алюминиевой присадочной проволоки обычно используется среда защитного газа, в качестве которого в основном используют аргон. При этом, если присадочная проволока из алюминия выбрана правильно, формируемый сварной шов имеет высокое качество, надежность и стабильность его механических характеристик» (рис. 2.5)



Рисунок 2.5 – Катушки присадочной проволоки

Для получение высокого качества сварки и напайки не достаточно правильно подобрать алюминиевую присадочную проволоку, которая как мы говорили выше способна привести к изменением характеристик сварного шва в сторону повышения качества и надежности. Одним из ключевых факторов также является и привальная подготовка соединяемых деталей и узлов.

Правильная подготовка соединяемых деталей и узлов заключается в тщательной очистке поверхностей и удалении с них тугоплавкой оксидной пленки. Данная процедура носит очень важный характер и ее необходимо выполнить непосредственно перед началом сварки, иначе на алюминиевой поверхности под воздействием окружающей среды быстро образуется оксидная пленка.

Опять таки, из-за быстрого и активного окисления присадочной проволоки применяемой для сварки и напайки с алюминием, необходимо оперативное ее использование после вскрытия заводской упаковки, в которой она была поставлена.

Таким образом, оперативное использование присадочной проволоки позволит сохранить ее качественные характеристики будут, собственно это отразится и на свойствах создаваемого с ее поддержкой сварного соединения.

В стандартном подающем механизме полуавтомата для сварки, использующем два ролика, не особо подходит для сварки алюминиевой проволокой из-за ее характеристик, в частности большой теплопроводности и пластичности, что при работе с ней может привести к ее смятию или застреванию в механизме.

В связи с чем подающий алюминиевую проволоку механизм состоит из роликов, имеющих U-образный профиль рабочей канавки на каждом подающем механизме (рис. 4.4).

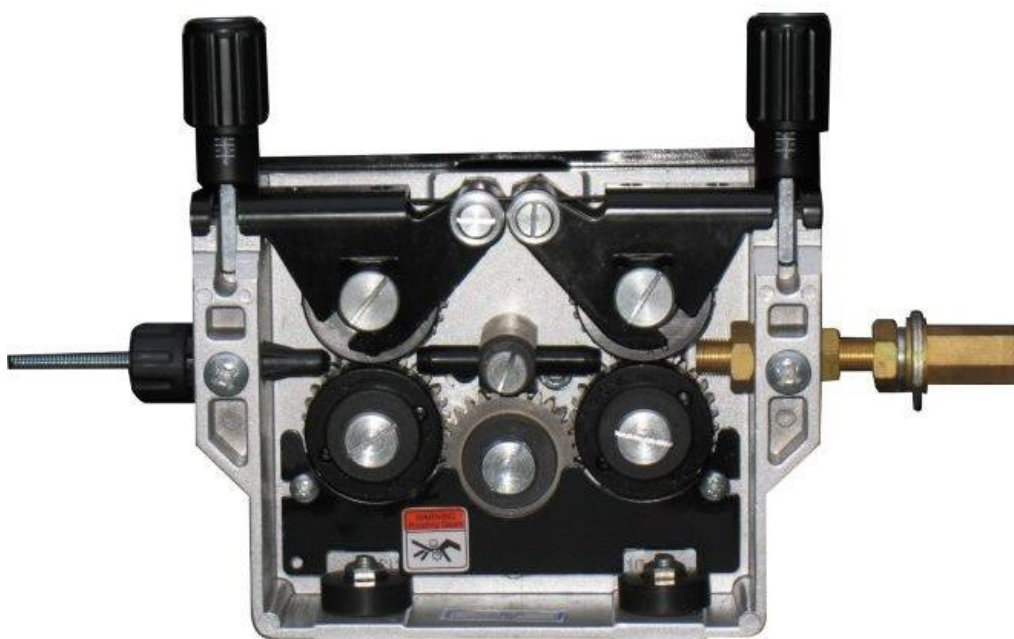


Рисунок 4.4 – Подающий механизм алюминиевой присадочной проволоки

Кроме того, по причине высокого трения алюминиевой проволоки со стенками подающего шланга, применяемого из-за высокой пластичности алюминия и большой вероятности его замятия на механизмах, принято использовать для изготовления подающего канала тефлон, дающий возможность разительно снизить трение проволоки со стенками канала.

Следует обратить внимание также на то, что при работе полуавтомата на алюминиевой присадочной проволоке подающий шланг имеет длину до трех метров.

Еще одной проблемой при использовании алюминиевой присадочной проволоки в полуавтоматическом режиме является высоким коэффициентом теплового расширения, который может привести к ее застреванию в наконечнике полуавтомата. Для решения данной проблемы принято подбирать диаметр наконечника на 1-2 миллиметра больше диаметра алюминиевой присадочной проволоки. (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Варианты наконечников

Для получения качественного сварного шва в полуавтоматическом режиме в среде аргона и минимизации риска появления брака необходимо соблюдать контролировать следующие параметры:

- Диаметр используемой присадочной проволоки;
- Химический состав присадочной проволоки;
- Скорость подачи присадочной проволоки;
- Значение сварного тока;
- Полярность подключения.

5 Методология изысканий

Для проведения исследовательских работ был выбран метод аргонодуговой наплавки в среде защитного газа аргона с использованием неплавящегося вольфрамового электрода. (рис. 5.1).

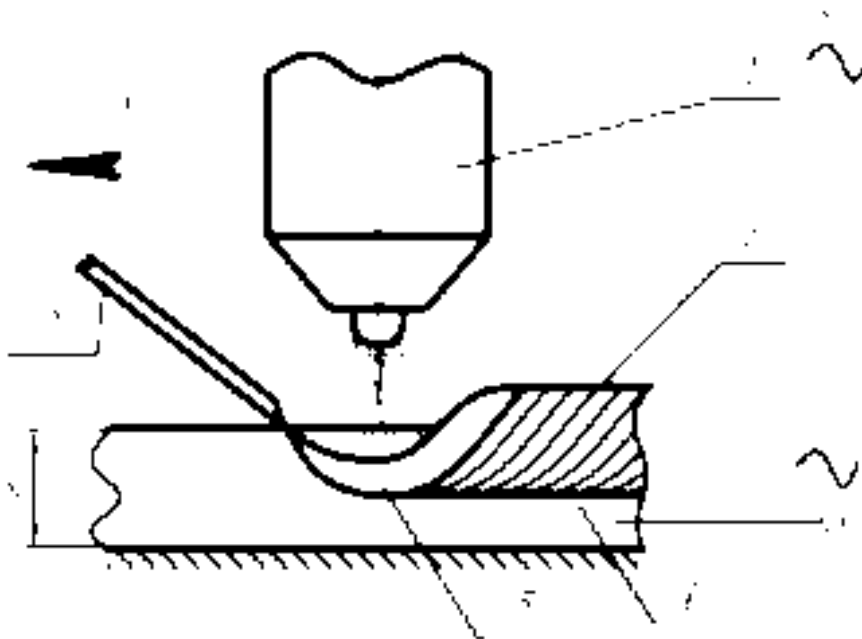


Рисунок 5.1 – Технология аргонодуговой наплавки:

1 – сварочная горелка; 2 – присадочный материал; 3 – наплавленный слой;

4 – подложка, 5 – ванна расплавленного металла.

5.1. Методология анализа эксплуатационных свойств

Говоря об износостойкости, следует упомянуть абразивный износ, который может характеризовать способностью поверхностных слоев наплавленных покрытий противостоять проникновению абразивных частиц. Для проведения анализа использовались одинаковые образцы с идентичной площадью поверхности наплавленного металла, состоящей из интерметаллидного покрытия. Указанные образцы имели габариты в 6*6 мм.

Эталоны применяемые для сравнения степени износа изготавливались из Ст3 таких же габаритов.

Анализ проводился на специально созданной установке (рис. 5.2) состоящей из:

- шлифовальной машинки;
- специального прижима для машинки;
- Специального прижима для образцов.

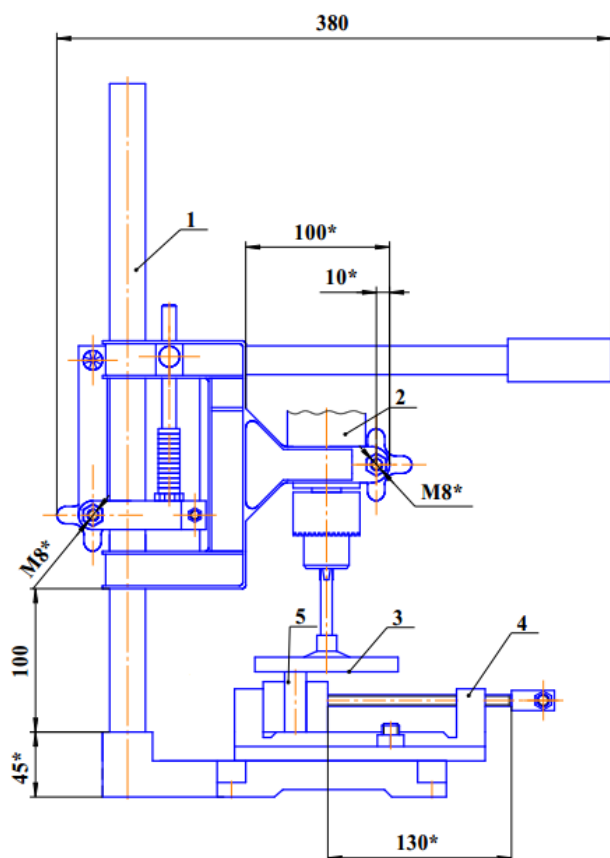


Рисунок 5.2 – Специально созданная установка

Кроме того, было решено проанализировать жаростойкость получаемых образцов с целью корреляции получаемого результата с условиями реальной эксплуатации. Для этой цели была приобретена специальная печь (рис. 5.3.).

ГОСТ 9.312-89 регламентирует измерение жаростойкости интерметаллидных сплавов. Исходя из ГОСТа, измерения жаростойкости проводятся по относительному изменению массы интерметаллидов, которые

выдерживаются в муфельной печи в t 850 °С, 2 тысячи часов, имея одну площадь поверхности.

В ходе исследования для каждого из интерметаллидов применялась максимально допустимая температура с измерением массы образца каждые 100 часов исследования.



Рисунок 5.3 – Приобретенная печь для исследований

5.2 Методика исследования механических свойств

«С целью анализа механических свойств наплавленных материалов проводились замеры твердости металла методом неразрушающей проверки, с использованием шкалы HRC (метод Роквелла), для чего применялся твердомер Durajet. Индеторами выступали применялись конусы со скруглённым острым концом, с углом при вершине 120° С.» (рис 5.4).



Рисунок 5.4 - Durajet (Твердомер)

5.3 Методика исследования химических свойств

Считаю важным отметить частичность перехода элементов металла в состав шва, что связано с изменением температуры капель при их переносе в пределах 1900...2500 К.

Можно отметить, например, что какое-то количество легирующих элементов, из состава исходного материала может испариться под влиянием высокой температуры от электрической дуги.

«Хотелось бы отметить, что были использованы все существующие на сегодняшний день методы определения химического состава при анализе химического состава полученных в процессе наплавки образцов.»

Можно выделить лишь некоторые методы определения химического состава металла:

- метод растровой электронной микроскопии (РЭМ);

- пробирный метод;
- метод волнодисперсионного анализа;
- метод рентгено-флуоресцентного анализа;
- эмиссионный метод.

Благодаря возможности анализа структуры металла и элементного состава покрытия с очень высокой разрешающей способностью было принято решение об использовании метода растровой электронной микроскопии (РЭМ);

В целях применения метода растровой электронной микроскопии (РЭМ) было принято решение проводить исследования на использующем спектральный принцип работы с рентгеновским энергетическим и волновым спектрометром. Таким образом, анализ проводился на комплексе Zeiss (LEO) 1485vp с блоками INCA Energy-300 и INCA Wave-500 (рис. 5.5).

К преимуществам Zeiss (LEO) 1485vp хотелось бы отнести возможность полностью цифровой автоматической обработке спектра. Следует учесть, что Zeiss (LEO) 1485vp применяет аргон для проведения точного количественного анализа материалов. Все выше перечисленное очень важно в условиях лаборатории.



Рисунок 5.5 – Zeiss (LEO) 1485vp

В качестве макетов или образцов в ходе химического анализа применялись отлично отполированную поверхность поперечного сечения валика. Все образцы заготавливались заранее. (рис.5.6)

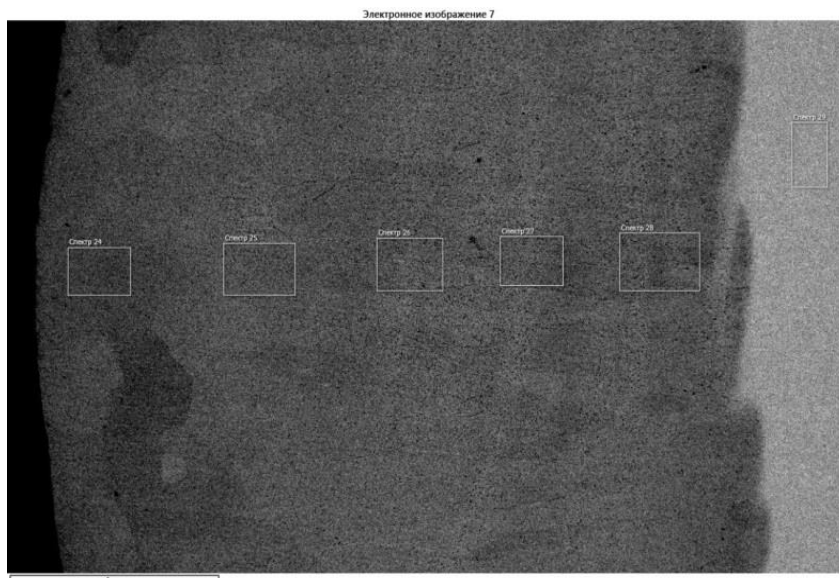


Рисунок 5.6 – Образцы в ходе проведения химического анализа

5.4 Способы изысканий при процессах аргонодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом на основе системы железо-алюминий

При проведении мероприятий, используя мощности Тольяттинского государственного университета, была разработана и построена экспериментальная установка для осуществления аргонодуговой наплавки неплавящимся вольфрамовым электродом, данная установка позволяет управлять подачей присадочным материалом меняя скорость его нанесения на поверхность исходного материала (в нашем случае высоколегированной хромоникелевой стали 08X13).

Установка имеет двухкоординатную конструкцию наплавки (перемещается в двух плоскостях) с оснащением жидкостным охлаждением горелки, что позволяет производить наплавку на металлические образцы

толщины до 2 см. Кроме того, установка может также быть использована для производства наплавки с помощью одной дуги, но при этом сохраняется возможность также нанесения покрытий и методом двухдуговой наплавки.

В конструкции установки используется двигатель подающего механизма с возможностью подачи присадочного материала со скоростью до двадцати метров в секунду. Все выше изложенное позволяет подавать присадочный материал к месту наплавки с большим диапазоном регулировок скорости подачи проволоки, что положительно сказывается на качества наплавки.

Возможное появление эффекта разбрызгивания алюминия и вероятность его угара сглаживаются и контролируются настройкой механизма на подачу присадочной проволоки в любую сторону сварочной ванны. (рис. 5.7)

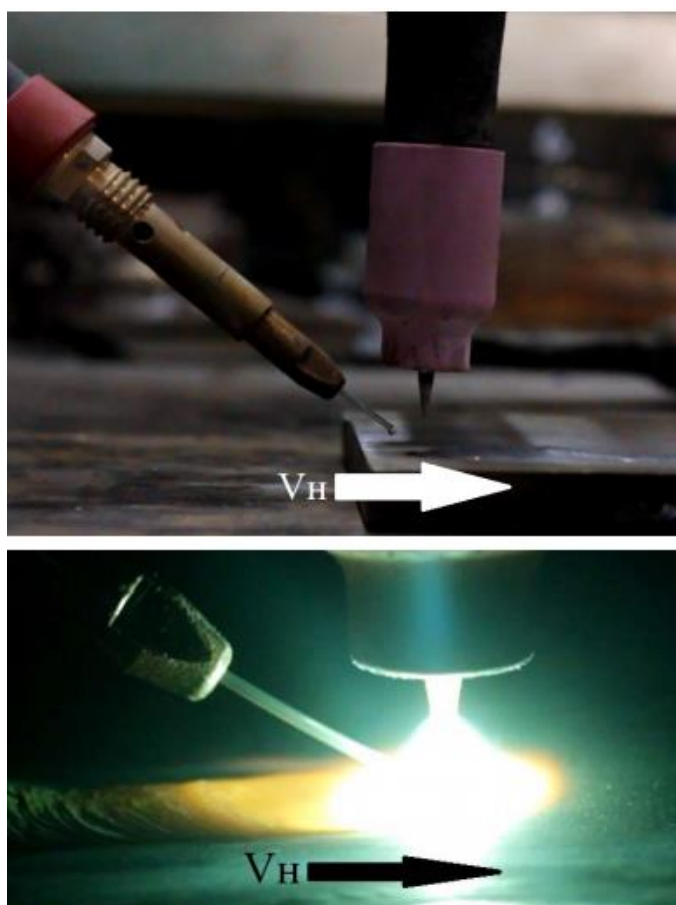


Рисунок 5.7 – Схема подачи присадочной проволоки

Рассматривания характеристики установки следует обратить внимание и на ее размеры:

- Ширина 350 мм;
- Длина 800 мм.

Перемещение установки в плоскости координат происходит посредством электрического двигателя по специальным рельсам (рис. 5.8).

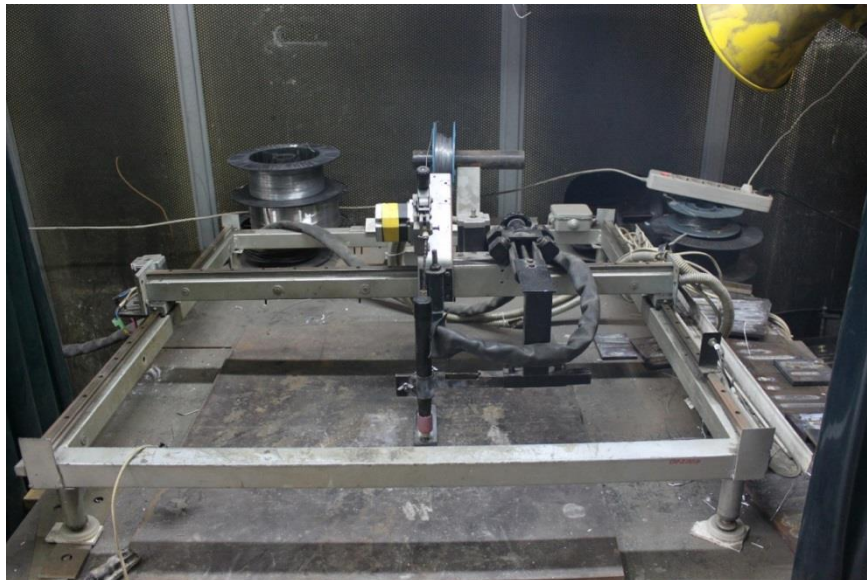


Рисунок 5.8 – Установка.

В исследовании применялись образцы из высоколегированной хромоникелевой стали марки 12X18H10T размерностью 150*150*10 мм, заготовленные заранее.

В качестве присадочного материала использовалась следующая присадочная проволока, соответствующая требованиям ГОСТ 7871-75:

- СВА7 диаметром 1,2 мм;
- СВАК5 диаметром 1,2 мм;
- СВАК12 диаметром 1,2 мм;
- АМц диаметром 1,2 мм;
- АlMg4 диаметром 1,2 мм.

Сварочным источником для проведения эксперимента по наплавки, был выбран сварочный аппарат Форсаж -315АД, который используется для сварки цветных металлов и предназначен для применения в промышленных масштабах, он изображен на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 –Форсаж-315АД.

Кроме того, в процессе исследования применялся блок управления, изображенный на рисунке 5.10, позволивший пробовать различные режимы наплавки путем изменения скорости наплавки в диапазоне от 0,1 до 0,3 м/мин или путем изменения силы тока в диапазоне от 240 до 270 А.

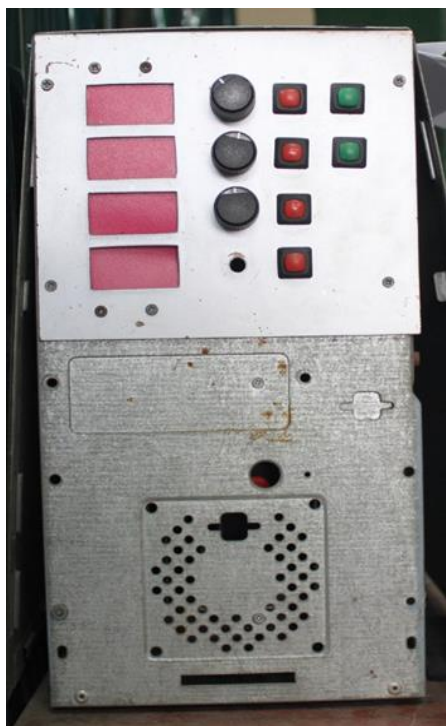


Рисунок 5.10 – Блок управления режимами наплавки.

