

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(институт, факультет)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(кафедра)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

«Технология и оборудование для пайки»

(наименование профиля магистерской программы)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Новая методика определения химического состава

наплавленного металла при дуговой сварке»

Студент

Д.В. Зюбин

(И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

Научный

В.П. Сидоров

(И.О. Фамилия)

_____ (подпись)

руководитель

Консультанты

Руководитель магистерской

программы

д.т.н., профессор, Б.Н. Перевезенцев

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

_____ (подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

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

_____ (подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2017

Содержание

Введение.....	3
1. Анализ существующих способов проведения химического анализа наплавленного металла.....	5
1.1. Методы отбора проб.....	5
1.2. Выбор метода химического анализа.....	11
1.3. Выбор способов наплавки сварочных материалов.....	13
1.4. Материалы, применяемые для наплавки	22
2 Методика исследования процессов и свойств наплавки.....	32
2. Методика исследования процессов наплавки комбинацией дуг	32
2.2. Методика исследования химического состава наплавленных покрытий	37
3 Результаты исследований	39
3.1 Результаты исследований сплавов на основе Ni-Al.....	39
3.2 Результаты исследований сплавов на основе Fe-Al.....	46
4. Анализ результатов физического контроля и предложенного способа расчёта химического состава.....	55
4.1. Способ сварки комбинацией дуг.....	55
4.2 Практическое применение способа наплавки комбинацией дуг при аттестации сварочных материалов	72
Заключение	83
Список используемой литературы и источников	84
Приложения.....	88
Приложение А	88
Приложение Б.....	92

Введение

Развитие индустрии в значительной степени определяется разработкой новых материалов со специальными свойствами. Это вызвано тем, что во многих сферах нашей жизни энергетике, электронике, большой химии, ракетостроении и других отраслях производства присущи высокие скорости процессов, большие давления, высокие температуры и некоторые особые эффекты. Важно, чтобы материал был устойчив и соответствовал этим условиям работы, когда быстро сменяются температуры и напряжения, не сильно испарялся в вакууме, не менял свойств при облучении продуктами ядерного распада, противостоял действию агрессивных сред и т. д. [1].

Современное состояние техники характеризуется возросшим применением редких металлов и сплавов.

Определение возможности применения новых материалов в производстве является всецелое исследование их свойств, способов их сборки в конструкции. Сварка является одним из ведущих технологических процессов, как в области машиностроения, так и в строительной индустрии. Одним из важных критериев оценки сварочных материалов является исследование свойств наплавленного металла. При сварке и наплавке металлических материалов некоторая часть легирующих элементов испаряется из-за воздействия запределных температур электрической дуги. Для исследования химического состава наплавленного материала сейчас применяют несколько способов, при этом на стальную пластину наплавляют не менее пяти - восьми слоев сварочных валиков и отбирают пробу для проведения химического анализа из верхнего слоя. Эти способы требуют значительных затрат наплавленного металла, они трудоемки, энергоёмки и требуют наплавки на металл из пластин той группы основных материалов, для сварки

которой предназначен исследуемый сварочный материал. Для наплавки сварочными материалами, предназначенными для сварки низколегированных и легированных сталей, применяют пластины из СтЗсп, при условии наплавки непосредственно перед исследованием не менее, чем в три слоя исследуемым сварочным материалом. Толщина предварительной наплавки после механической обработки должна составлять не менее 3 мм. Для выполнения наплавки сварочными материалами, предназначенными для сварки высоколегированных сталей, допускается использовать пластины из сталей групп 6(M04), 7(M04), 8(M11) или 9(M11) при условии осуществления вышеописанной процедуры наплавки и обработки[2], что также требует значительных затрат наплавленного металла.

Цель работы – снижение затрат на исследование наплавляемого металла, путём снижения расхода сварочного материала, электроэнергии, трудоемкости наплавки образцов для отбора проб химического состава наплавленного металла, применения аналитического расчета химического состава.

1. Анализ существующих способов проведения химического анализа наплавленного металла

1.1. Методы отбора проб

Согласно ГОСТ 7122-81 при выполнении отбора проб на химический анализ, необходимо придерживаться следующих правил:

1.1.1. Проводить отбор следует из металла швов изделий или образцов специально сваренных, из наплавленного металла изделий или металла, наплавленного для этого на образцы.

1.1.2. Если нельзя взять пробы непосредственно из сварных швов и при испытании сварочных материалов, то следует проводить сварку или наплавку образцов.

1.1.3. Кроме начальных и конечных участков сварных швов или наплавленного металла образцов проба отбирается из любой части сварных швов или наплавленного металла по всей их длине.

1.1.4. Необходимая длина сварных швов или наплавленного металла сваренных образцов, длина упомянутых неиспользуемых участков показана в табл. 1[3].