Для создания газовой среды использовался аргон. Его потребление происходило в диапазоне от 12 до 18 л/мин, что контролировалось по показаниям, измеряемым расходом количества подачи инертного газа AP-40-KP1-M-P1. (рис.5.11).



Рисунок 5.11 – AP-40-KP1-M-P1.

Применялась программа «Universal Desktop Ruler» - компьютерная программа позволяющая высчитывать геометрические параметры получаемых валиков.

«2000 часов. (рис. 6) Температуру испытаний выбрали исходя из максимальной температуры эксплуатации интерметаллидов . Массу измеряли каждые 100 часов выдержки. Для проведения исследований была приобретена печь» (рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – Печь для испытания жаростойкости

6 Результаты проведенных исследований

Экспериментальным методом, были подобраны оптимальные режимы для проведения исследований формирования интерметаллидных покрытий системы Fe-Al путем наплавки.

6.1 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СвА5

Присадочный материал СвА5 был выбран первым для проведения эксперимента (таблица 6.1)

Таблица 6.1 – Сводные параметры режимов наплавки интерметаллидных покрытий Fe-Al, с использованием присадочной проволоки марки СвА5

№ Образца	V _{п/п} , м/мин	V _н , м/мин	I _н , А
1	1	0,15	270
2	2	0,15	270
3	3	0,15	270
4	4	0,15	270
5	5	0,15	270
6	6	0,15	270
7	2	0,15	240
8	2	0,15	270
9	2	0,1	270
10	2	0,2	270
11	1	0,15	240
12	1	0,15	270
13	1	0,1	270
14	1	0,2	270

15	0,5	0,15	270
----	-----	------	-----

Таблица 6.2 – Итоговые результаты измерительного контроля полученных с присадочной проволокой марки СвА5 образцов

№ Об разца	Ширин а шва (L), мм	Высот а шва (h), мм	Проплав ление (e), мм	Кол- во трещин, шт.
1	15,1	3,8	0,5	3
2	16,2	3,9	0,8	4
3	17,6	3,6	0,8	4
4	18,5	2,9	1,2	10
5	18,8	2,6	1,4	11
6	19,6	2,0	1,3	15
7	16,6	3,9	0,7	10
8	15,8	3,9	0,7	8
9	16,2	3,8	0,9	8
10	16,0	3,9	0,8	12
11	15,6	3,8	0,7	7
12	15,5	3,9	0,4	3
13	15,0	3,6	0,6	4
14	15,2	3,8	0,6	6
15	15,0	3,7	0,5	3

Проанализировав использованные в работе по наплавке режимы, можно заключить, что при взаимодействии выбранных материалов, а именно высокохромистой стали 08X13 и электродной присадочной проволокой СвА5, геометрические свойства наплавленных образцов, в избранных режимах, в целом сформировали стабильный, равномерный слой, при увеличении скорости наплавки, наблюдается частое образование холодных трещин, материал охрупчивается (рис. 6.1.) (таблица 6.2) [23].



Рисунок 6.1 – Пример полученного образца при применении проволоки СвА5

После измерения геометрических параметров образцов, получены следующие результаты: высота проплавления – от 2,0 до 3,9 мм (рис. 6.2), ширина проплавления – от 15,0 до 19,6 мм (рис. 6.3) , глубина проплавления – от 0,4 до 1,4 мм (рис 6.4). I_n – 250А, $V_{п/п}$ – от 0,5 д 6 м/мин, V_n – от 0.15 до 0.2 м/мин.

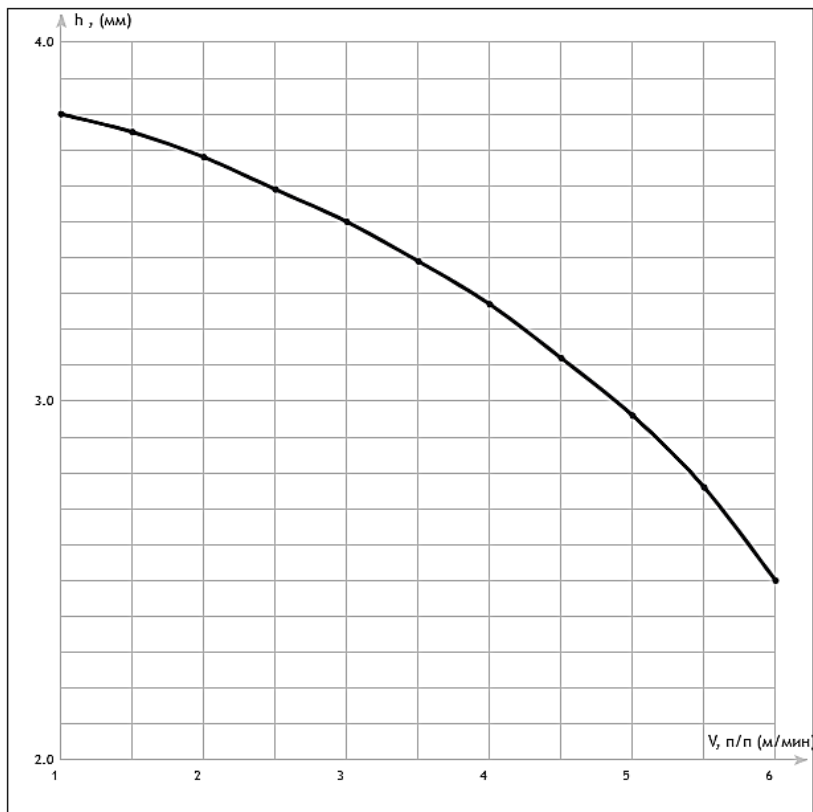


Рисунок 6.2 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СвА5 на высоту валика

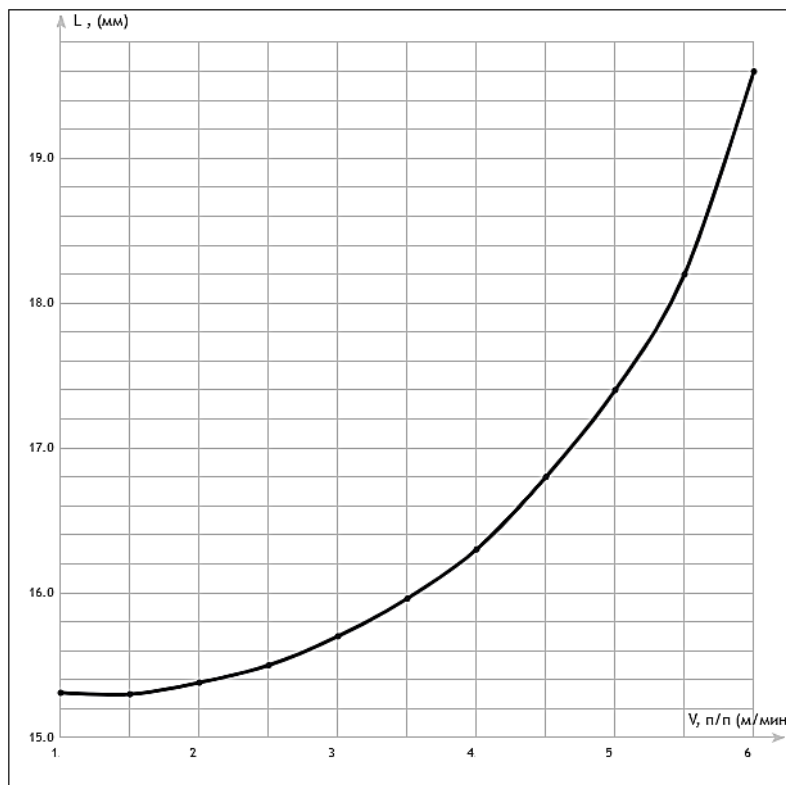


Рисунок 6.3 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СвА5 на ширину валика

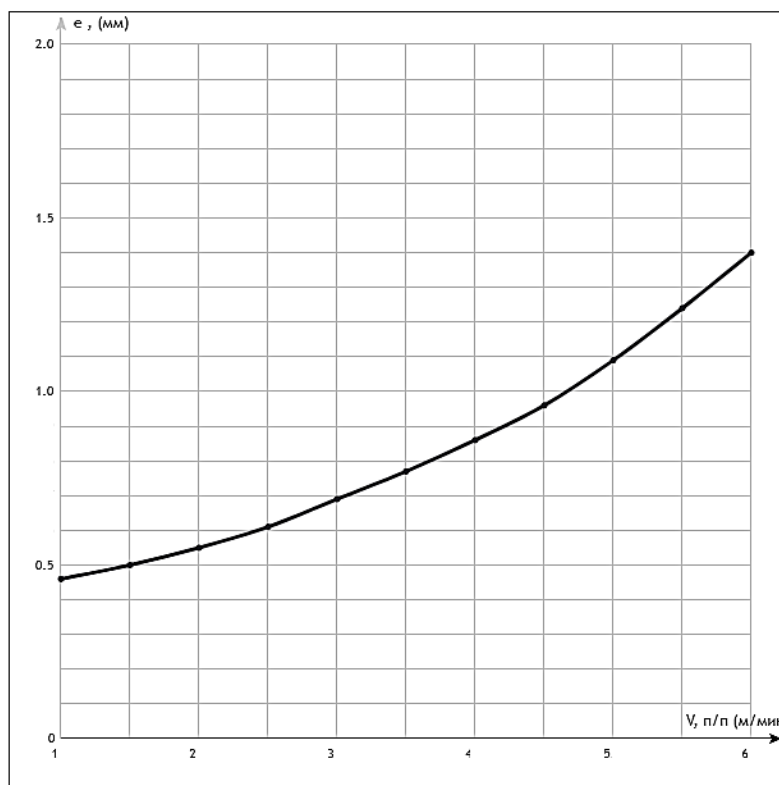


Рисунок 6.4 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СвА5 на глубину проплавления

Химический состав полученный в результате проведения исследования полученных в процессе эксперимента покрытий, определил взаимную связь процентного содержания в материале алюминия от изменения режима наплавки. При увеличении скорости подачи присадочного материала, процентное содержание Al возросло в пределах от 5,9 до 11,1 %.

Из вышесказанного следует, что увеличивающееся в процессе наплавки процентное содержания Al, является следствием изменения общего расхода Al и связано с пропорциональным уменьшением общей площади проплавления сварного шва (рис. 6.5).

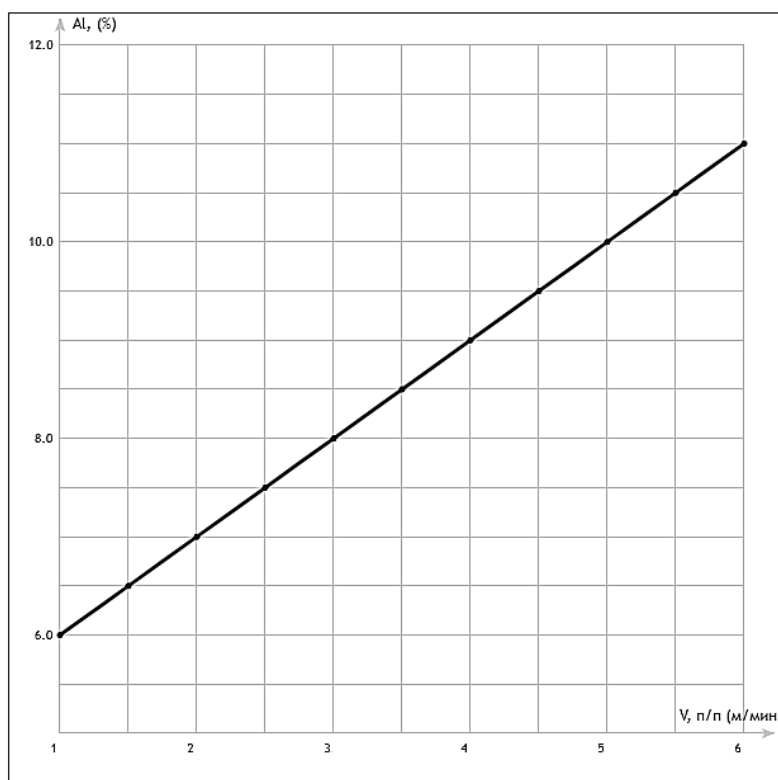


Рисунок 6.5 – График зависимости содержания Al от скорости подачи присадочной проволоки СвА5

Так же процентное содержание алюминия в полученных образцах можно увеличить или уменьшить, путем изменения итогового веса материала с помощью изменения все той же скорости наплавки.

«Исходя из полученных зависимостей химического состава наплавленного металла от режимов наплавки необходимо отметить, что управлять химическим составом наплавленного валика проще изменяя именно скорость подачи присадочной алюминиевой проволоки» [12].

«По сечению наплавленного валика наблюдается незначительная неравномерность по химическому составу» (рис.6.6) (таблица 6.3).

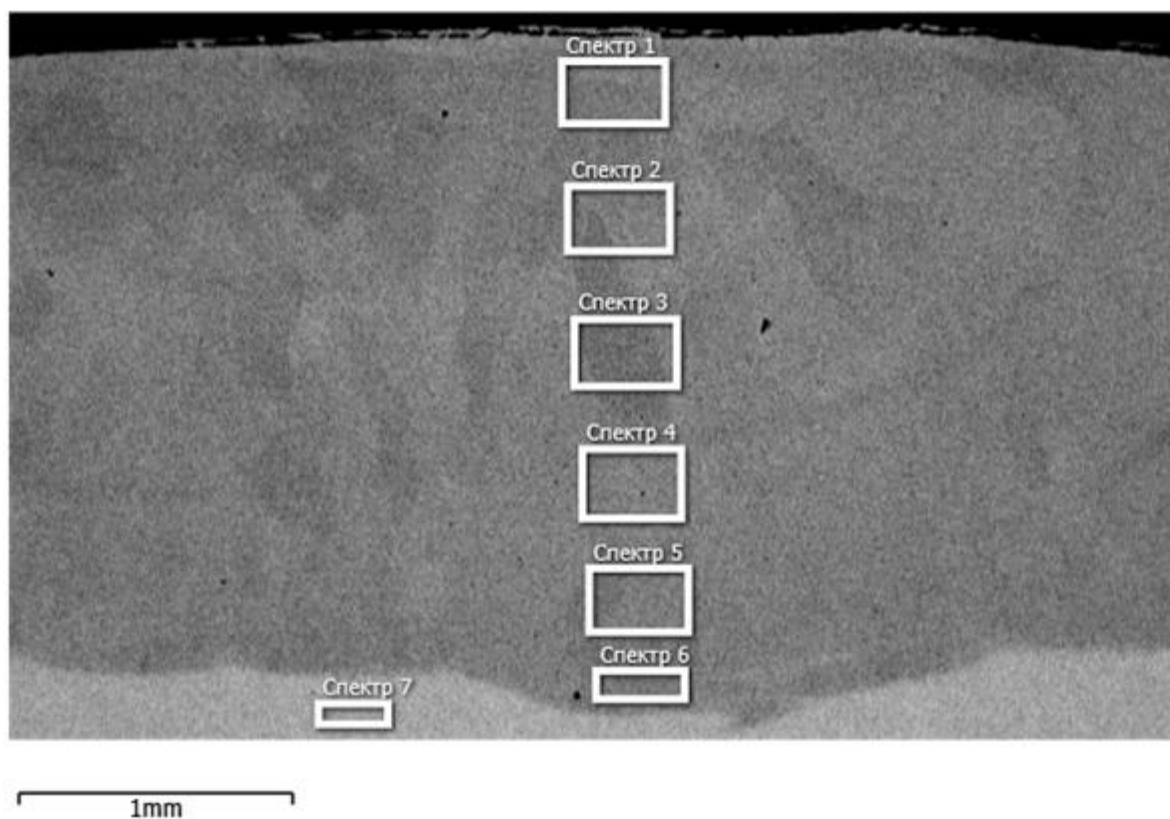


Рисунок 6.6 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВА5 образца № 1

Таблица 6.3 – Содержание химически элементов в образце № 1

Спектр №	C, %	Al, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %	Сумма, %
1	96	7,06	17,02	1,36	6,9	6,5	100
2	98	7,20	17,06	1,21	6,6	6,5	100
3	93	7,39	17,07	1,16	6,5	6,4	100
4	86	7,15	17,01	1,24	6,3	6,7	100
5	95	7,15	17,18	1,47	6,5	6,2	100

6	7, 39	17 ,39	0 ,98	6 7,86	6,3 8	100
7	-	18 ,34	1 ,02	7 0,48	7,1 6	100

«Интерметаллидные наплавленные образцы с содержанием Al в пределах 7 – 9 %, практически не имеют трещин. Наплавленные валики с содержанием в своем составе Al от 9 – 10 %, на участках подвергнутого визуально измерительному контролю имели от 2 до 5 трещин. Самое большое количество трещин возникло в образцах с содержанием алюминия более 10 %, в γ -фазе (рис. 6.7)» (таблица 6.4).

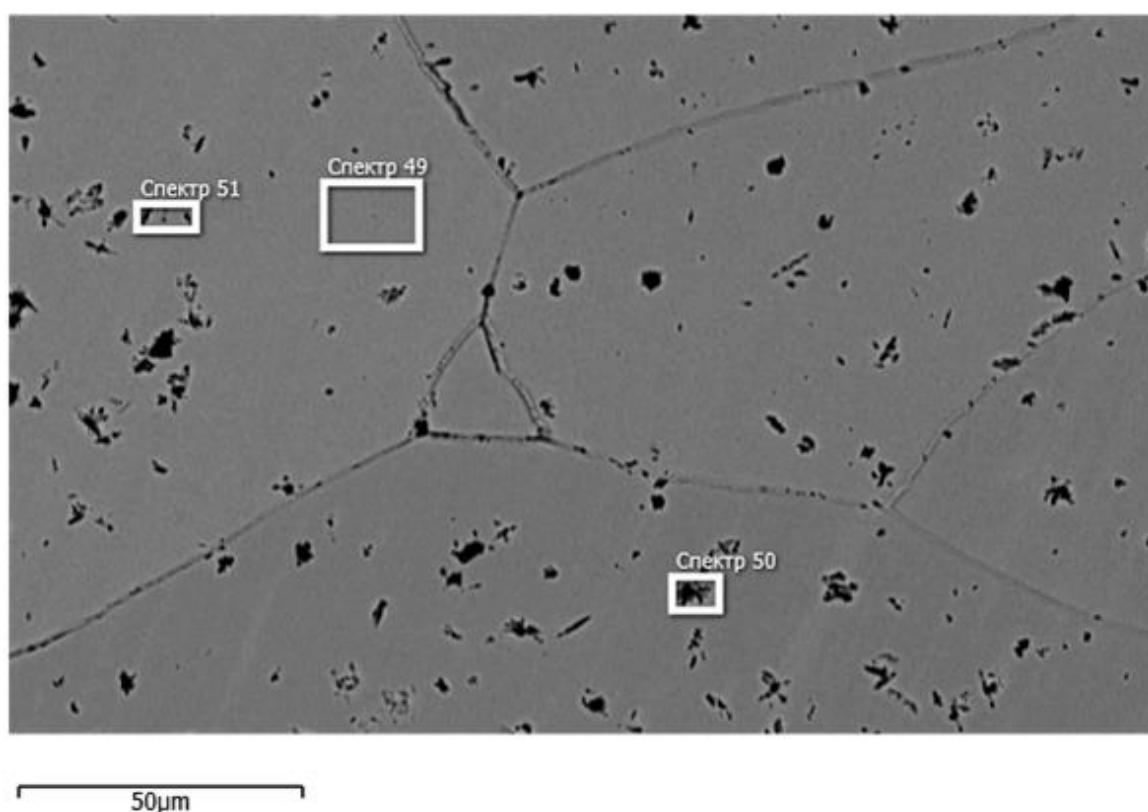


Рисунок 6.7 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВА5 образца № 10

Таблица 6.4 – Содержание химически элементов в образце № 10

Спектр №	Al, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %	Сумма, %
6	7,39	17,39	0,98	67,86	6,3	100
7	-	18,34	1,02	70,48	7,1	100

0	5	10	16	1	6	7.1	100
	,24		.02	.16	5.43	6	
1	5	10	17	0	6	7.3	100
	,91		.21	.98	3.61	0	
9	4	9,	16	1	6	7.3	100
	35		.58	.13	4.55	9	

«Общее содержание других химических элементов в наплавленных образцах, также претерпевали изменения в процессе наплавки» (рис. 6.8).