Т а б л и ц а 1

Виды сварки	Длина обрезки в начале или конце образца, мм, не менее	Длина сварного шва или наплавленного металла, мм, не менее
Ручная дуговая сварка и полуавтоматическая дуговая сварка в защитных газах	20	150

Виды сварки	Длина обрезки в начале или конце образца, мм, не менее	Длина сварного шва или наплавленного металла, мм, не менее
Все способы дуговой сварки неплавящимся электродом в защитных газах и газовая сварка	15	150
Автоматическая дуговая сварка в защитных газах, автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом, сварка наклонным электродом	40	150
Электрошлаковая сварка	50	100

1.1.5. В нормативно-технической документации на изделия или сварочные материалы указывается место отбора проб.

1.1.6. Поверхность сварного шва или наплавленного металла перед взятием пробы очищается от ржавчины, механических загрязнений и окалины.

1.1.7. Следует обозначить границы металла, подлежащего анализу, вырезав соответствующие участки сварного шва, образцов или наплавленного металла изделия. Вырезку осуществляют механическим способом, газовой или плазменной резкой. Для установления границ металла, подлежащего анализу, если вырезать участки сварного шва или наплавленного металла невозможно, в них должны быть просверлены два отверстия по чертежу, представленному в нормативной документации. Диаметр просверленных отверстий должен выходить за пределы участка анализируемого металла.

1.1.8. Торцы вырезанных участков и поверхность просверленных отверстий должны быть отшлифованы и протравлены, соответствующими составами, если границы сварного шва или наплавленного металла не могут быть установлены осмотром без обработки.

1.1.9. Если для вырезки анализируемых участков применялась газовая или плазменная резка, то с торцов вырезанных участков перед их шлифованием должен быть удален механическим способом слой металла толщиной от 5 мм.

1.1.10. Границы металла для взятия пробы, которые должны отстоять от линии сплавления металла после травления необходимо наметить керном на расстоянии 2,5 - 3,0 мм в сторону исследуемого металла.

За границу анализируемого металла должна быть принята граница исследуемого слоя или валика с соседними слоями или валиками при послойном и поваликовом химическом анализе.

1.1.11. Отбор пробы следует проводить в пределах наплавленного металла: точением, строганием, фрезерованием или сверлением.

При отборе пробы для определения послойного или поваликового химического состава металла сверление допускается только в том случае, если толщина наплавленного металла не менее 10 мм или если отбор пробы производится сверлением вдоль оси сварного шва или наплавки.

Если требуется, то перед отбором пробы можно проводить термическую обработку вырезанного участка для улучшения обрабатываемости исследуемого металла с принятием мер, предупреждающих изменение его химического состава.

1.1.12. Отбор пробы следует проводить из середины по оси сварного шва до границы анализируемого металла для определения среднего химического состава сварного шва

1.1.13. Проводить отбор пробы из стружки, полученной при обработке расчетной части образцов типов I и II по ГОСТ 6996-66 разрешается, если вписывается головка образца в границы анализируемого металла.

1.1.14. Допускается для снижения температуры инструмента применять дистиллированную воду. При отборе инструмент должен быть чистым и обезжиренным

1.1.15. Не менее чем в 1,5 раза выше твердости исследуемого металла должна быть твердость инструмента для отбора проб

1.1.16. Стружка для проб не должна иметь цветов побежалости.

1.1.17. Для проведения химического анализа сварного шва или наплавленного металла, стружка берётся без примесей и должна быть уложена в закрытую тару, предохраняющую ее от загрязнения.

Стружка должна быть по возможности калиброванной, толщиной 0,3 - 0,4 мм и короткой.

1.1.18. В соответствии с требованиями ГОСТ 12344-88, ГОСТ 12346-78, ГОСТ 12347-77, ГОСТ 12348-78, ГОСТ 12350-78, ГОСТ 12353-78, ГОСТ 12355-78, ГОСТ 11739.1-90 - ГОСТ 11739.24-82, ГОСТ 13938.1-78 - ГОСТ 13938.12-78, ГОСТ 13938.13-93, берётся навеска пробы для химического анализа, а для спектрального анализа - согласно данным, приведенным в табл. 2 [3].

Таблица 2

Исследуемый материал	Тип оборудования	Масса пробы, г, не менее
Стали, цветные металлы и сплавы	Искровой или дуговой генератор, рентгеноспектрометр	50,0
Легкие металлы и сплавы	То же	20,0

Исследуемый материал	Тип оборудования	Масса пробы, г, не менее
Все металлы и сплавы	Установки с высокочастотным искровым разрядом	1,0
	Лазерные установки	0,2

1.1.19. Шероховатость поверхности образца должна быть 80 мкм по ГОСТ 2789-73. Исследуемая поверхность для спектрального анализа должна быть обработана точением, строганием или фрезерованием. После обработки на поверхности пробы не должно быть усадочных раковин, пор и включений..

1.1.20. Согласно ГОСТ 9466-75 для проверки химического состава наплавленного металла на пластине из стали, для сварки или наплавки которой предназначены электроды, из стали марки СтЗсп по ГОСТ 380-88 или из стали марок типа 18-10 или 18-9 по ГОСТ 5632-72, изготавливают восьмислойную наплавку электродами исследуемой партии. Размеры пластины 120×80×20 мм (с предельным отклонением длины и ширины ±5 мм, толщины ±2 мм), площадь наплавки - не менее 80×40 мм. (рис. 1) Толщина пластин может быть уменьшена для электродов диаметром до 5 мм, но не должна быть менее четырех диаметров электрода[4].