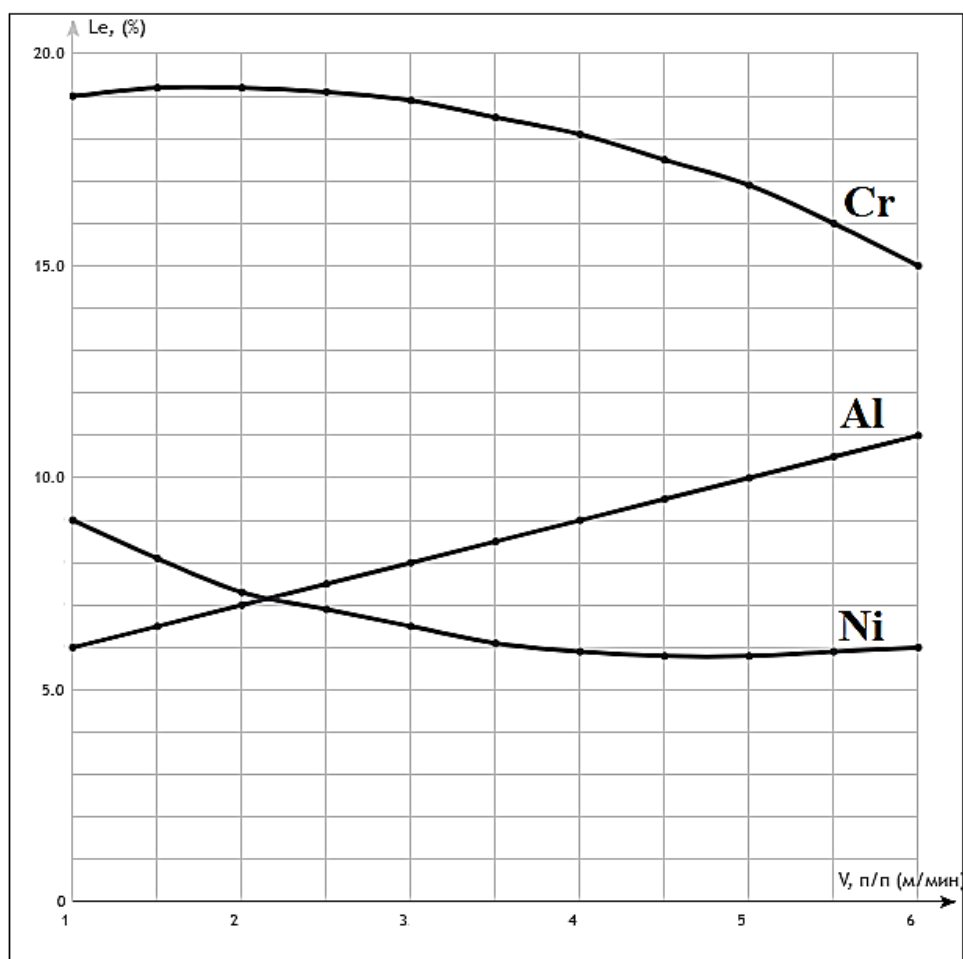


Рисунок 6.8 – График зависимости химического состава наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвА5

Результаты замеров твердости наплавленных в ходе опыта образцов менялась в перерыве значений от 45 до 19 HRC. С увеличением скорости

подачи проволоки, а следовательно и наращиванием содержания в интерметаллиде алюминия, уменьшается твердость эталонного образца.

При режимах скорости подачи проволоки от 0,5 до 1,0 м/мин, были достигнуты оптимальные показатели соотношения твердости и скорости, были достигнуты, на данных режимах, количественное содержание алюминия в сплаве варьируется в пределах от 7 % до 8 %. (рис. 6.9).

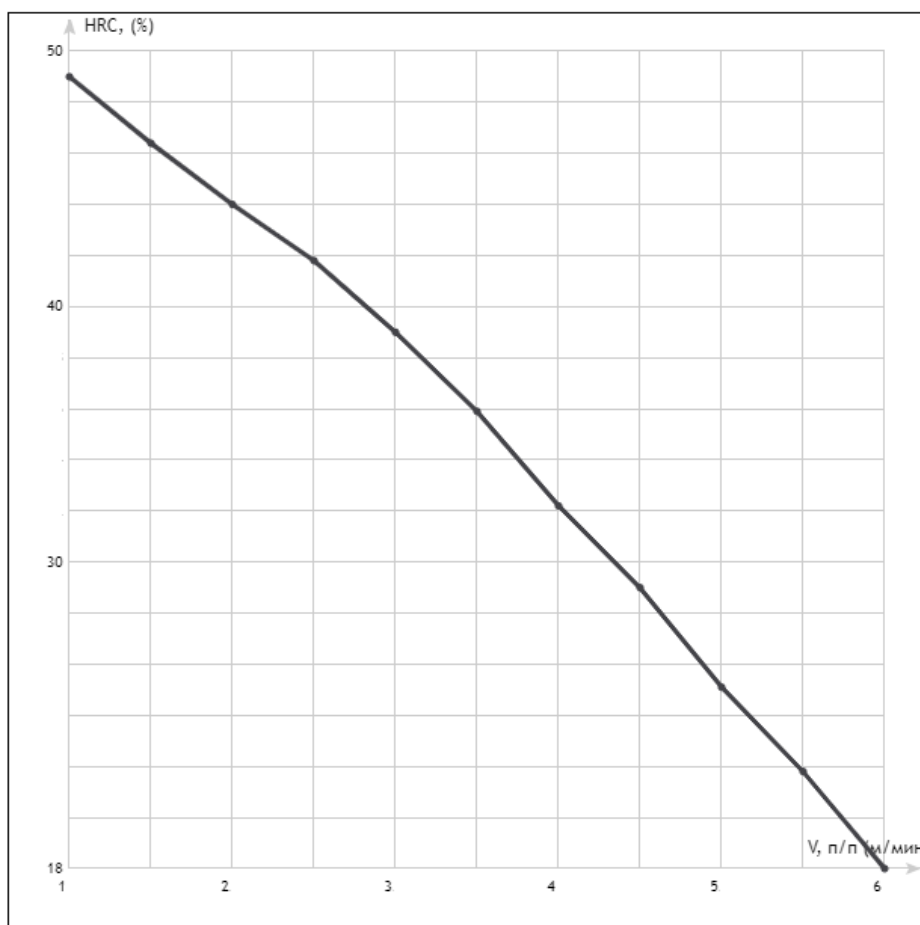


Рисунок 6.9 – График зависимости твердости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвА7

Полученные показатели износостойкости материала варьировалась в пределах от 0.80 до 1.90 у.е. При увеличении процентного содержания алюминия (насыщением исходного материала Al), износостойкость возрастает.

Резкое охрупчивание, растрескивание и выкрашивание материала наступает при наблюдении определенного химического состава, это происходит как следствие абразивного воздействия на образец (рис. 6.10).

Отсутствие в составе присадочной проволоки СвА5 кремния, непосредственно повлияло на самые слабые показатели износостойкости среди выбранных для проведения эксперимента присадочных материалов.

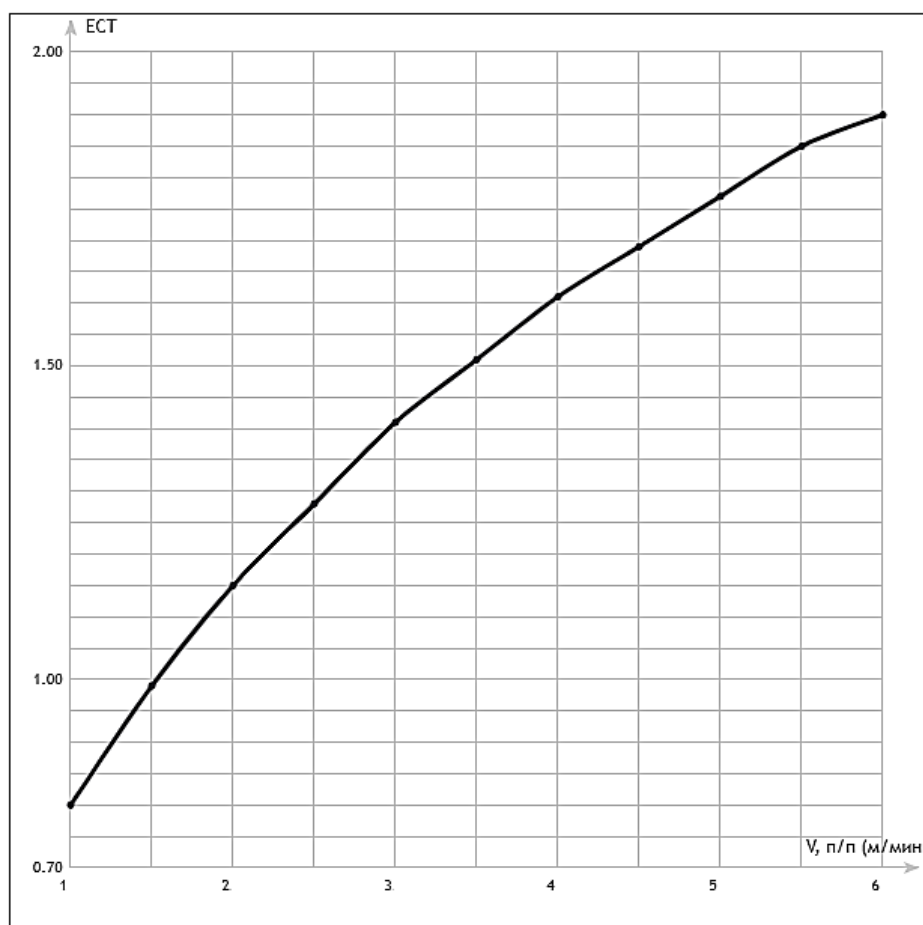


Рисунок 6.10 – График зависимости износостойкости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвА5

«Изучение жаростойкости проходило с выдержкой наплавленного материала в муфельной печи, в течении 300 часов при температуре в 800°C . Результаты показали совсем незначительную потерю массы образцов не превышающее 0.8 %. (рис. 6.11).

Увеличения массы эталонами не наблюдалось, например как оглавление Al в наплавленном покрытии не выше 11.1 %, а значит окисление совсем не большое и не мешает очистки с плоскости эталона слоя окисла».

Малозначительная утрата массы, вероятнее всего связана с совсем маленькой для испытуемого интерметаллида выдержкой при проведении изучений жаростойкости, при долгом тестировании эталона имеет возможность поменяется с большими изменениями от исходного.

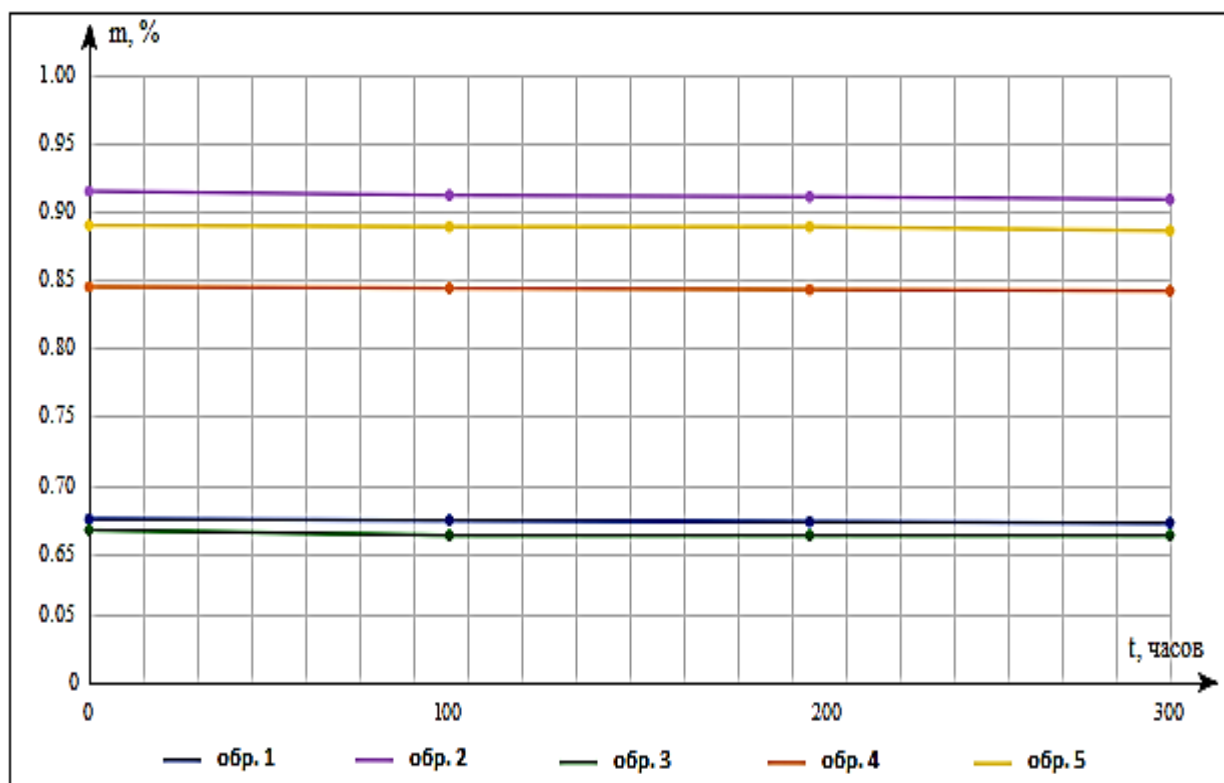


Рисунок 6.11 – График зависимости износостойкости наплавленных валков от скорости подачи присадочной проволоки СвА5

6.2 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СвАК5

«Исследование наплавки интерметаллидных покрытий присадочной проволокой СвАК5, производились по аналогичной методике, с использованием наиболее подходящих режимах, уже испробованных на проволоке СвА5» (таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Параметры режимов наплавки интерметаллидных покрытий Fe-Al, присадочной проволокой СВАК5

№ Образца	$V_{п/п}$, м/мин	$V_{н}$, м/мин	$I_{н}$, А
1	0,5	0,15	270
2	1	0,15	270
3	0,75	0,15	270
4	1,25	0,15	270
5	0,5	0,15	270
6	1	0,15	270
7	0,75	0,15	270
8	1,25	0,15	270

«Полученные в ходе наплавки электродной присадочной проволокой СВАК5 на высоколегированную хромоникелевую сталь 08X13, в целом сформировали стабильный слой, при увеличении скорости наплавки, образование холодных трещин практически отсутствует, структура стабильна» (рис. 6.12) (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Результаты измерительного контроля наплавленных с присадочной проволокой СВАК5 образцов

№ Об разца	Ширин а шва (L), мм	Высот а шва (h), мм	Проплав ление (e), мм	Кол- во трещин, шт.

1	14,9	3,5	0,7	0
2	16,1	3,5	0,8	1
3	15,6	3,9	1,0	0
4	17,8	3,8	1,1	0
5	15,1	2,9	1,4	0
6	17,0	3,5	1,1	0
7	16,5	3,9	1,1	0
8	17,9	4,1	1,3	2

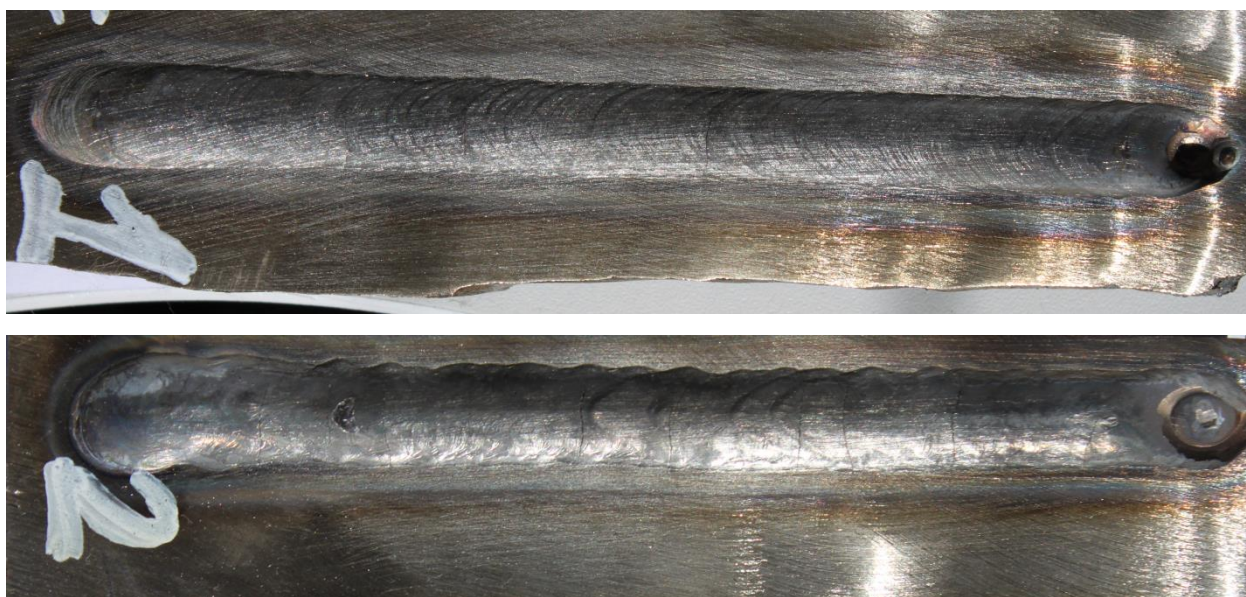


Рисунок 6.12 – Визуальный результат наплавки проволокой СвАК5

Геометрические параметры наплавленных валиков составляют: высота – от 2,9 до 4,1 мм (рис. 6.13), ширина – от 14,9 до 17,9 мм (рис. 6.14) , глубина проплавления – от 0,7 до 1,4 мм (рис 6.16). I_n – 270А, $V_{п/п}$ – от 0,5 до 1,25 м/мин, V_n – 0.15 м/мин.

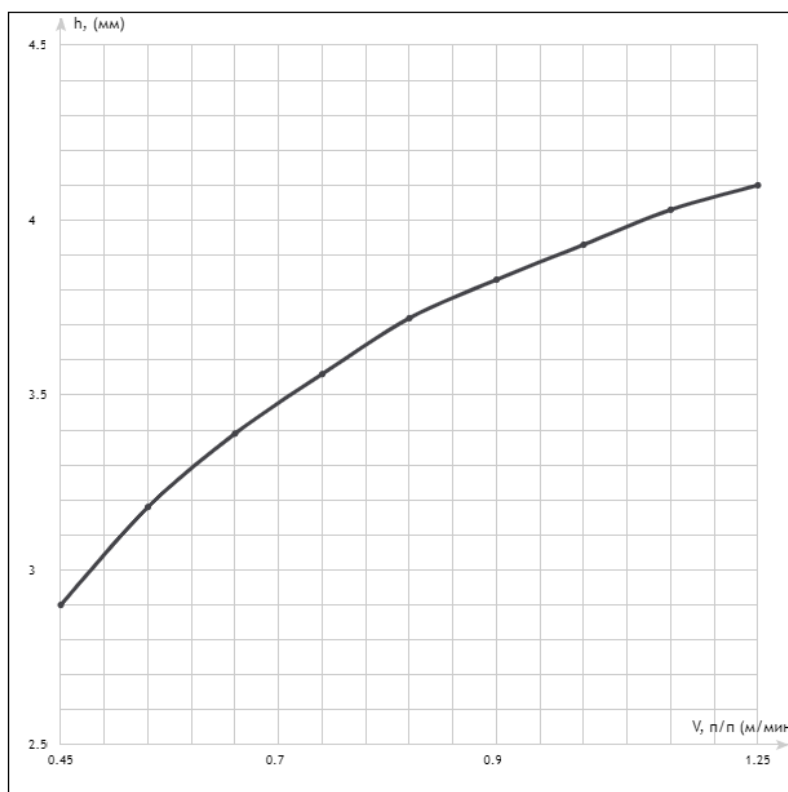


Рисунок 6.13 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК5 на высоту валика

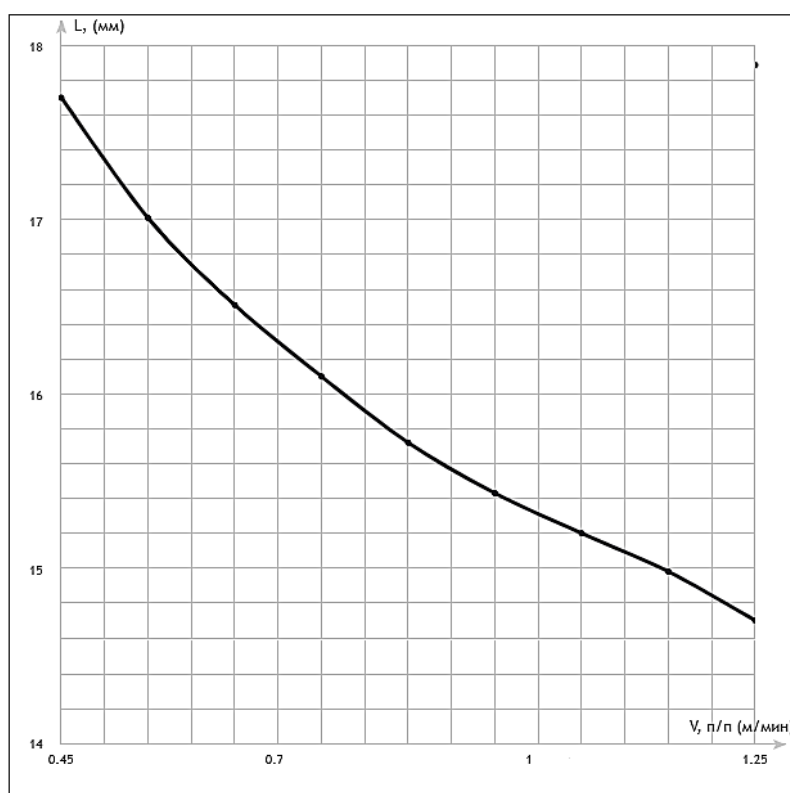


Рисунок 6.14 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК5 на ширину валика.