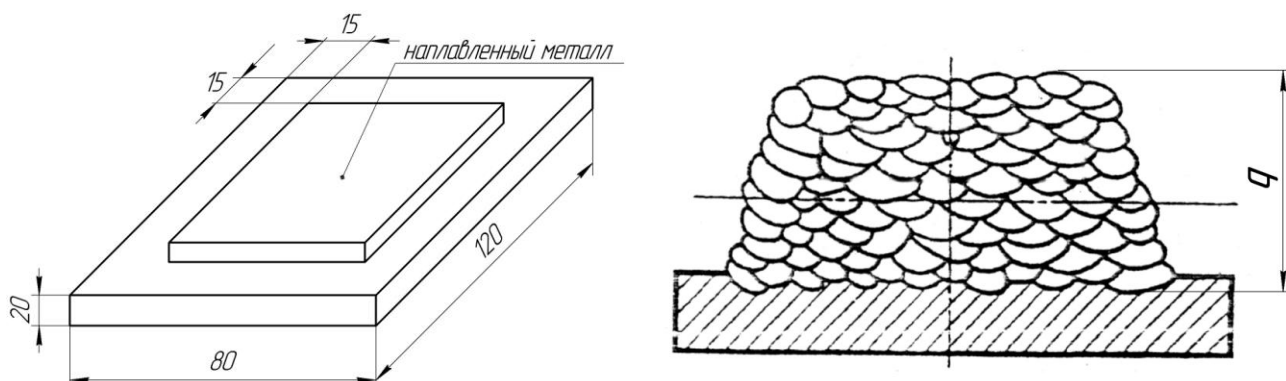


Рисунок 1 Восьмислойная наплавка

$$q_{\min} \geq 8 \text{ слоёв}$$

При проверке электродов для наплавки поверхностных слоев с специальными свойствами, обеспечивающих твердость наплавленного металла $HRC_0 > 42$, допускается выполнение пятислойной наплавки, в соответствии с нормативной документацией на электроды контролируемой марки.

1.1.21. Из трех верхних слоев восьмислойной наплавки или из двух верхних слоев пятислойной наплавки по п. 1.1.20. берутся пробы для химического и спектрального анализов наплавленного металла. Отбор стружки из наплавленного металла с содержанием углерода менее 0,04 % производят в соответствии с дополнительными указаниями нормативной документации на электроды контролируемой марки.

1.1.22. Химический состав наплавленного металла определяют по ГОСТ 12344-78, ГОСТ 12345-80, ГОСТ 12346-78, ГОСТ 12347-77, ГОСТ 12348-78, ГОСТ 12349-83, ГОСТ 12350-78, ГОСТ 12351-81, ГОСТ 12352-81, ГОСТ 12353-78, ГОСТ 12354-81, ГОСТ 12355-78, ГОСТ 12356-81, ГОСТ 12357-84, ГОСТ 12358-82, ГОСТ 12359-81, ГОСТ 12360-82, ГОСТ 12361-82, ГОСТ 12362-79, ГОСТ 12363-79, ГОСТ 12364-84, ГОСТ 12365-84, ГОСТ 18895-81, ГОСТ 20560-81, ГОСТ 22536.0-87, ГОСТ 22536.1-77, ГОСТ 22536.2-87, ГОСТ 22536.3-77, ГОСТ 22536.4-77, ГОСТ 22536.5-87, ГОСТ 22536.6-77, ГОСТ 22536.7-77, ГОСТ 22536.8-87, ГОСТ 22536.9-77, ГОСТ 22536.10-77, ГОСТ 22536.11-87, ГОСТ 22536.12-77, ГОСТ 22536.13-77 или другими методами, обеспечивающими точность определения, предусмотренную указанными стандартами.

1.1.23. Если стандартами или техническими условиями на электроды контролируемой марки, допускается проводить газовый анализ наплавленного металла методами, то его можно провести.

1.1.24. Перед отбором пробы можно произвести разупрочняющую термическую обработку наплавленного металла.

Если при проверке электродов для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами применение разупрочняющей термической обработки не может обеспечить снижение средней твердости наплавленного металла до $HRC_{\alpha} \geq 42$, в предусмотренных нормативной документацией на электроды контролируемой марки случаях допускается замена количественного анализа химического состава наплавленного металла его качественным спектральным анализом на подтверждение марочного состава. При этом изготовитель должен обеспечить соответствие химического состава наплавленного контролируемые электроды металла требованиям ГОСТ 10051-75 и стандарта или технических условий[4].

Качественный спектральный анализ проводят на наличие, отсутствие или ориентировочное содержание легирующих элементов в соответствии с указаниями нормативной документации на электроды контролируемой марки.

1.2. Выбор метода химического анализа

Химический элементарный анализ металлов и сплавов исходя из цели делят на качественный и количественный. Качественный анализ — конгломерат химических, физико-химических и физических методов, используемых для нахождения элементов, радикалов и соединений, из состава анализируемого вещества или смеси веществ. При качественном анализе применяют не сложные химические реакции, при которых наблюдается появление или исчезновение окрашивания, появление или растворение осадка, выделение газа и иные легко выявляемые реакции. Качественный анализ позволяет определить элемент в материале. Количественный анализ — объединение методов аналитической химии для определения количества элементов, радикалов, функциональных

групп, соединений или фаз в исследуемом объекте. Количественный анализ позволяет однозначно определить концентрацию или массу элемента в материале.[29]

Метод стилоскопирования один из основных в качественном анализе, основан на визуальном определении элементов по интенсивности их свечения. Его основные недостатки: высокая квалификация операторов, невозможность определения примесей, субъективность результатов, и сильное воздействие на зрение оператора при длительной работе со стилоскопом [5, с.27].

Стилоскопирование также как и рентгено-флуоресцентный анализ, не дает информации о содержании углерода, серы и фосфора в сталях. Это ограничение не позволяет проводить полную сортировку и исследование углеродистых и карбидосодержащих сталей [6, с. 116].

Более развёрнутый состав металла можно получить при помощи пробирного метода, основанного на физико-химических закономерностях восстановления металлов, шлакообразования и смачивания расплавленными веществами. Однако для проведения такого анализа необходима длительная и трудоемкая процедура пробоподготовки [7, с. 57].

Наиболее распространены и широко используются различные спектрометры: рентгенофлуоресцентный, искровой оптико-эмиссионный, лазерный, ИК-спектрометр, спектрометр индуктивно-связанной плазмы, атомно-абсорбционный, масс-спектрометр.

Эти приборы используют принцип работы стилоскопа, но благодаря современной цифровой автоматической обработке спектра и использованию инертного газа (аргона) позволяют получить точный количественный анализ любых типов сталей с высокой точностью в условиях лаборатории, цеха, улицы.

Стационарные установки более универсальны по сравнению с портативными приборами. Это объясняется большей номенклатурой эталонных образцов. Следует учесть, что в свою очередь необходимо уделить внимание подбору и подготовке аналитических проб, а так же составлению схемы анализа и выбору методов, принципах и путях автоматизации анализа. Поэтому для исследования выгорания элементов новых конструкционных материалов приемлемым является использование стационарных установок, среди которых оптико-эмиссионные и атомно-абсорбционные спектрометры получили наибольшее распространение. [29]

Анализ химического состава методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) основан на регистрации различных типов сигналов, генерируемых в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом. Вторичные, отраженные и оже-электроны, рентгеновское излучение и другие типы сигналов несут информацию о структуре, фазовом и химическом составе образца. Высокая разрешающая способность, большая глубина фокуса в сочетании с наглядностью изображения, простота подготовки объектов исследований, широкие возможности элементного анализа при использовании различных систем регистрации рентгеновского излучения (волнодисперсионные (WDS) или энергодисперсионные (EDS) системы) позволяют успешно использовать метод РЭМ в материаловедческих исследованиях для изучения структуры и элементного состава покрытий, поверхностей химического взаимодействия, отложений и так далее [8].

1.3 Выбор способов наплавки сварочных материалов

1.3.1 Ручная дуговая наплавка штучными электродами

Принцип ручной дуговой наплавки штучными электродами показан на рис. 2. Наиболее универсальный метод, пригодный для наплавки

деталей различной формы, может выполняться во всех пространственных положениях. Легирование наплавленного металла производится через стержень электрода и/или через покрытие.

Для наплавки используют электроды диаметром 3—6 мм (при толщине наплавленного слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей — диаметром 4—6 мм).

Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11—12 А/мм².

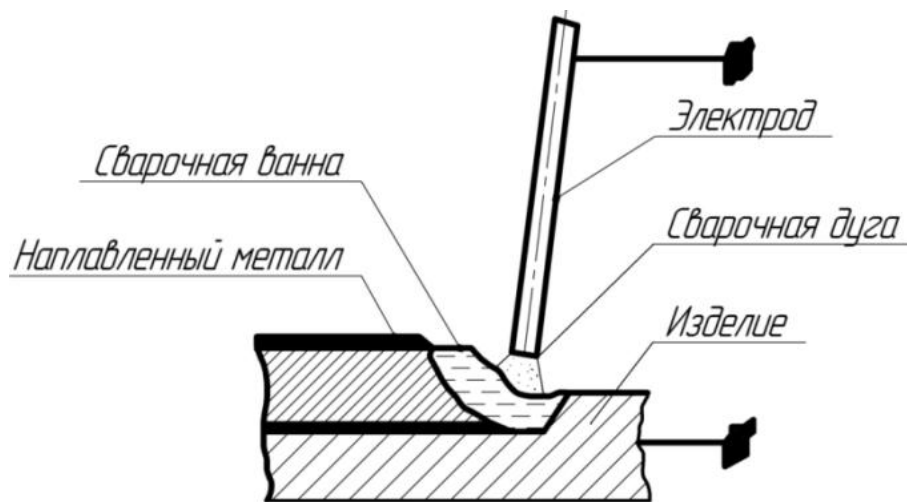


Рисунок 2 Схема дуговой наплавки штучными электродами

Основные достоинства метода:

- универсальность и гибкость при выполнении разнообразных наплавочных работ;
- простота и доступность оборудования и технологии;
- возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Основные недостатки метода:

- низкая производительность;
- тяжелые условия труда;
- непостоянство качества наплавленного слоя;

- большое проплавление основного металла.