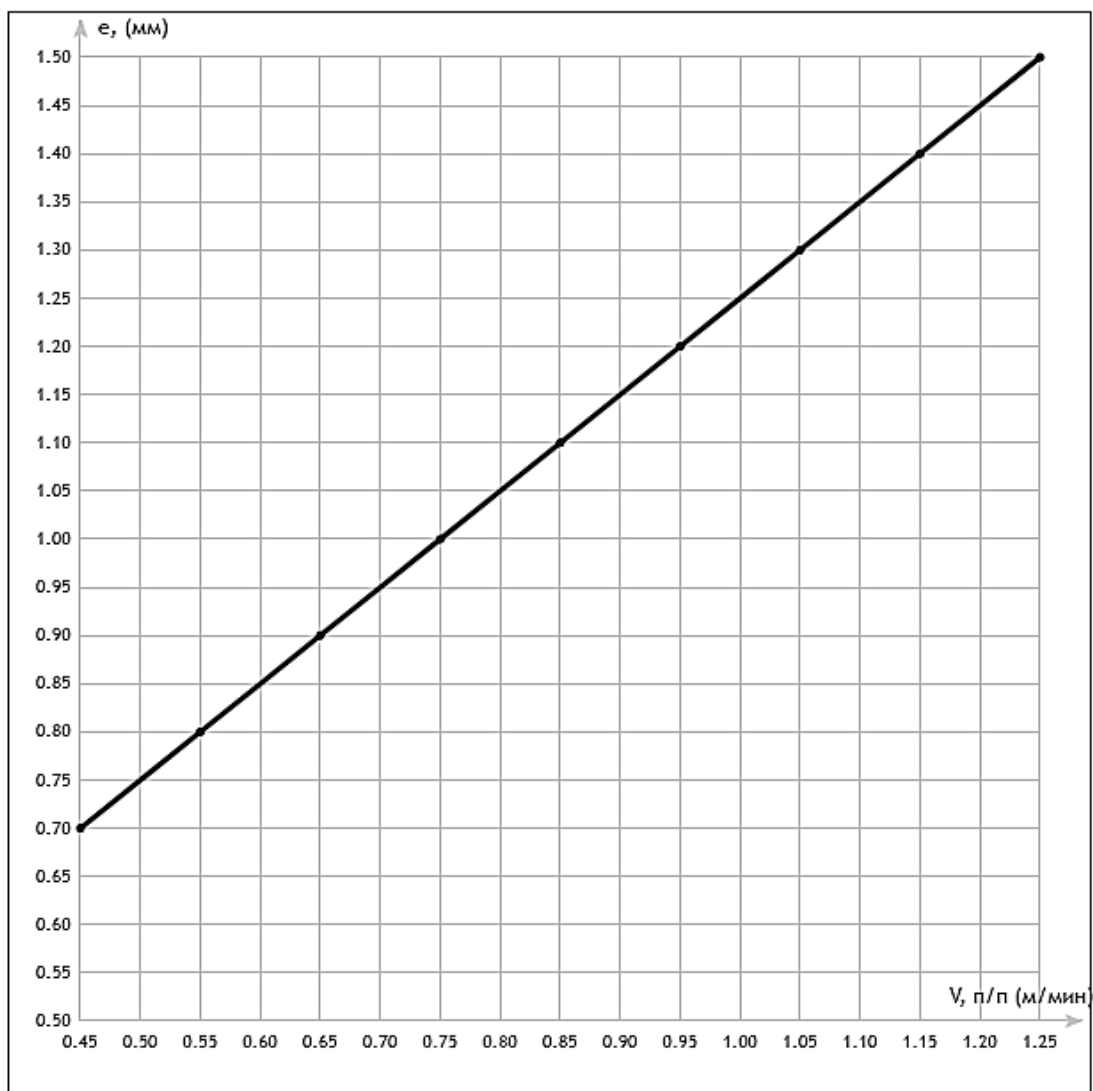


Рисунок 6.15 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК5 на глубину проплавления.

Химический анализ наплавленных образцов показал, что содержание Al в наплавленном шве находится в пределах 6,1 - 15,1 %.

«Так же замечена связь между содержанием алюминия в сплаве и увеличением скорости подачи присадочной проволоки, процент содержания увеличивается» (рис. 6.16).

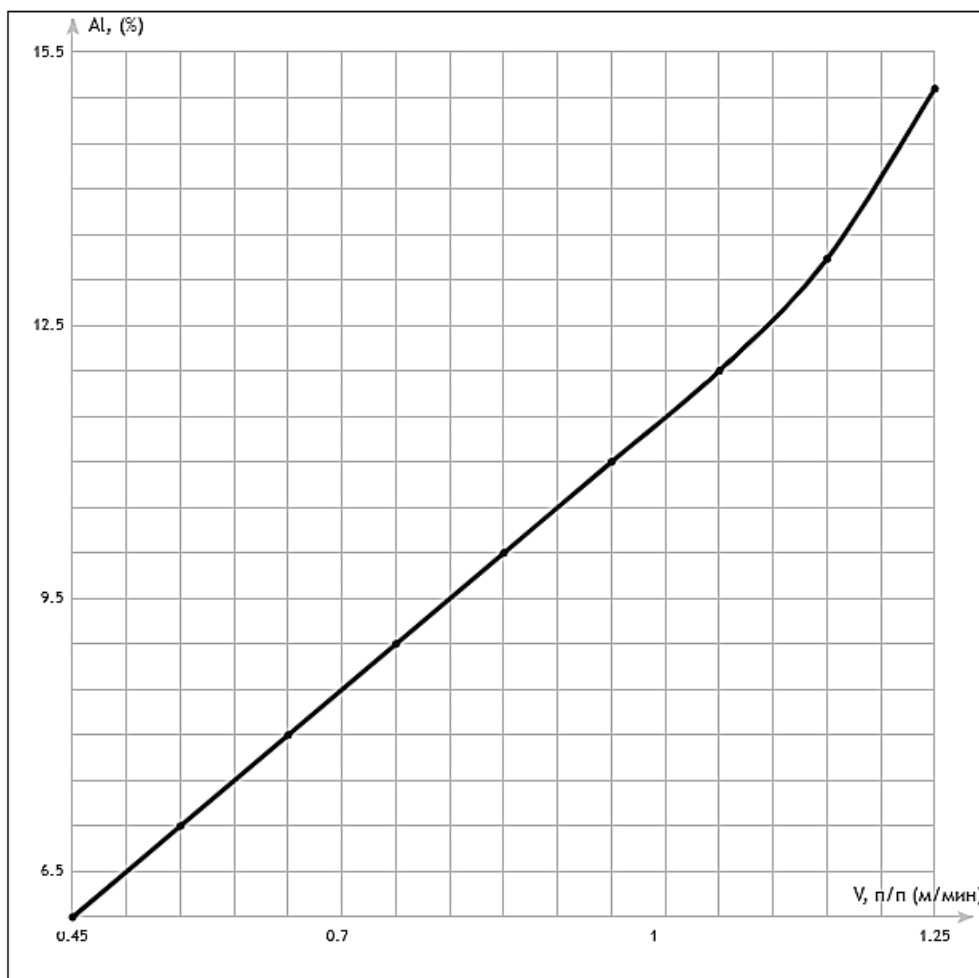


Рисунок 6.16 – График зависимости содержания Al от скорости подачи присадочной проволоки СВАК5

«При возрастании скорости подачи присадочной проволоки, в связи с увеличением массового расхода проволоки и уменьшения площади проплавления основного металла» [15].

Количество химических элементов (алюминий, кремний, магний, хром) в полученном шве увеличилось, увеличение алюминия составило до 15.1%.

«Химический анализ показал неравномерность по составу в отдельных контролируемых спектрах» (рис. 6.17) (таблица 6.7).

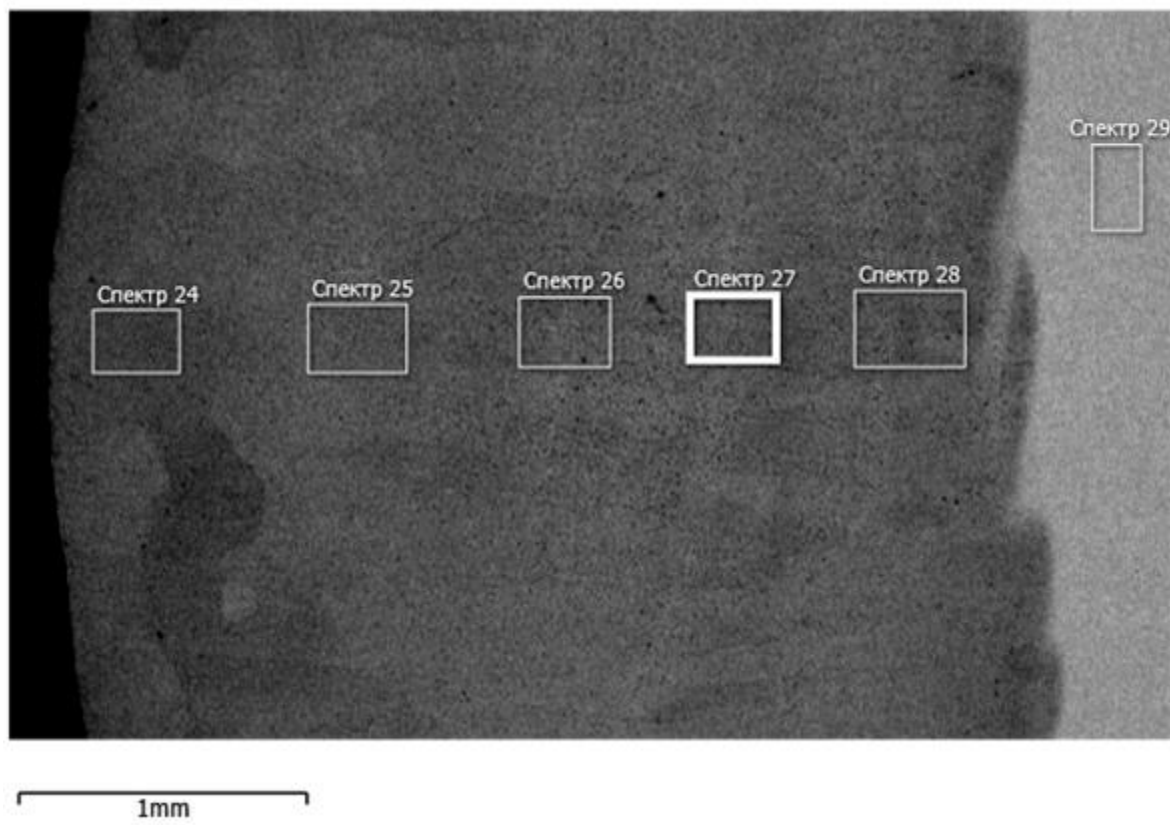


Рисунок 6.17 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВАК5 образца № 4

Таблица 6.7 – Содержание химических элементов в образце № 4

Спектр №	Al, %	Cr, %	Mn, %	Fe, %	Si, %	S, %	N, %	Сумма, %
2	11	15	1	6	0	7	1	
4	,13	,94	,05	3,84	,31	,73	00	
5	9,39	,44	,02	5,29	,30	,56	00	
6	9,29	,40	,05	5,57	,26	,44	00	
7	9,09	,52	,98	5,63	,30	,48	00	
8	9,20	,48	,01	5,40	,30	,61	00	

9	2	-	17,92	1,07	7,172	0,36	7,94	1,00
---	---	---	-------	------	-------	------	------	------

«Образцы с содержанием алюминия в наплавленном покрытии в диапазоне от 9,20 – 10 %, не имеют трещин. При увеличении содержания Al выше 10 %, существует вероятность появления холодных трещин. ВИК показал от 1-2 трещины. Трещины возникли в образцах наплавленных с высокой скоростью подачи проволоки» (рис. 6.18) (таблица 6.8).

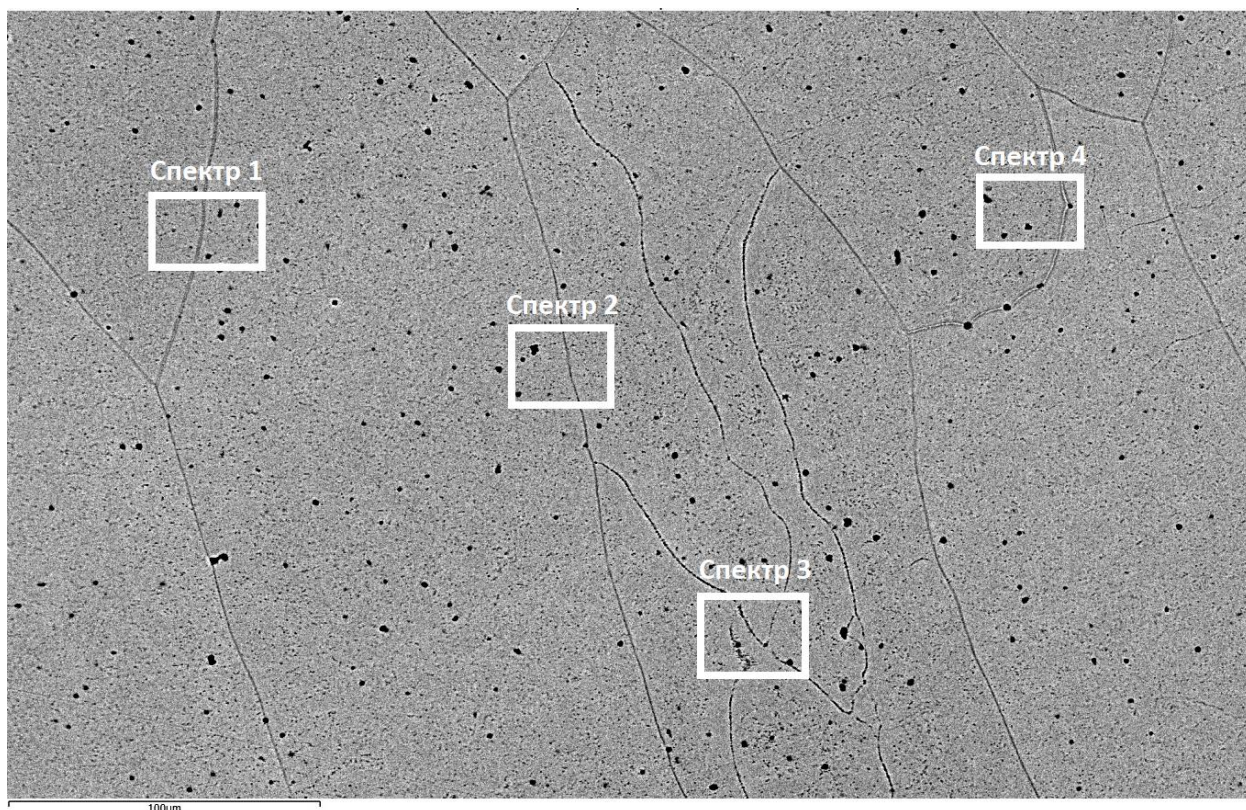


Рисунок 6.18 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВАК5 образца № 8

Таблица 6.8 – Содержание химически элементов в образце № 8

Спектр №	C, l,	A, r,	C, n,	M, e,	F, i,	N, i,	S,	Сум ма,
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	4,24	4.94	.05	1.84	.73	.31	0	100
2	2,39	5.44	.02	3.29	.56	.30	0	100

3	1	1	1	6	7	0	100
	2.29	5.40	.05	3.57	.44	.26	
4	1	1	0	6	7	0	100
	2.09	5.52	.98	3.63	.48	.30	

«С ростом скорости подачи проволоки содержание Al выросло, содержание Si колебалось в пределах 0,30 %, незначительно увеличилось содержание Cr» (рис. 6.19).

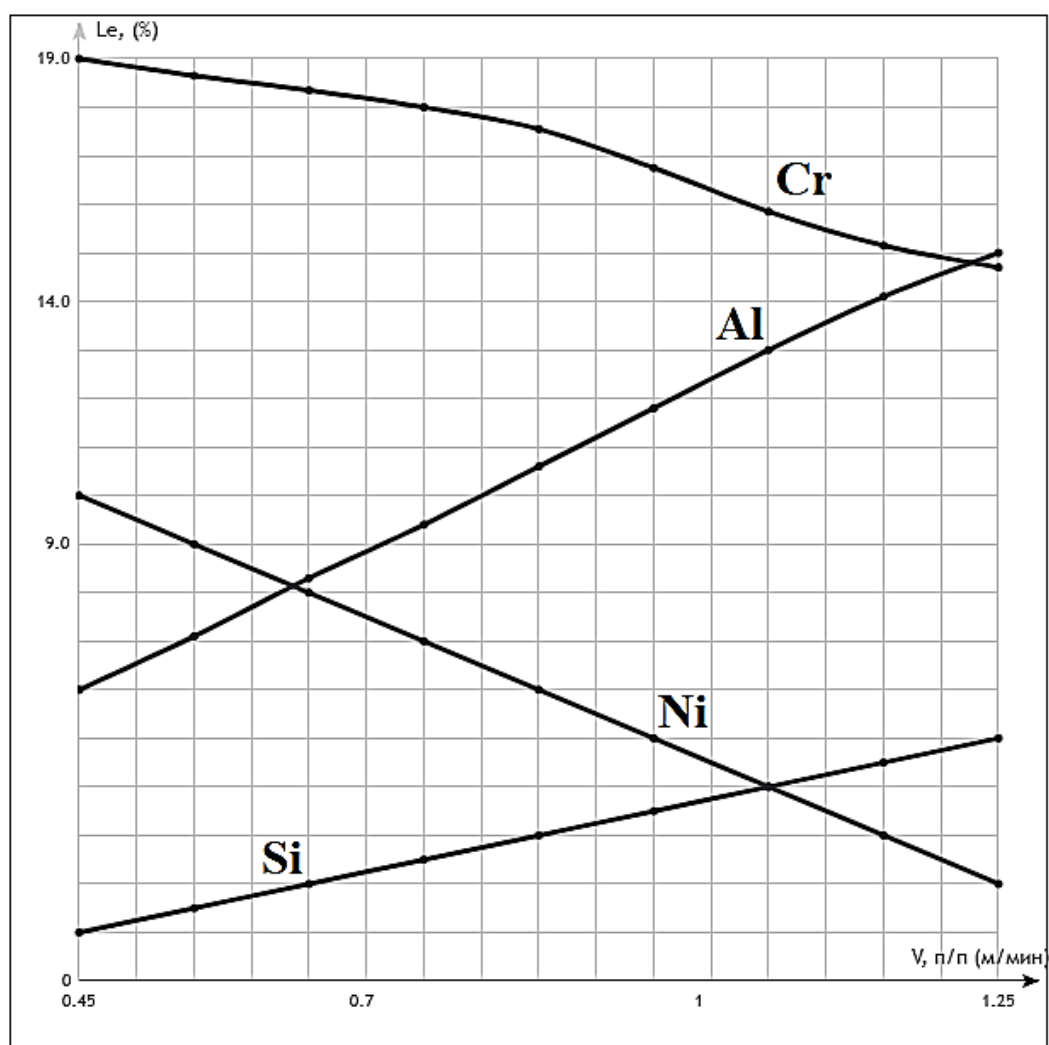


Рисунок 6.19 – График зависимости химического состава наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СВАК5

Замеры твердости после проведения наплавки интерметаллида, показали результаты в пределах от 44 до 18 HRC. Изменения скорости

подачи проволоки, и рост процентного содержания в шве Al, влияет на уменьшение твердости полученных образцов.

При подачи присадочной проволоки со скоростью 0,5 - 0,75 м/мин, показатели твердости и скорости наиболее идеальны, количественное содержание алюминия в таком случае составляет от 10 % до 12 %. (рис. 6.20).