1.3.2. Полуавтоматическая и автоматическая дуговая наплавка

Для наплавки применяются все основные способы механизированной дуговой сварки — под флюсом, самозащитными проволоками и лентами и в среде защитных газов. Наиболее широко используется наплавка под флюсом одной проволокой или лентой (холоднокатаной, порошковой, спеченной). Для увеличения производительности применяют многодуговую или многоэлектродную наплавку. Легирование наплавленного металла осуществляется, как правило, через электродный материал, легирующие флюсы применяются редко. Большое распространение получила дуговая наплавка самозащитными порошковыми проволоками и лентами. Стабилизация дуги, легирование и защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха обеспечивается за счет компонентов сердечника электродного материала.

Дуговая наплавка в среде защитных газов применяется относительно редко. В качестве защитных газов используются CO_2 , аргон, гелий, азот или смеси этих газов.

Вследствие большого проплавления основного металла при дуговой наплавке необходимый состав наплавленного металла удается получить только в 3—5-мм слое.

Основные достоинства метода:

- универсальность;
- высокая производительность;
- возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Основной недостаток:

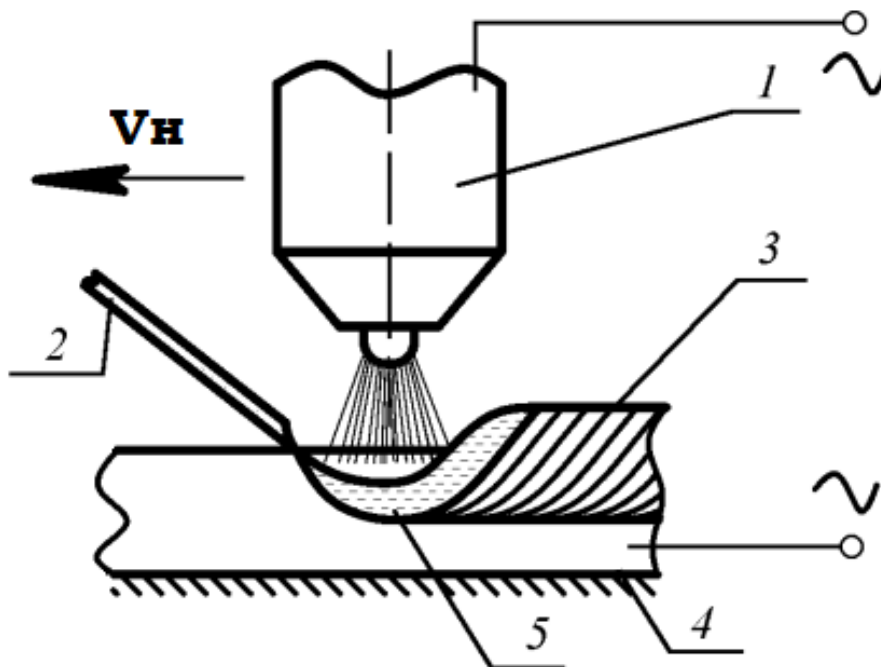
- большое проплавление основного металла, особенно при наплавке проволоками.

1.3.3. Аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом.

Принцип аргонодуговой наплавки показан на рисунке 3. В процессе горения дуги она расплавляет основной металл, образуя сварочную ванну. Присадочный материал подается в расплавленную сварочную ванну, тем самым присадочный материал расплавляется и формируется наплавленный слой. Достоинствами этого способа являются

- малое разбрызгивание присадочных материалов,
- хорошее качество и формирование наплавленного покрытия.

К недостаткам можно отнести то что, в наплавленном покрытии содержится большая доля основного металла.



1 – сварочная горелка; 2 – присадочный материал; 3 – наплавленное покрытие; 4 – подложка; 5 – сварочная ванна

Рисунок 3 – Схема процесса аргонодуговой наплавки неплавящимся электродом

1.3.4. Плазменная наплавка.