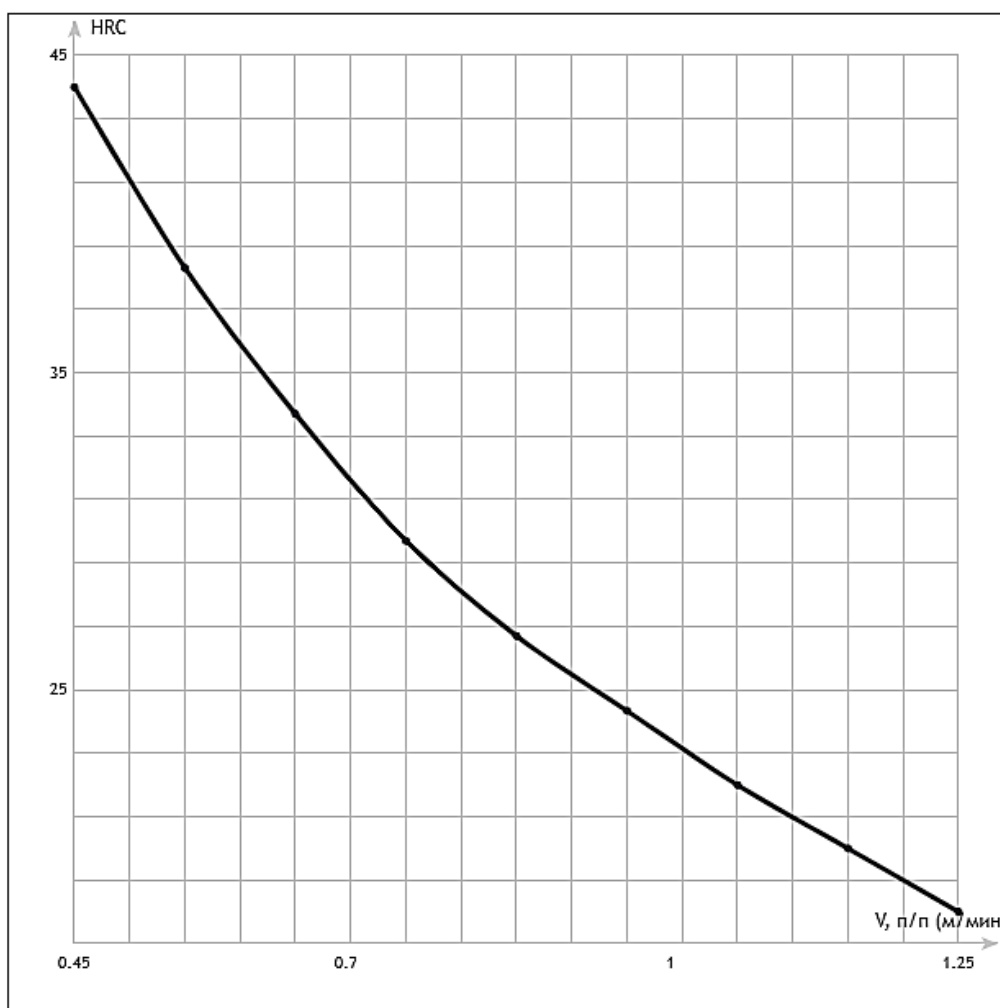


Рисунок 6.20 – График зависимости твердости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвАК5

Замеры после проведения наплавки относительной износостойкости показали результаты в диапазоне 0,70 - 2,50 у.е. С увеличением в результате наплавки содержания Al и Si падает износостойкость полученного интерметаллида.

«Еще более высокое содержания легирующих элементов снижает значение относительной износостойкости наплавленного металла» (рис. 6.21) [16].

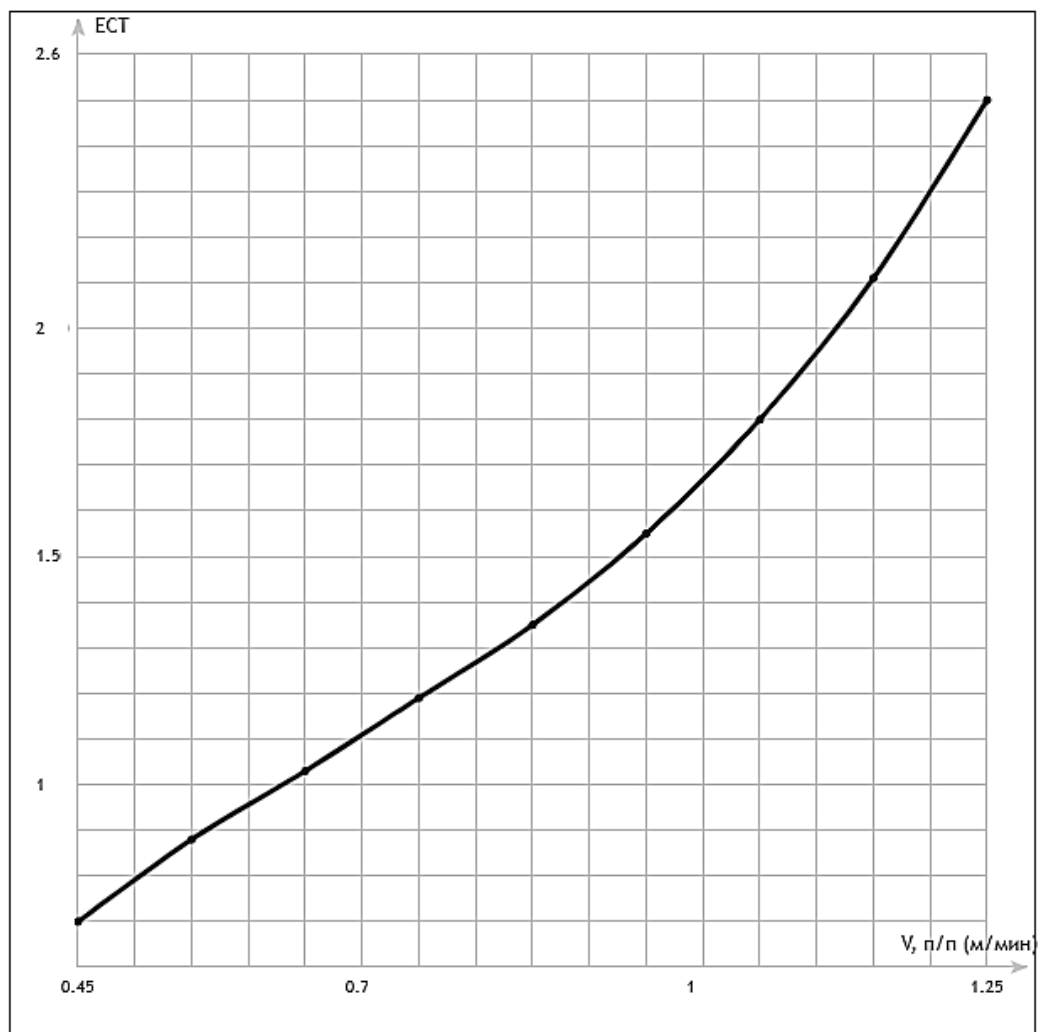


Рисунок 6.21 – График зависимости износостойкости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвАК5

Жаростойкость устанавливалась при помощи и выдержки полученных образцов в муфельной печи в пределах 300 часов с показателем t 800° С. Результаты показали потерю массы интерметаллидов до 0.7 %, что является совсем незначительным отклонением. (рис. 6.22).

Увеличение массы не было установлено, это произошло в результате небольшого содержания алюминия в пределах 14,5 %, что обуславливает

небольшой оксидный слой и не препятствует его очистки с полученных образцов.

Совсем небольшая потеря исходной массы образцов, следствие маленькой выдержки при эксперименте по исследованию жаростойкости полученных интерметаллидов.

Возможно при более продолжительной выдержке масса полученного интерметаллида может увеличиться.

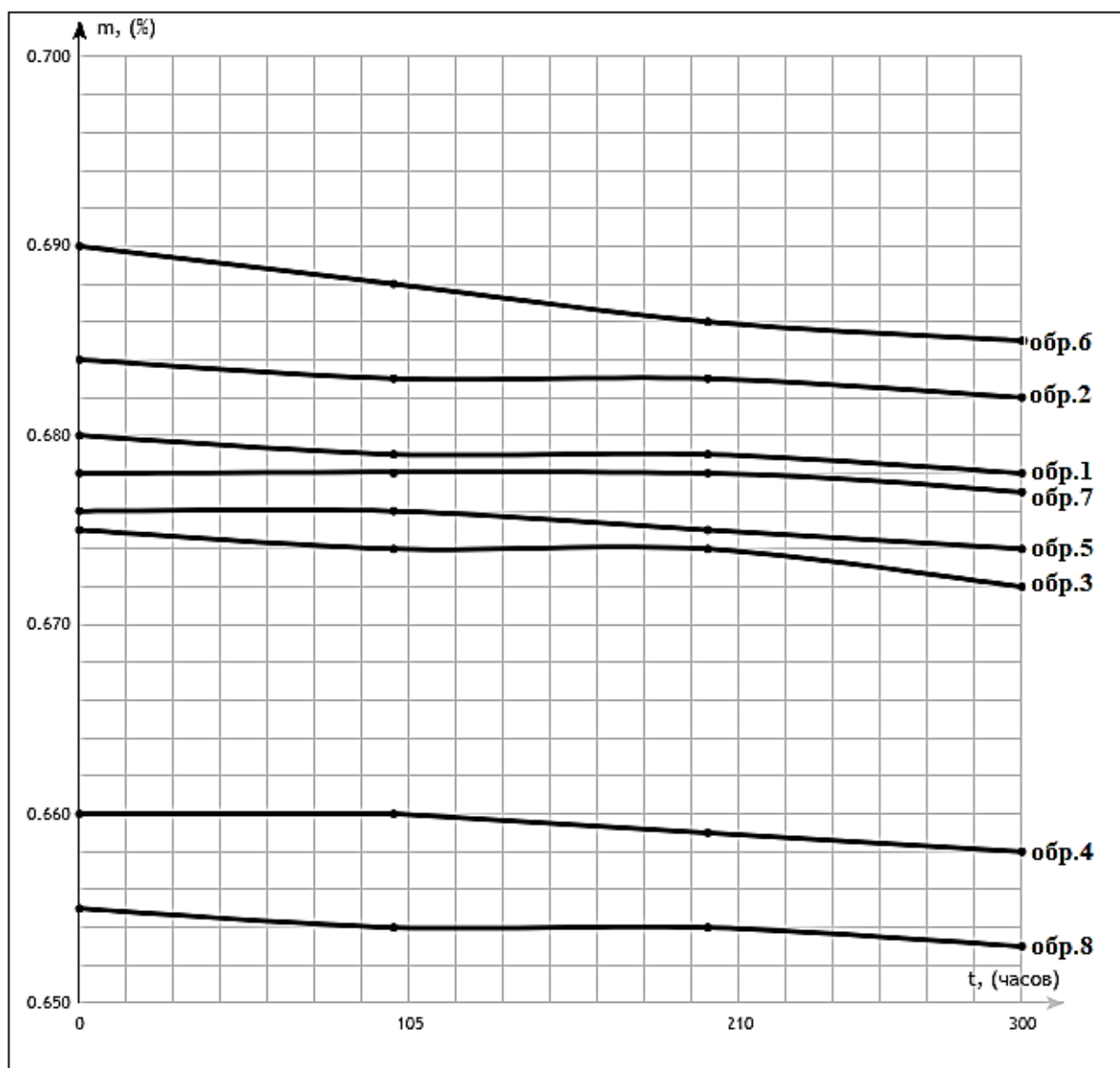


Рисунок 6.22 – График зависимости износостойкости наплавленных валков от скорости подачи присадочной проволоки СВАК5

6.3 Результаты проведенных исследований наплавки присадочной проволокой СВАК12

«Третьим экспериментом стала наплавки интерметаллидных покрытий присадочной проволокой СВАК12. Мероприятия производились по отработанной методике, с использованием заранее подобранных режимов наплавки, уже испробованных на проволоке СВА5 и СВАК5» (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Параметры режимов наплавки интерметаллидных покрытий Fe-Al, присадочной проволокой СВАК12

№ Образца	$V_{п/п}$, м/мин	V_H , м/мин	I_H , А
1	0,5	0,15	270
2	1	0,15	270
3	0,75	0,15	270
4	1,25	0,15	270
5	0,5	0,15	270
6	1	0,15	270
7	0,75	0,15	270
8	1,25	0,15	270

«Наплавленные образцы, полученные в ходе наплавки электродной присадочной проволокой СВАК12 на высоколегированную хромоникелевую сталь 08X13, образовали достаточно стабильный слой, при увеличении

скорости наплавки, образование холодных трещин практически отсутствует, структура стабильна» (рис. 6.23) (таблица 6.10).

Таблица 6.10 – Результаты измерительного контроля наплавленных с присадочной проволокой СВАК12 образцов

№ Об разца	Ширин а шва (L), мм	Высот а шва (h), мм	Проплав ление (e), мм	Кол- во трещин, шт.
1	15,8	2,7	1,7	0
2	16,4	2,4	1,8	0
3	16,7	2,4	1,9	0
4	17,1	2,3	2,1	0
5	16,8	2,9	1,8	0
6	17,5	2,5	1,8	0
7	17,0	3,0	1,9	1
8	17,4	2,6	2,3	0

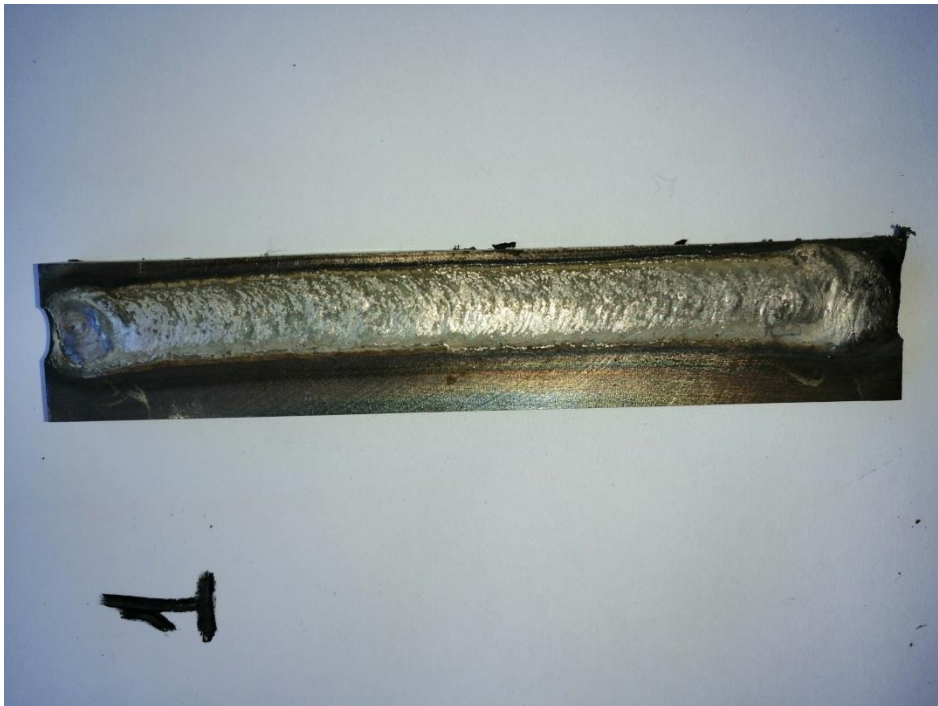
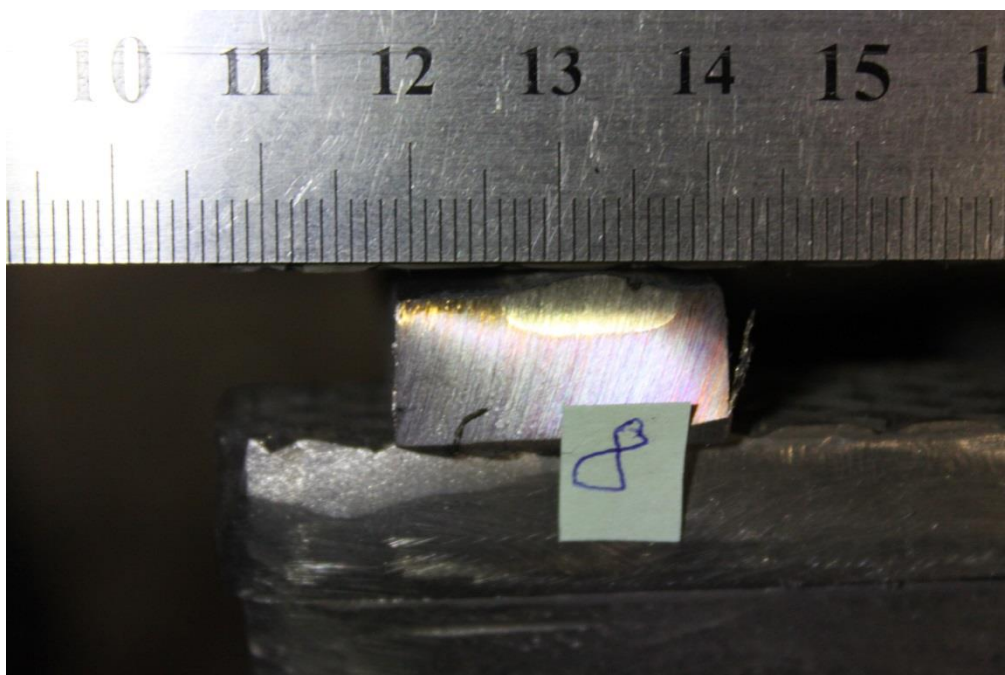
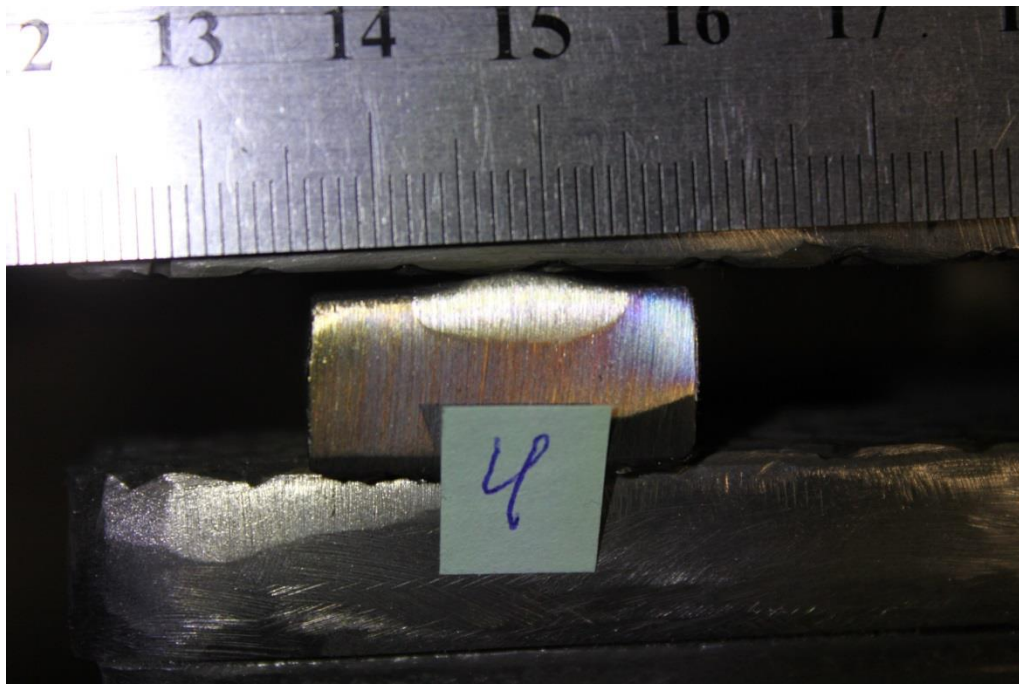


Рисунок 6.23 – Визуальный результат наплавки проволокой СВАК12
«Замеры производились с помощью визуального измерительного
контроля» (рис. 6.24)



a)



б)

Рисунок 6.24 – Визуальный измерительный контроль наплавленного материала: а) образец № 8; б) образец № 4

Геометрические характеристики наплавленного на сталь 08Х13 слоя оформляют: параметры высоты 2,4 - 3,0 мм (рис. 6.25), параметры ширины 15,8 - 17,5 мм (рис. 6.26) , параметры глубины проплавления 1,7 - 2,3 мм (рис 6.27).

Режимы наплавки: I_n – 270А, $V_{п/п}$ – от 0,5 до 1,25 м/мин, V_n – 0.15 м/мин.