На рис. 4 показан принцип плазменной наплавки. Источником теплоты для расплавления присадочного материала является двухдуговой разряд. Одна дуга (маломощная) горит между неплавящимся электродом 1 и соплом 2, вторая (основная) – между неплавящимся электродом и проволокой 4. Защитный газ подается по соплу 3. Основной металл разогревается теплотой перегретого расплавленного металла проволоки и плазменной дугой. Изменяя при помощи сопротивления 5 и 6 величину тока плазменной дуги и силу тока проходящего по проволоке, а также устанавливая необходимое расстояние от изделия до горелки и торца проволоки, можно регулировать долю основного металла и производительность процесса. Плазменная наплавка по этому способу может выполняться как на прямой, так и на обратной полярности постоянного тока. При прямой полярности процесс ведут как с включением основного металла в сварочную цепь, так и без него. Дуга, горящая между неплавящимся электродом и изделием, служит только для дополнительного подогрева основного металла с целью улучшения смачивания его поверхности расплавом. При обратной полярности всегда горят две дуги: между неплавящимся электродом и изделием, а также между неплавящимся электродом и проволокой. Дуга в системе «неплавящийся электрод – изделие» обеспечивает катодную очистку поверхности основного металла и сварочной ванны от окислов и загрязнений. В обоих случаях при правильном ведении процесса наплавки передача тепла происходит главным образом через жидкий присадочный металл, переходящий в виде капель с проволоки на изделие в перемещающуюся по его поверхности сварочную ванну. Проплавление основного металла меньше при прямой полярности, но многие металлы и сплавы, образующие при нагреве тугоплавкие оксиды (к примеру,

жаропрочные сплавы на основе никеля) не удастся наплавлять на прямой полярности без специальных технологических приемов [7].

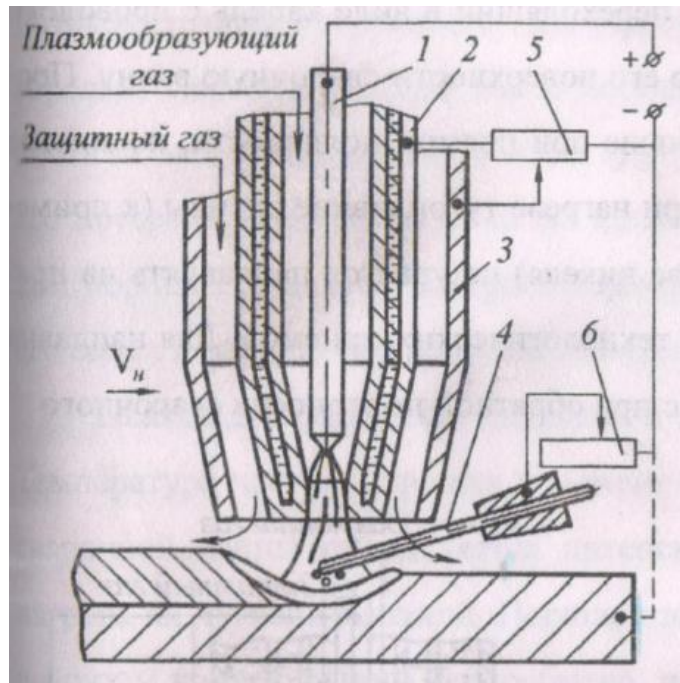


Рисунок 4 – Схема процесса плазменной наплавки с применением присадочной проволоки [7]

1 – неплавящийся электрод; 2,3 – сопло; 4 – присадочная проволока; 5,6 – реостат

Также при плазменной наплавке в качестве присадочного материала используют порошки (рис. 5). Плазменно-порошковая наплавка обеспечивает высокую производительность процесса и качественный наплавленный металл при минимальном проплавлении за счет изменения соотношения между тепловой мощностью дуги, количеством и температурой подаваемого в сварочную ванну ли плазменную дугу порошка. В способе наплавки с вдуванием гранулированного металлического порошка в плазменную дугу нагрев порошка и изделия осуществляется дугой прямого действия. Косвенная дуга выполняет вспомогательные функции [9].

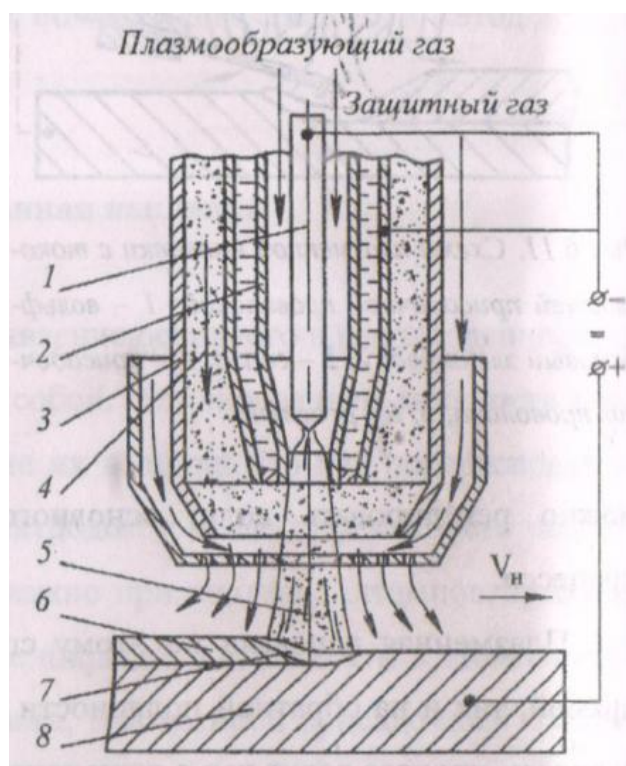


Рисунок 5 – Схема процесса плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу [7]

1 – неплавящийся электрод; 2 – внутреннее сопло; 3 – наружное сопло; 4 – газ транспортирующий порошок; 5 – струя плазмы; 6 – наплавленный металл; 7 – сварочная ванна; 8 – изделие

Достоинства способа плазменной наплавки – высокое качество наплавленного покрытия, малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления. К недостаткам можно отнести – невысокая производительность процесса, необходимость в сложном дорогостоящем оборудовании [10].

1.3.5. Двухдуговая наплавка.

На рис. 6 представлен принцип двухдуговой наплавки. Сущность способа двухдуговой наплавки заключается в использовании двух горелок закрепленных на подвижном портале. В качестве электродных компонентов могут быть использованы любые электродные проволоки. В процессе горения дуги проволоки перемешиваются в сварочной ванне, и

формируется наплавленный слой. Для защиты сварочной ванны применяется аргон, таким образом, дуга горит в струе защитного газа, который защищает зону сварки. Достоинствами двухдуговой наплавки является – высокая производительность процесса, низкая стоимость оборудования и наплавочных материалов, высокая прочность сцепления наплавленного покрытия и основного металла. В качестве источников питания могут служить два маломощных источника, в отличие от наплавки одной дугой. К недостаткам можно отнести – разбрызгивание электродных проволок, сложная система управления процессом.

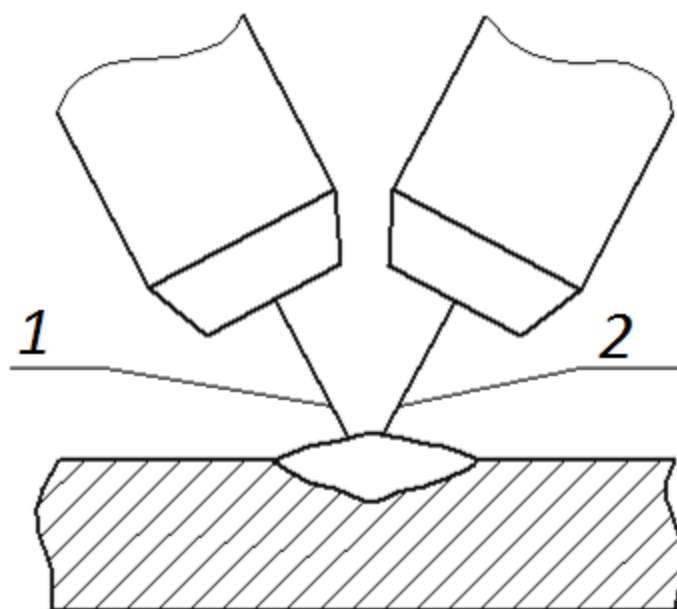


Рисунок 6 –Схема процесса двухдуговой наплавки

1.3.6. Наплавка комбинацией дуг

На рис. 7 схема подключения источников питания к электродам при наплавке комбинацией дуг. Сущность способа: полюса одного источника питания постоянного тока подключают к электродам, отрицательный полюс второго источника постоянного тока подключают к изделию, а положительный полюс второго источника тока подключают к электроду, к которому подключен положительный полюс первого источника тока и

скорости подачи электродов назначают, соответствующими значениям коэффициентов расплавления электродов в дугах прямой и обратной полярностей, причем скорость подачи электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника тока выбирают соответствующей коэффициенту расплавления плавящегося катода в дуге прямой полярности, а скорость подачи электрода, подключенного к положительным полюсам источников тока выбирают соответствующей коэффициенту расплавления плавящегося электрода-анода в дуге обратной полярности[11].