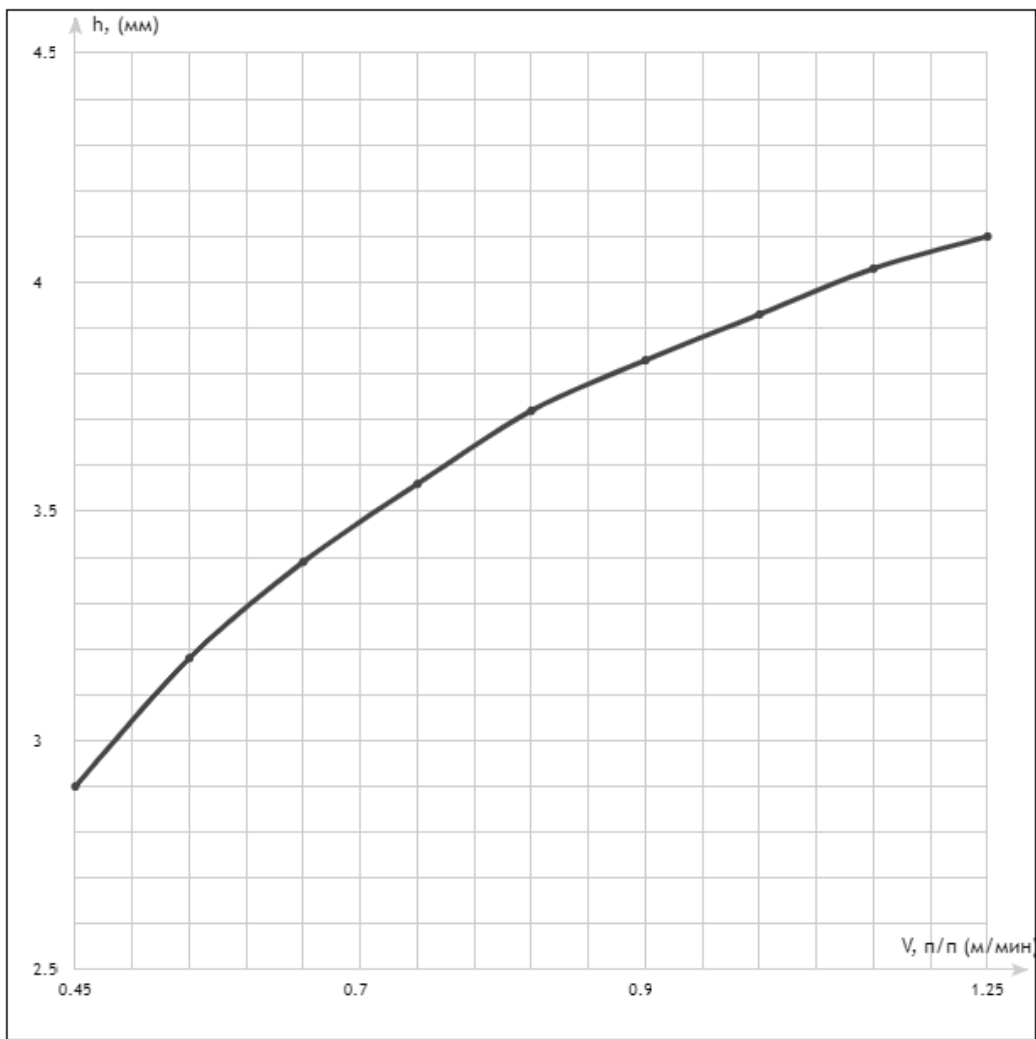


Рисунок 6.25 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК12 на высоту валика

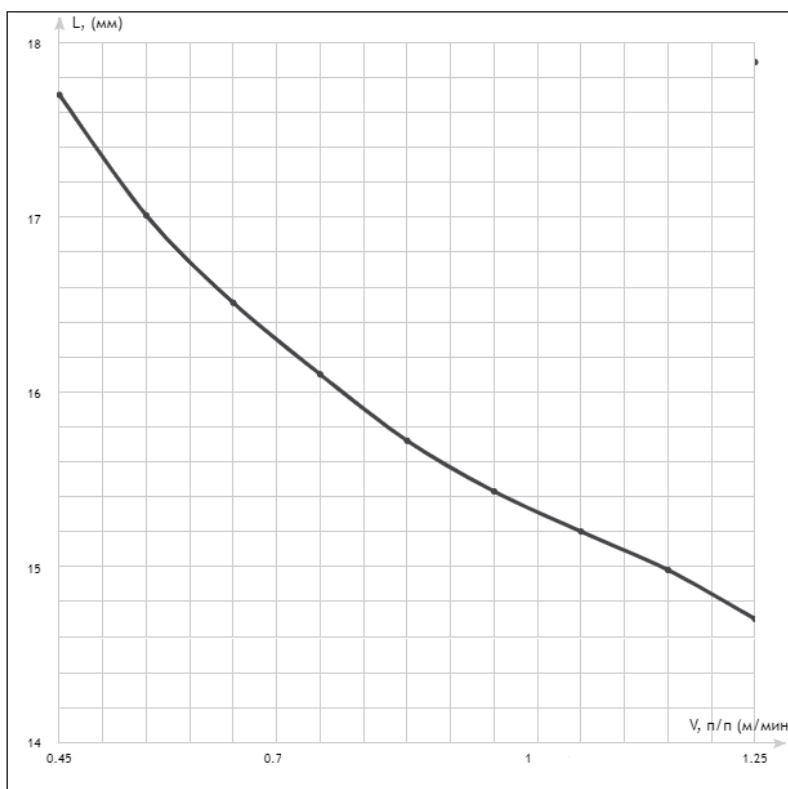


Рисунок 6.26 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК12 на ширину валика

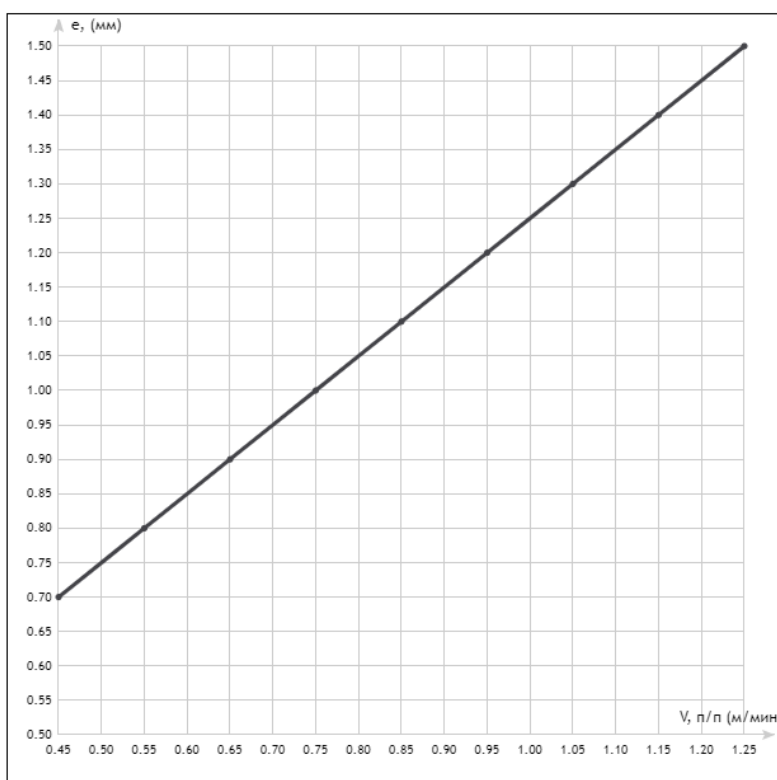


Рисунок 6.27 – График влияния режимов скорости подачи присадочной проволоки СВАК12 на глубину проплавления.

В результате эксперимента по изучению химического анализа интерметаллидов, получены сведения по содержанию алюминия Al в наплавленном шве, оно колеблется в пределах 4 -12.5 %.

«Так же как и при предыдущих экспериментах, прослеживается связь между содержанием алюминия в сплаве и увеличением скорости подачи присадочной проволоки, процент содержания пропорционально увеличивается» (рис. 6.28).

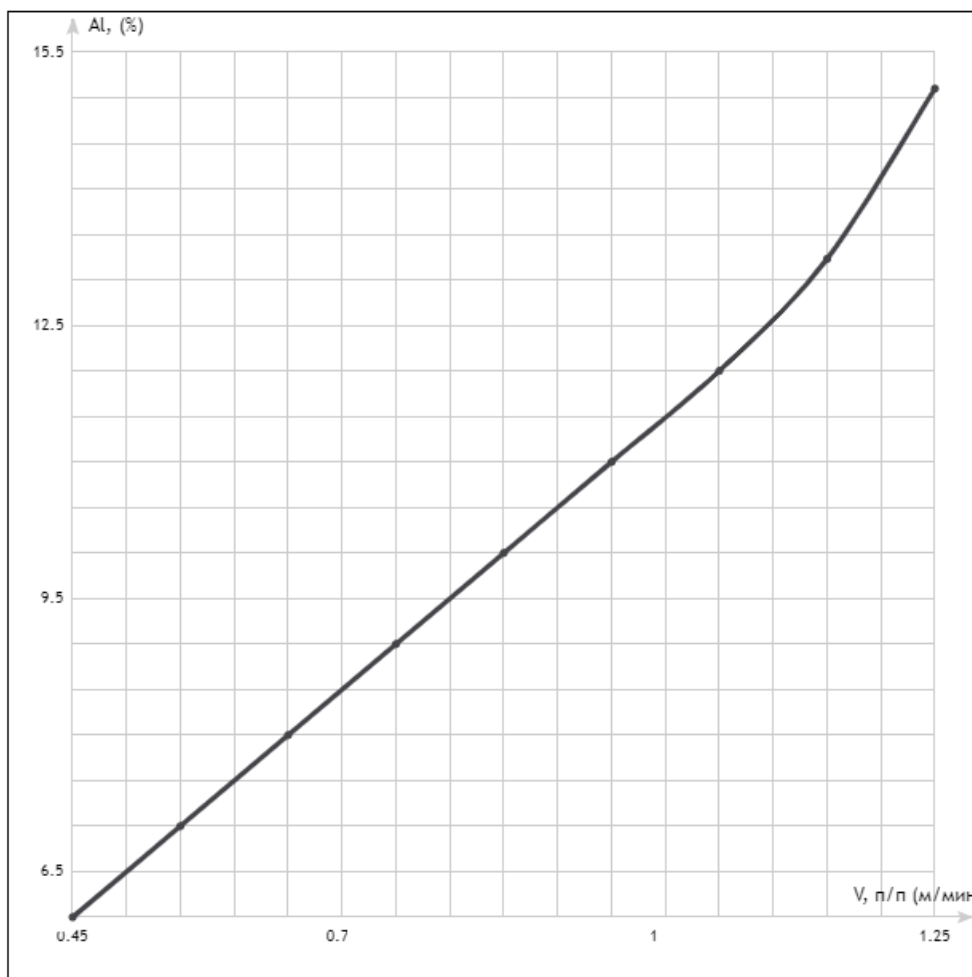


Рисунок 6.28 – График зависимости содержания Al от скорости подачи присадочной проволоки СВАК5

Количество содержания алюминия в интерметаллиде выросло до 12,5%. Содержание кремния, магния и хрома в возрасло аналогично содержанию алюминия.

«Химический анализ показал результаты неравномерного распределения» (рис.6.29) (таблица 6.11).

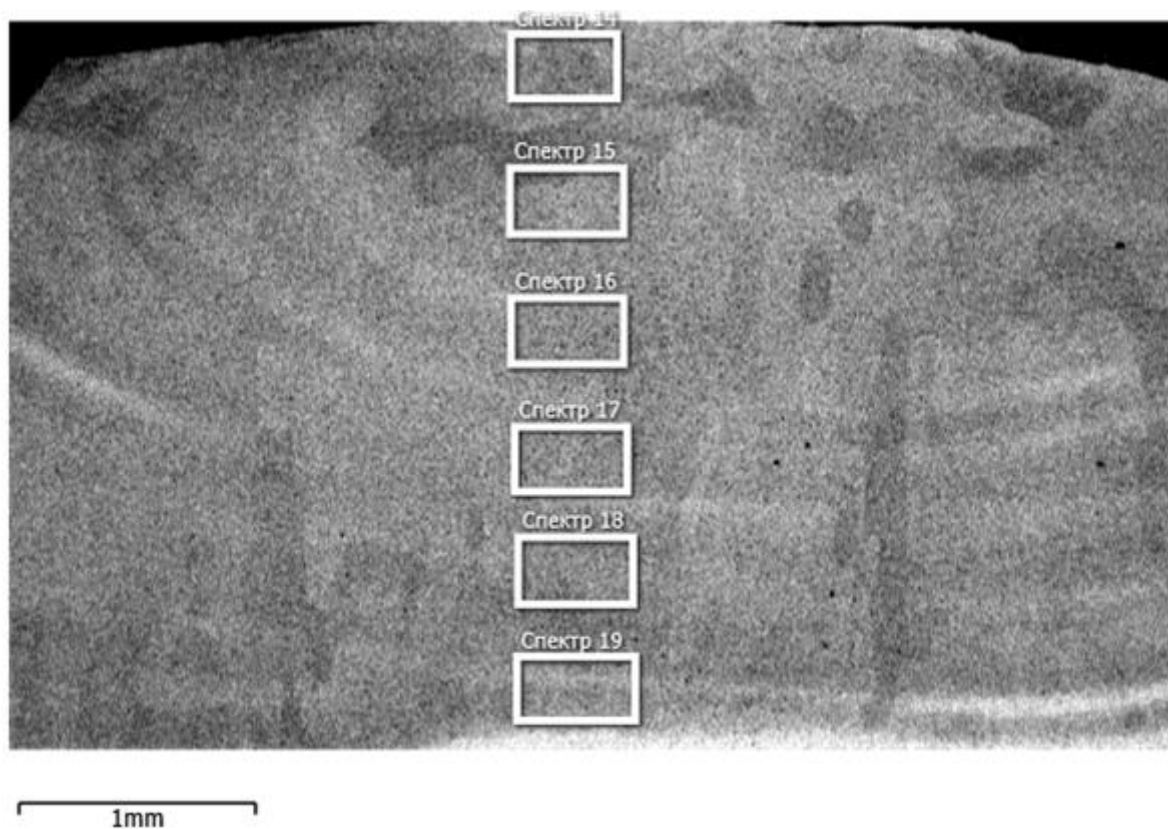


Рисунок 6.29 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВАК12 образца № 3

Таблица 6.11 – Содержание химических элементов в образце № 3

С пектр№	Al , %	Cr , %	Mn, %	Fe, %	S i, %	N i, %	C умма, %
4	8,98	16,91	1,12	6,516	0,36	0,48	7,00
5	8,79	16,95	1,02	6,567	0,30	0,26	7,00
6	8,29	16,85	1,94	6,522	0,27	0,42	7,00
7	8,85	17,04	1,11	6,527	0,32	0,41	7,00
8	8,89	16,80	1,02	6,541	0,32	0,56	7,00

1	7,	17	0	6	0	7	1
9	97	,28	,92	6,12	,33	,39	00

Полное отсутствие трещин выявлено в образцах с содержанием в интерметаллиде алюминия в пределах от 8,89 % до 10,5 %. В составе сплава с содержанием Al выше 10.5% возможна большая вероятность появления холодных трещин. На примере образца № 7 можно наблюдать возникновение холодной трещины (рис. 6.30) (таблица 6.12).

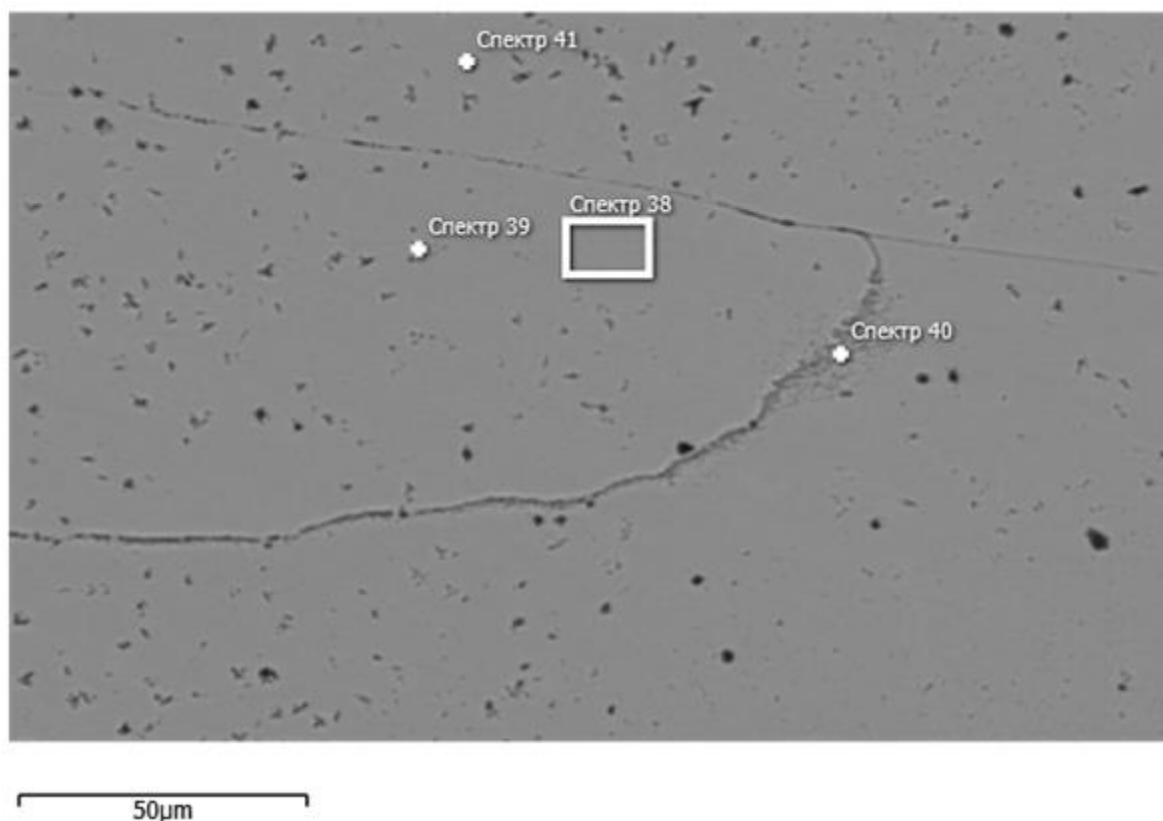


Рисунок 6.30 – Спектральное изображение сечения наплавленного присадочной проволоки СВАК12 образца № 7

Таблица 6.12 – Содержание химически элементов в образце № 7

Спектр №	Al, %	C, %	Mn, %	Fe, %	Ni, %	S, %	Сумма, %
1	4,24	4.94	.05	1.84	.73	.31	100
2	1	1	1	6	7	0	100

	2,39	5.44	.02	3.29	.56	.30	
3	1	1	1	6	7	0	100
	2.29	5.40	.05	3.57	.44	.26	
4	1	1	0	6	7	0	100
	2.09	5.52	.98	3.63	.48	.30	

«С ростом скорости подачи проволоки содержание Al выросло, содержание Si колебалось в пределах 0,30 %, незначительно увеличилось содержание Cr» (рис. 6.31).

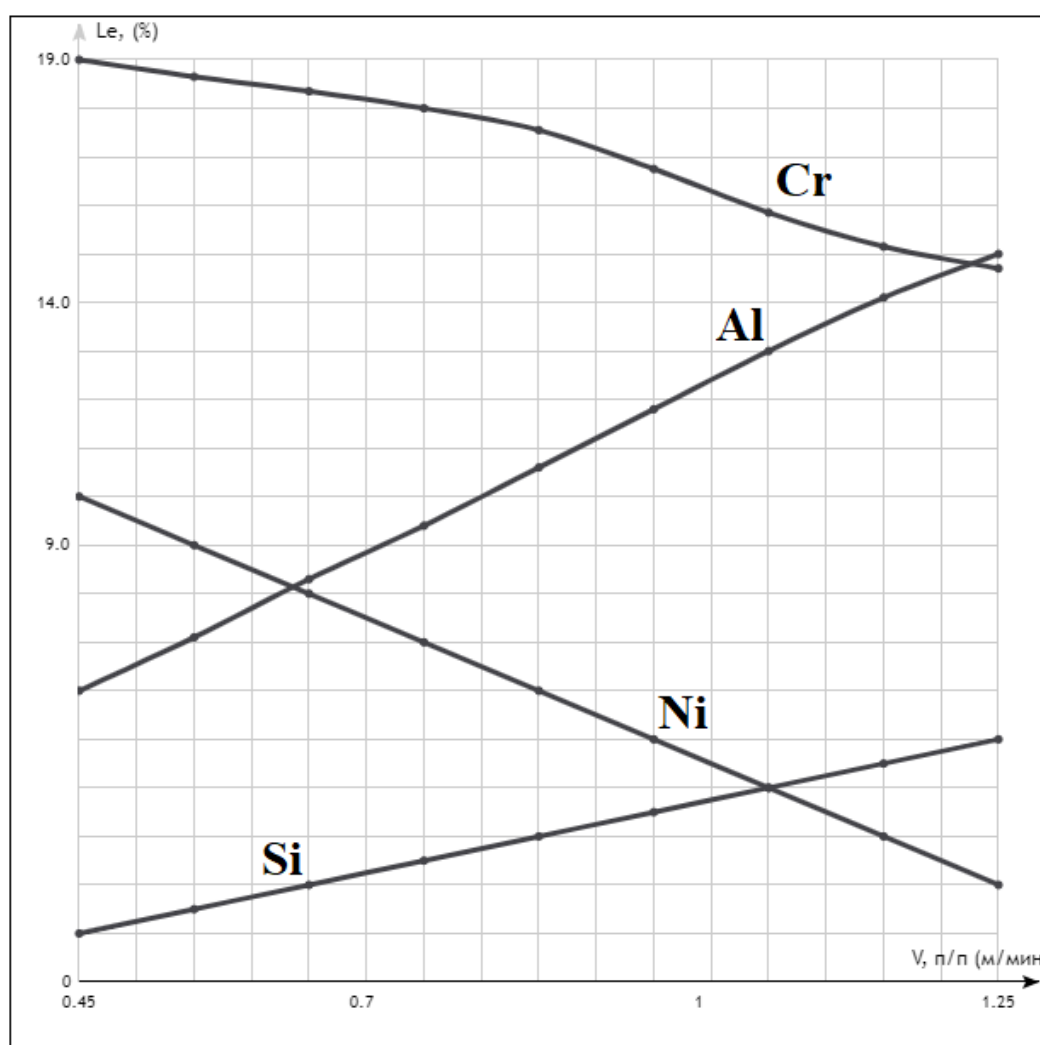


Рисунок 6.31 – График зависимости химического состава наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СВАК12

Анализ твердости образованных в ходе эксперимента покрытий, показал следующие размеры - от 44 до 18 HRC. Твердость падает в в

результате изменения скорости подачи проволоки, и соответственно роста процентного содержания Al.

«При скорости подачи проволоки от 0,5 до 0,75 м/мин, соотношение твердости и скорости наиболее оптимальны, количество алюминия в данном диапазоне составляет 10 - 12 %» (рис. 6.32).

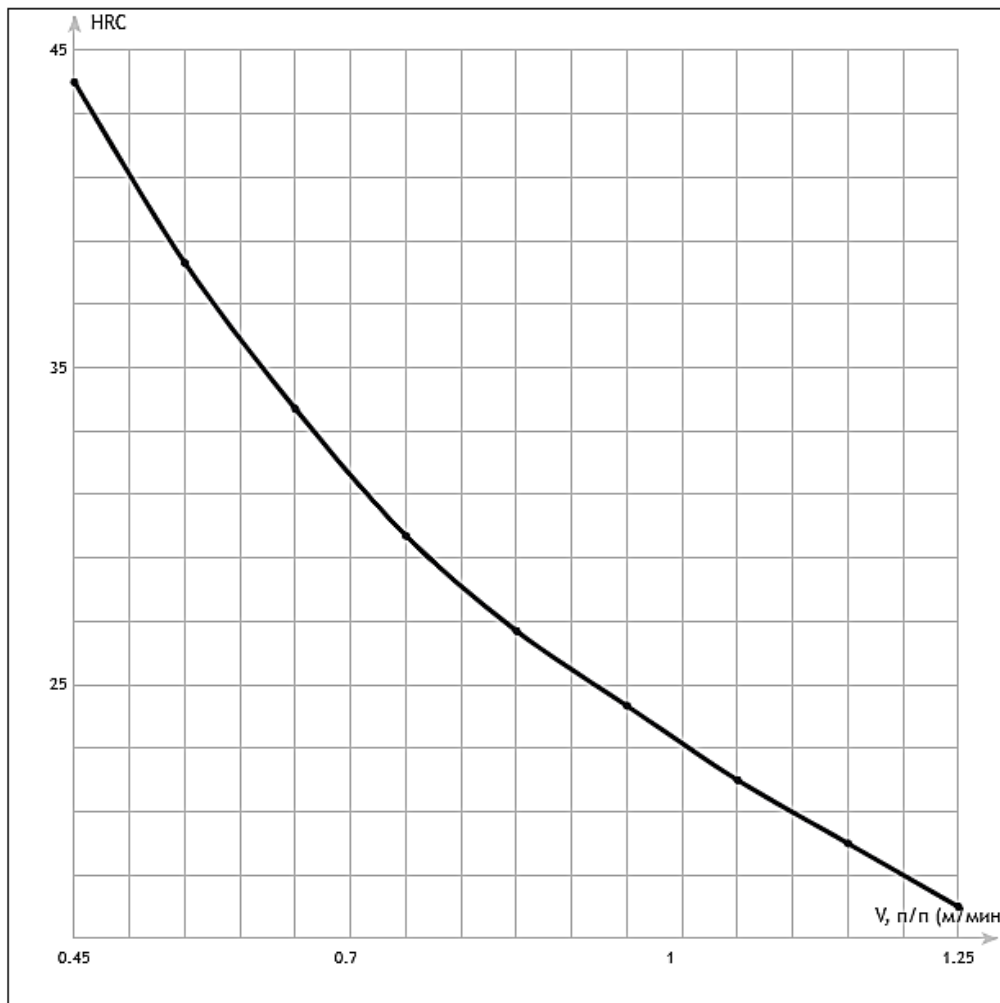


Рисунок 6.32 – График зависимости твердости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СвАК12

Замер показал изменения в пределах от 0,70 до 2,50 у.е. Износостойкость интерметалида падает в результате возрастания содержания Al и Si.

«Еще более высокое содержания легирующих элементов снижает значение относительной износостойкости наплавленного металла» (рис. 6.33) [16].

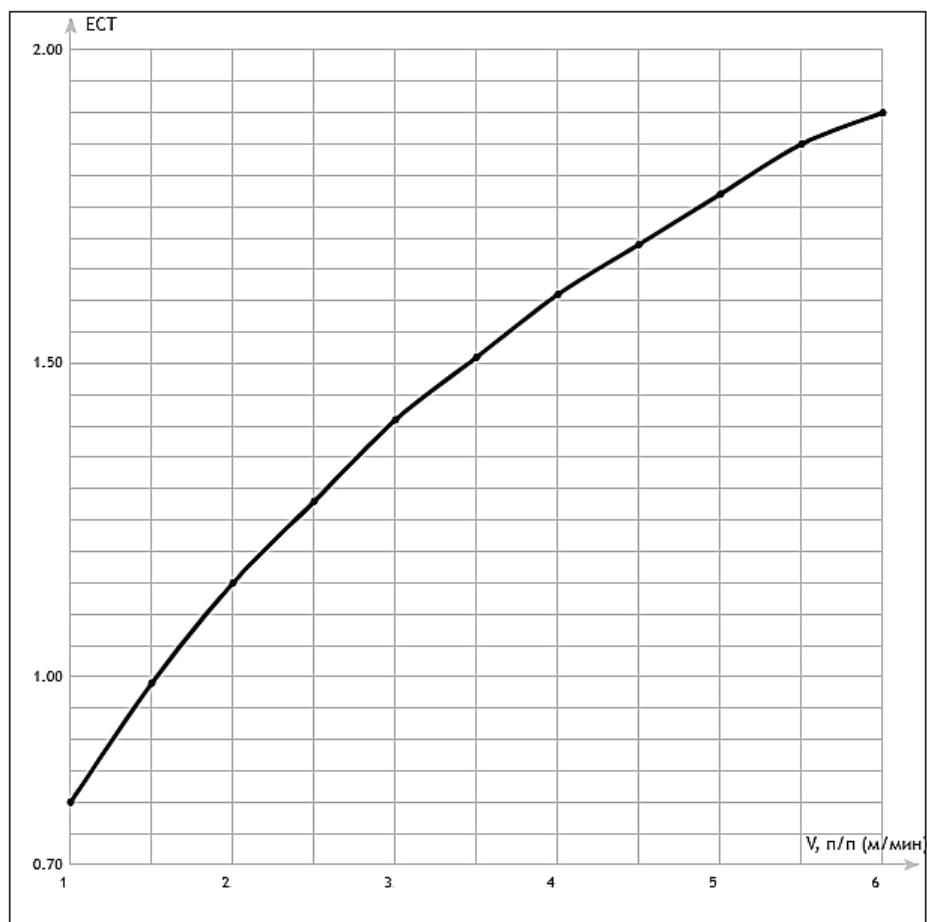


Рисунок 6.33 – График зависимости износостойкости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СВАК12

«Исследование жаростойкости проводились при выдержке наплавленного материала в течении 300 часов при температуре в 800°C , показали, что потеря массы образцов крайне незначительна и не превышает 0.7 %.» (рис. 6.34).

Увеличение общей массы полученных образцов не произошло, исходя из того, что процентное содержание Al в полученном в ходе эксперимента интерметаллида не больше 14,5 %, а значит процесс образования слоя окисла совсем небольшой и не препятствует его очистки с поверхности материала.

Данная потеря общей массы, вероятнее всего происходит из-за небольшой для испытуемого образца выдержки при проведении исследования на исследование жаростойкости, однако при более длительном

испытании общей массы образца, может отклоняться с большими изменениями.

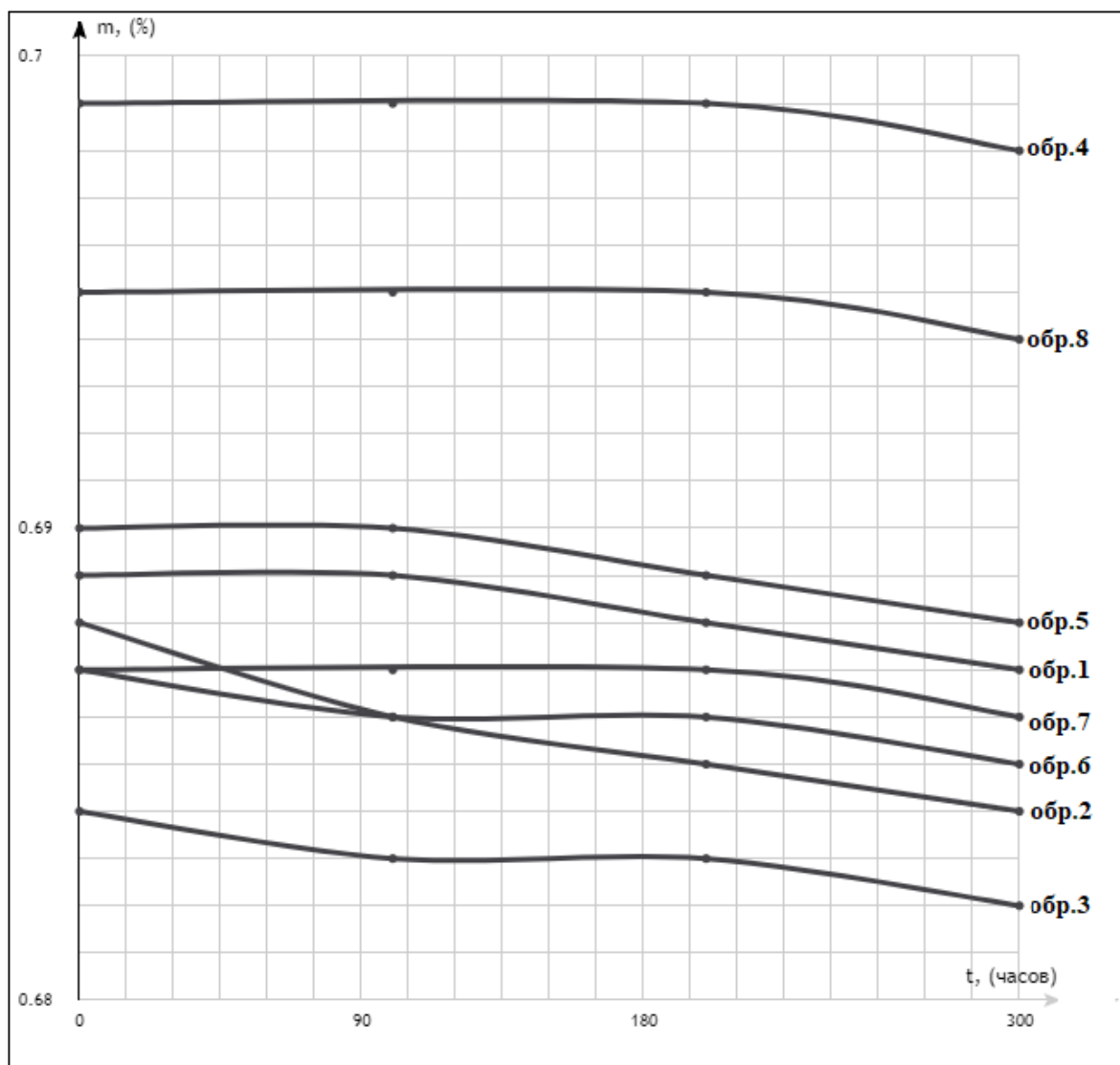


Рисунок 6.34 – График зависимости износостойкости наплавленных валиков от скорости подачи присадочной проволоки СВАК12

7 Сравнение полученных результатов

«Воспроизведя изучение процесса наплавки интерметаллидных сплавов системы Fe-Al, с внедрением трех разных типов присадочной электродной проволоки».

«Систематизировав приобретенные итоги изучения, возможно обнаружить более многообещающие для выполнения наплавки материалы, а например же подходящие опции и режимы процесса нанесения материала».

Методом подбора, были выбраны наиболее подходящие режимы для нанесения валиков, являются: $V_{п\text{п}} - 0,5 - 1.25 \text{ м/мин}$, $I_{н} - 270\text{А}$, $V_{н} - 0.15 \text{ м/мин}$.

«Предложенные настройки позволяют формировать наплавленный слой с хорошими геометрическими параметрами и проплавлением, валик имеет правильную форму» (рис. 7.1).



а)



б)

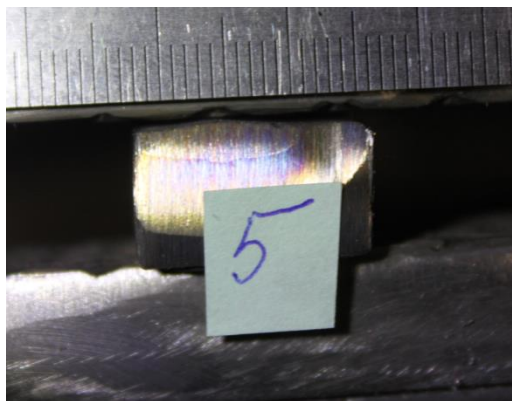


в)

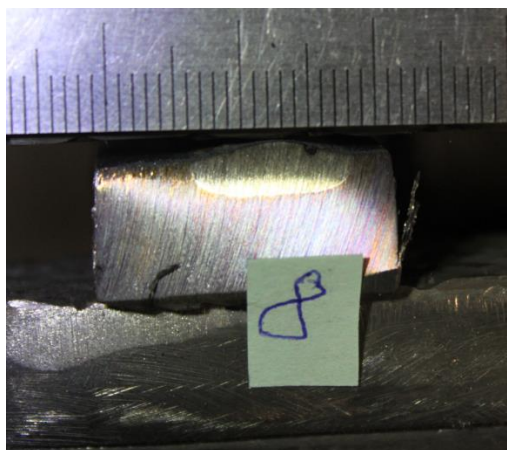
Рисунок 7.1 – Полученные в ходе наплавки образцы:

а) с использованием присадочной проволоки СвА5, б) СвАК5, в) СвАК12

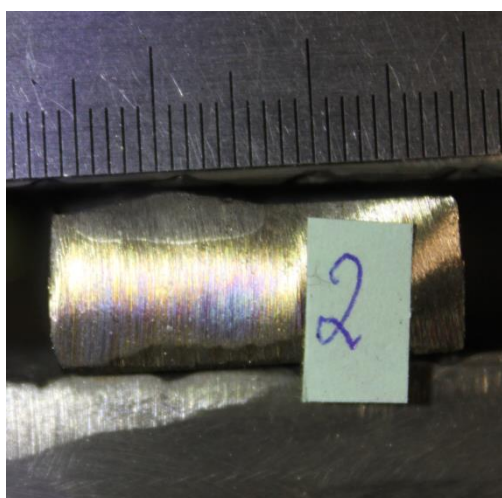
«Визуально измерительный контроль сечения образцов, так же показал хорошие геометрические характеристики в выбранных для наплавки режимах» (рис. 7.2).



а)



б)



в)

Рисунок 7.2 – Сечение наплавленных образцов:

а) с использованием присадочной проволоки СвА7, б) СвАК5, в) СвАК12

По результатам проведения изучения химического состава полученных в процессе наплавки образцов (рис. 7.3), было выявлено, что наиболее хороший результат по легированию высокохромистой стали А1, получился в интерметаллидных сплавах, полученных в ходе эксперимента на режимах скорости подачи присадочной проволоки: $V_{п\text{п}} = 0,5 - 1,25 \text{ м\мин}$.



Рисунок 7.3 – Образцы подготовленные на химический анализ

«Наибольший процент содержания А1 при одинаковых настройках режима наплавки, показал эксперимент с проволокой СвАК5. В усредненных показателях содержания А1 в покрытии, наиболее стабильный слой

получился с использованием проволоки СВАК12. СВА7 наиболее подвержена растрескиванию при увеличении скорости наплавки, а значит высоком содержании Al» (рис. 7.4).

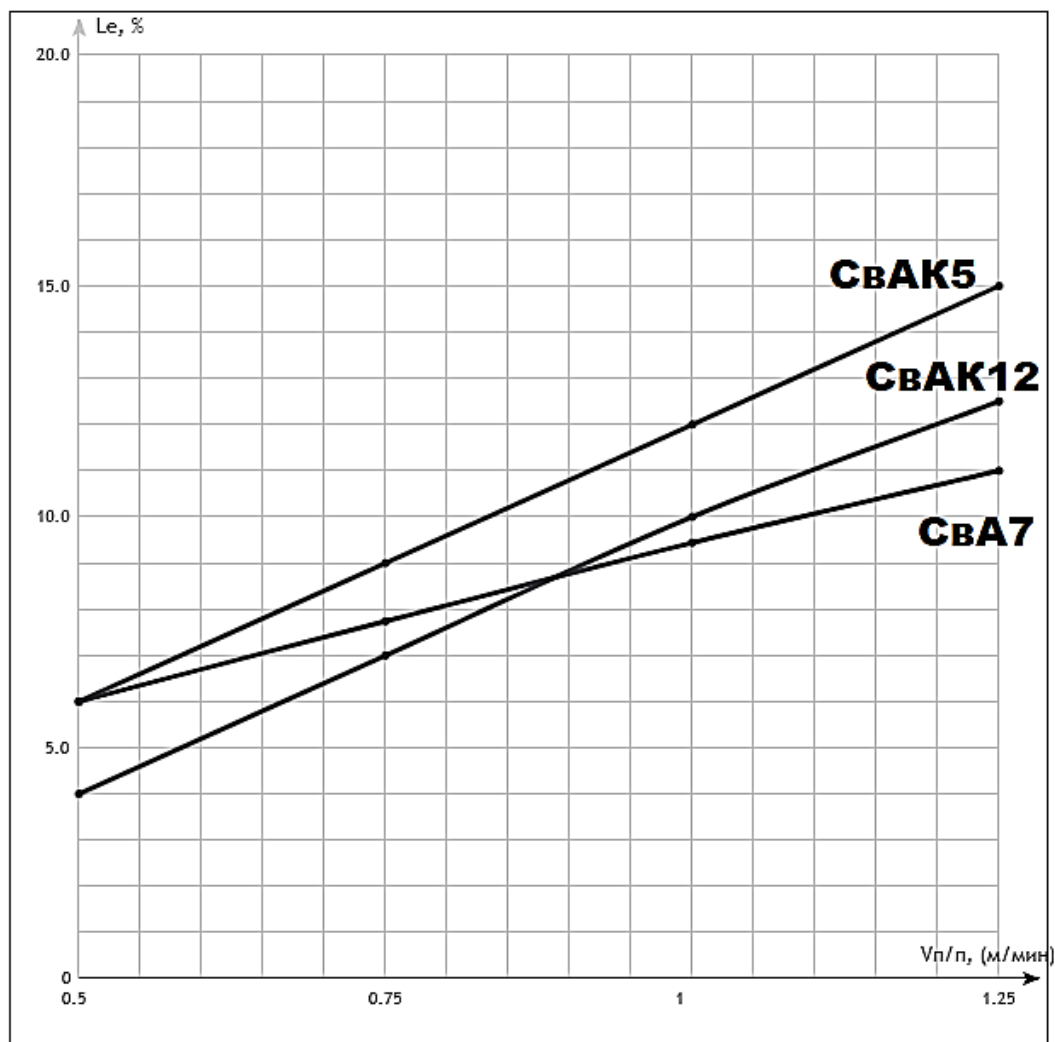


Рисунок 7.3 – Сравнение содержания алюминия в зависимости от использованной присадочной проволоки

Регулировать содержание Al и других легирующих элементов в сплаве, как показывает график, позволяет изменение скорости подачи присадочной проволоки.

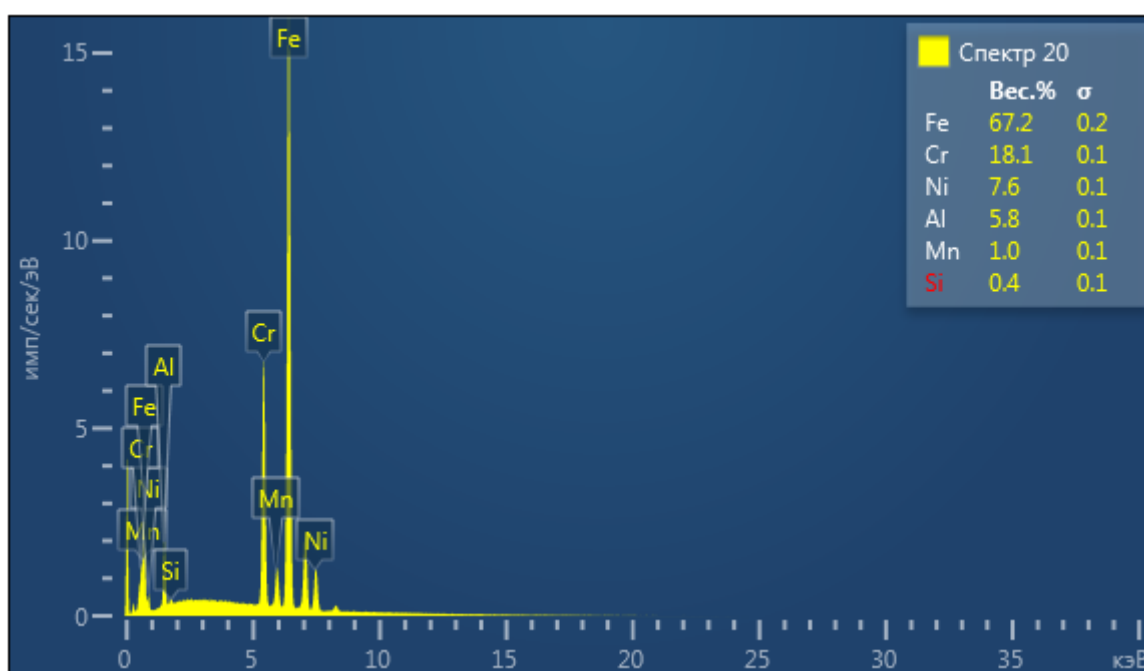
Изменение показателей скорости подачи проволоки это основополагающая для проведения эксперимента настройка, которая служит для управления химическим составом интерметаллида, например

осуществляет регулирование доли содержания алюминия в широких границах сплава.

В ходе регулировок наплавки удалось получить содержание Al в пределах от 4 до 15 % - при изменении скорости подачи от 0,5 до 1,5 м/мин.

«Рентгеноспектральный анализ показал значительную неравномерность распределения содержания алюминия по сечению наплавленного валика [30].

При повышении скорости подачи присадочной проволоки градиент концентраций алюминия по сечению шва увеличивается» (рис 7.5) [19].



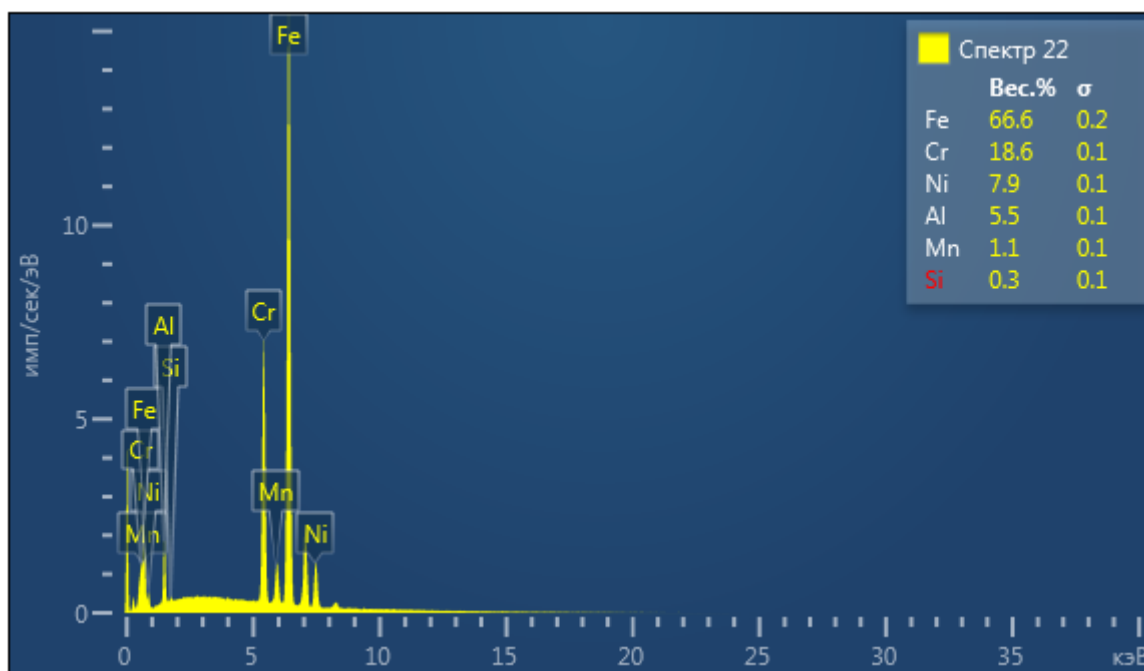


Рисунок 7.5 – Спектральный анализ одного из образцов

«Показатели твердости наплавленных материалов изменялась в пределах от 15 до 45 HRC. Увеличение в составе содержания алюминия приводит к увеличению показателей твердости наплавленного материала, что объясняется увеличением содержания твердых интерметаллидных фаз по всей структуре покрытия» (рис. 7.6).

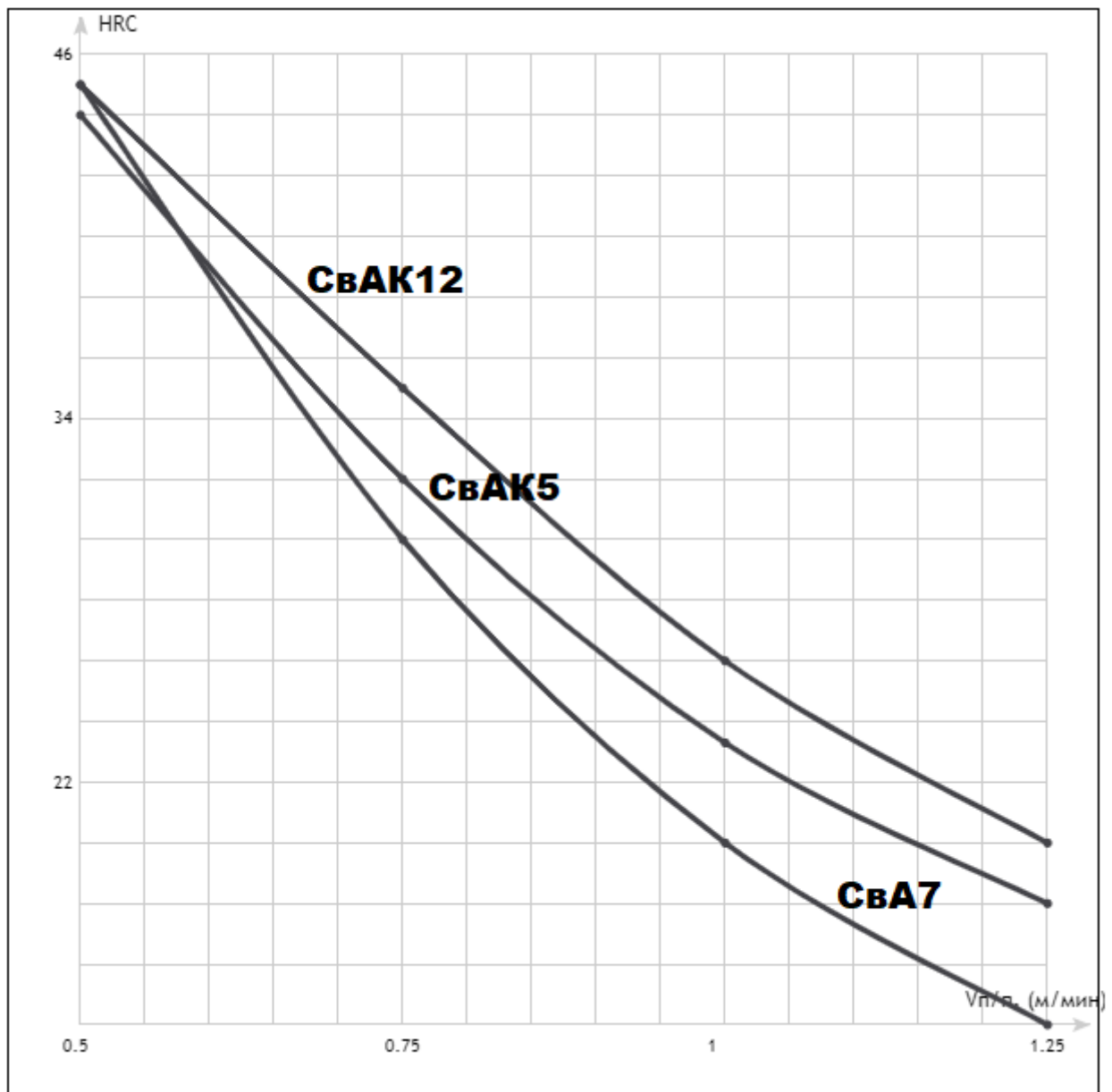


Рисунок 7.6 – Сравнение зависимости твердости наплавленных валиков при использовании разного присадочного материала

Показатели износостойкости варьировались в диапазоне от 0,7 до 2,9 условных единиц (рис. 7.7).

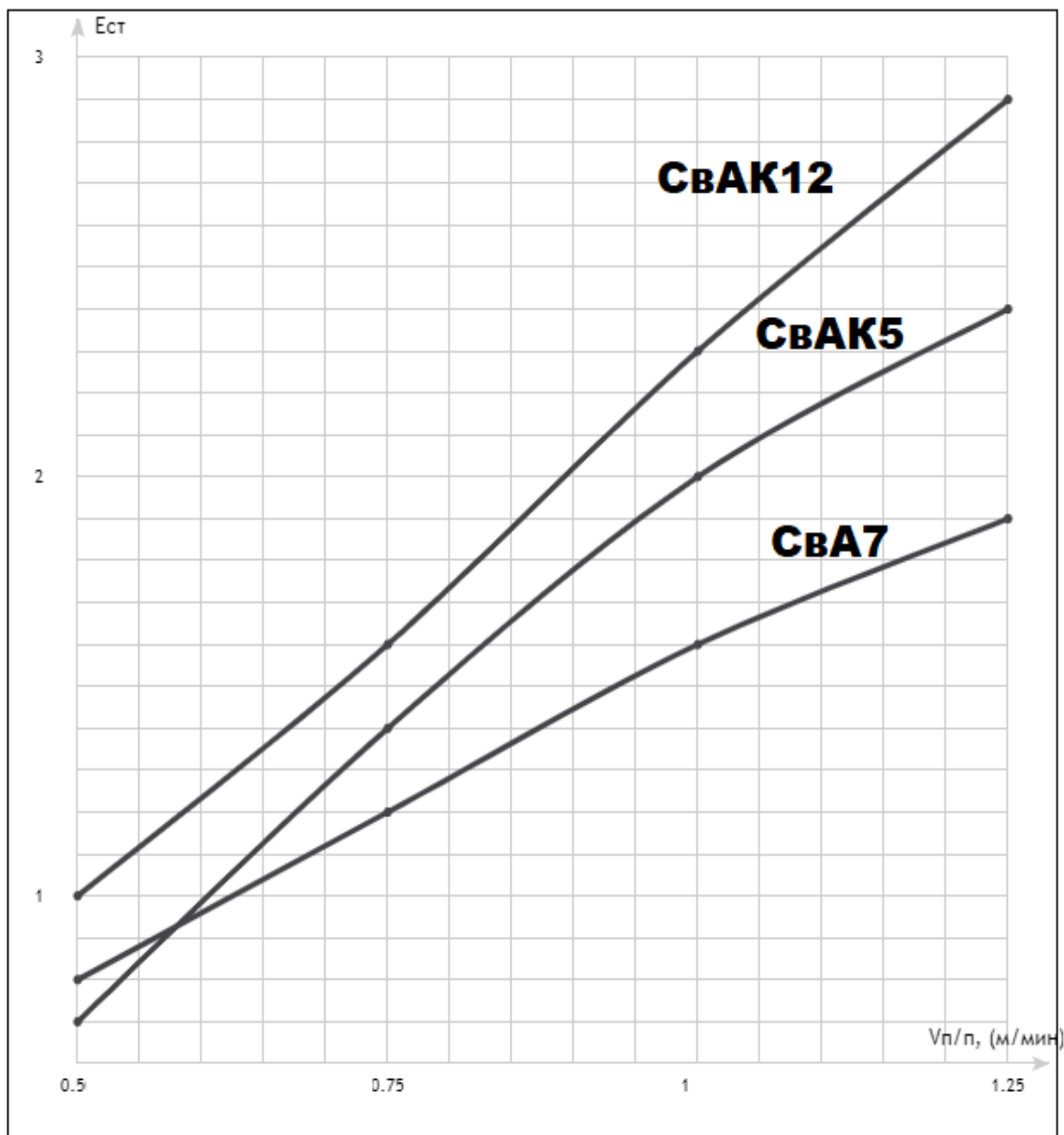


Рисунок 7.7 - Сравнение зависимости износостойкости наплавленных валков при использовании разного присадочного материала

Заклучение

1. В процессе воспроизводства сплавов системы железо-алюминий, варьируя различные режимы наплавки (скорость подачи алюминиевой присадочной проволоки, скорость наплавки), достигнут результат по изменению химического состава полученного интерметаллида.

2. Так же используя режимы наплавки, благополучно изменяются заданные геометрические параметры интерметаллидных покрытий, что доказано проведением визуально-измерительно контроля.

3. Достигнуты результаты по увеличению износостойкости и твердости исходного материала, благодаря механическим и эксплуатационным свойствам алюминидов железа. Полученные образцы с процентным содержанием алюминия от 10 до 15, показали наилучшие характеристики.

3. Экспериментально доказано, что увеличение процентного содержания алюминия в интерметаллиде увеличивает показатели жаростойкости. Замер выбранного контрольного образца до наплавки показал потерю массы около 1,5%. Выбранный образец (после проведения наплавки) с процентным содержанием алюминия до 5% потерял свою исходную массу в пределах 0,9%, с процентным содержанием алюминия до 10%, потерял свою исходную массу не более 0,8% а при содержании 15% алюминия в интерметаллиде, показал потерю массы не более 0,6.

5. В результате легирования алюминидов кремнием было достигнуто повышение механических свойств сплавов. Замеры твердость наплавленных покрытий, легированных кремнием (проволока СвАК5, СвАК12) достигает 45 HRC, что превосходит твердость алюминидов железа сформированных присадочной проволокой СвА5 и не превышает 38 HRC.

6. Характеристики замеров относительной износостойкости изменялись в ходе эксперимента в пределах диапазона от 0,9 до 3. При процентном содержании в интерметаллиде Al от 10 до 15% зафиксировано максимальное значение, (режим скорости подачи проволоки 1,5 м/мин). Возрастание

процентного содержания Al в полученном интерметаллиде влечет к значительному ухудшению эксплуатационных свойств материала, так же снижению трещиностойкости материала, как следствие образование значительного количества холодных трещин, а в последствии и полному или частичному разрушению всего нанесенного покрытия при постоянном абразивном износе, что в свою очередь влечет уменьшение относительной износостойкости. Данные по измерению износостойкости образцов полученных в ходе эксперимента показали, что при легировании кремнием характеристики повысились в 3 и более раза по отношению к покрытиям наплавленных чистым Al.

Список используемых источников

1. Рябов В.Р. Применение биметаллических отливок / В.Р. Рябов – М.: Металлургия, 1978. – 316 с.
2. Ковтунов А.И., Мямин С.В. Интерметаллидные сплавы: электронное учебное пособие / А.И. Ковтунов – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 6–7.
3. Гольдштейн М. И. Специальные стали: учебник для вузов / М. И. Гольдштейн С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
4. Рябов В. Р. Применение биметаллических и армированных сталеалюминиевых соединений / В. Р. Рябов. – М.: «Металлургия», 1975. – 288 с.
5. Корнилов И.И. Интерметаллические соединения / под ред. И.И. Корнилова. – М.: Металлургия, 1970. – 2018 с.
6. Morris D.G. Creep resistance in a new alloy based on Fe₃Al / D.G. Morris, M. Mazmy C. Nosedo // Scr. Met et Mater. – 1994. – 31, № 2. – P. 173 – 178.
7. Зайт Б. Диффузия в металлах: пер. с нем. // М., 1958. - 381 с.
8. Рябов В.Р. Применение биметаллических отливок / В.Р. Рябов – М.: Металлургия, 1978. – 316 с.
9. Рябов В.Р. Алитирование стали / В.Р. Рябов. – М.: Металлургия, 1973. – 251 с.
10. SUN Yang-Shan. Study of Fe₃Al-based intermetallics / Yang-Shan SUN // Materials Review. – 2000. - № 11(8). – P. 66-67.
11. Алитирование URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Алитирование>.
12. Ковтунов А.И. Физико-химическая кинетика взаимодействия алюминия со сталью при формировании металла шва с заданными свойствами: дисс. док. тех. Наук / А.И. Ковтунов. – Тольятти, 2011. – 357 с.
13. LIU Feng-xiao. Present status and future prospects of FeAl alloy / LIU Feng-xiao // Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy. – 2000 - № 5(3). – P. 193-200.

14. Hunt Margaret. The promise of intermetallics / Margaret Hunt // Mater. Eng. – 1990. – 107, №3. – P. 36 – 39.
15. Brukl C., Nowotny H., Schob O., Benesovsky F. // Monatsh. Chem. – 1961. – Vol. 92. - P. 781.
16. Li Chen, Yong Du, S.Q. Wang, Jia Li. A comparative research on physical and mechanical properties of (Ti,Al)N and (Cr, Al)N PVD coatings with high Al content. // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2007. – Vol. 25. – P. 400–404.
17. Трыков Ю.П. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов / Ю.П. Трыков Л.М. Гуревич, В.Г. Шморгун. – М.: Metallurgizdat, 2004. -230 с.
18. Голованенко, С.А. Производство биметаллов / С.А. Голованенко, Л.В. Меандров. – М.: Metallurgiya, 1966. – 304 с.
19. Наплавка URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Наплавка>
20. Рябов В.Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами / В.Р. Рябов. – Киев: Наукова думка, 1983. – 264 с.
21. Походня И.К. Прогрессивные способы наплавки деталей износостойкими сплавами / И.К. Походня. – М.: ВИНТИ, 1959.–91 с.
22. Фрумин, И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин. –Харьков : Metallurgizdat. – 1961. – 421 с.
23. Колачев, Б.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallor i splovov: uchebnik dlya vuzov / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС,1999. – 416 с.
24. Колачев Б. А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallor i splovov : uchebnik dlya vuzov / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. - Изд. 4-е, перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : МИСИС, 2005. - 428 с.
25. Инструкция по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606–03). Серия 03. Выпуск 39 / Кол л. авт. — М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. — 104 с.

26. Егоров А.Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста учеб. метод. пособие / А.Г. Егоров, В.Г. Виткалов, Г.Н. Уполовникова, И.А. Живоглядова – Тольятти, 2012, –135 с.

27. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. - Введ. 1960.01.01.- М : Межгосударственный стандарт, 1959, - 6 с.

28. ГОСТ 9.312-89. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия защитные. Методы определения жаростойкости. - Введ. 30.06.1990.- М : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989, - 11 с.

29. Гончаренко, Ю. Д. Применение растровой электронной микроскопии, электронной спектроскопии, вторично-ионной массспектрометрии для обнаружения и исследования структуры и элементного состава электроизоляционного покрытия / Ю. Д. Гончаренко, Л. А. Евсеев // Известия РАН; серия физическая. – 1998. – т. 62. – № 3. – 495–502 с.

30. Гончаренко, Ю.Д. Особенности применения методов РЭМ и ВИМС для изучения элементного состава рыхлых отложений на металлической подложке / Ю.Д. Гончаренко, Л.А. Евсеев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2002. – № 10. –61–65 с.

31. Неуймин, В.А. Износостойкость покрытий на основе интерметаллидных сплавов / В.А. Неуймин, С.А. Шелуха, Г.А. Леонтьева, Е.Н. Тарасенко // Сварочное производство. – 1992. – № 8. – 33–34 с.

32. Ковтунов, А.И. Аргонодуговая наплавка сплавами на основе системы железо-алюминий: монография / Тольятти: Изд. ТГУ, - 2014. - 140 с.