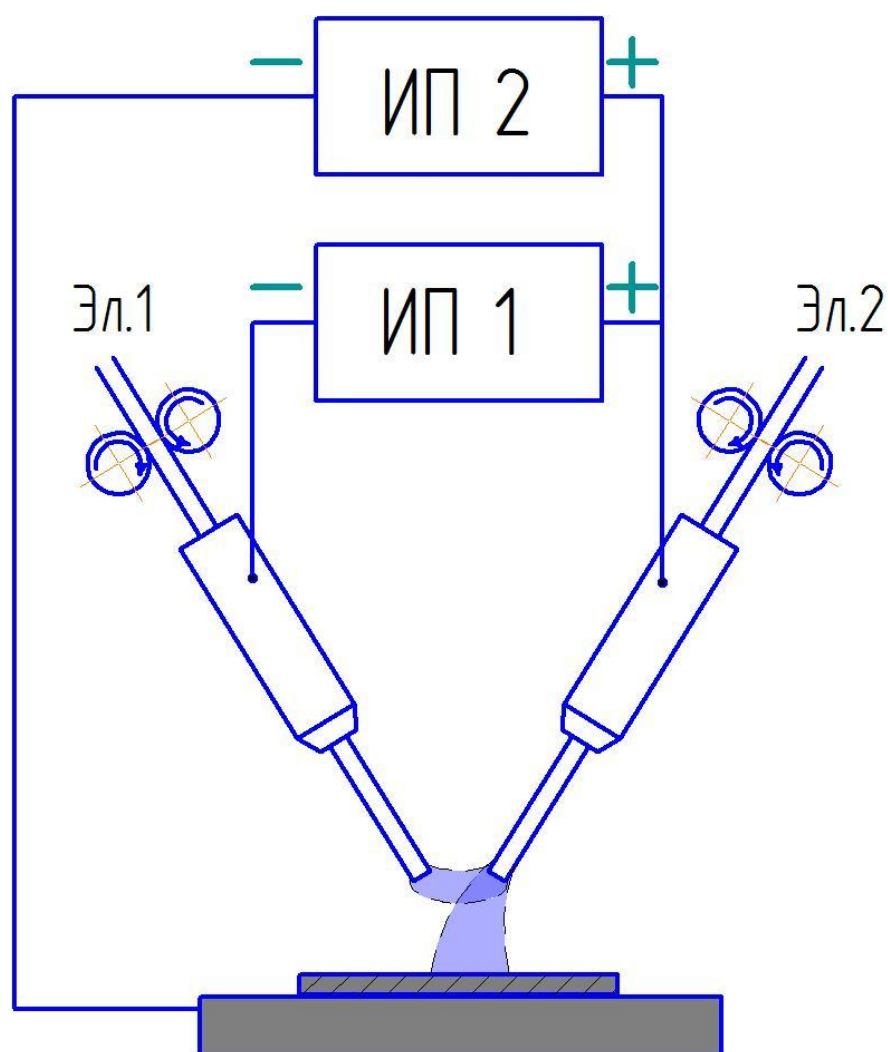


Рисунок 7 Схема подключения источников питания к электродам

Достоинствами способа наплавки комбинацией дуг является – высокая производительность процесса, низкая стоимость оборудования и наплавочных материалов, малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления. В качестве источников питания могут служить два маломощных источника, в отличие от наплавки одной дугой. Способ универсален: может быть применён как для сварочных электродов, так и для сварочных проволок. К недостаткам можно отнести – разбрызгивание электродных проволок, усложненная система управления процессом.

1.4. Материалы, применяемые для наплавки

При изготовлении изделий для обеспечения заданных свойств поверхностей применяют низкоуглеродистые стали, а на рабочие поверхности наплавляют, например, бронзу, заменяя полностью бронзовую деталь, кислотостойкую сталь или материал, хорошо работающий в абразивной среде и т.п.

Слои из этих материалов наносят на работающие поверхности деталей, например, валы, валки прокатного оборудования, рельсовые, корпуса химических и энергетических реакторов, оборудование химических производств и др.

Поверхность нагревается до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавляемым металлом, образуя металлическая связь с основным металлом. Как правило, химический состав наплавленного слоя может значительно отличаться от состава основного металла и толщина одного слоя, может быть от 0,5 ... 10 мм.

Специальные свойства наплавленного слоя зависят от его химического состава, который, определяется долями участия основного и наплавляемого металлов в образовании покрытия. Влияние разбавления

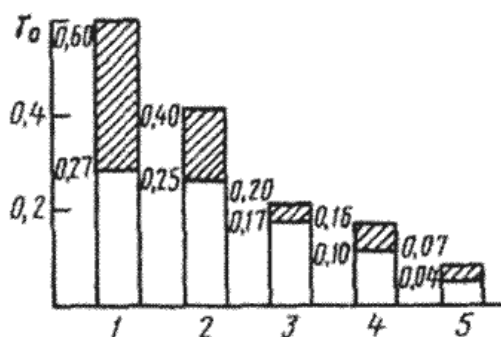
слоев основным металлом тем меньше, чем меньше доля основного металла в формировании наплавленной поверхности. Для чего необходимо минимизировать проплавление основного металла.

При многослойной наплавке состав каждого слоя различен, так как различна доля участия основного металла в образовании наплавленного слоя. Если при наплавке первого слоя основной металл непосредственно участвует в формировании слоя, то при наплавке второго и следующих за ним слоев он участвует опосредовано, определяя состав первых слоев. При наплавке большого числа слоев, состав металла поверхностного слоя может быть идентичен наплавляемому металлу, что используется для проверки свойств сварочных материалов.

Доля участия основного металла в формировании наплавленного слоя зависит от способа наплавки и от режима наплавки. Дуговые способы наплавки различаются по вкладываемой тепловой энергии в основной и наплавляемый металл. При дуге прямого действия, когда на основном металле располагается катодное или анодное пятно дуги, ограничить расплавление основного металла значительно труднее, особенно при значительном сосредоточении дугового разряда. Применение широких контактных наплавляемых материалов (таких как ленточный электрод), позволяет вводить наплавляемый металл с минимальным прогревом, и, следовательно расплавлением основного. При ручной дуговой наплавке покрытыми электродами, а особенно при механизированной наплавке плавящейся электродной проволокой в среде защитных газов или под флюсом, доля основного металла в наплавленном слое, как правило, не может быть, без опасности получения непровара, снижена менее чем до 0,2 мм. В то время как при плазменной наплавке с токоведущей присадочной проволокой тепловая энергия в основном вкладывается в присадочную проволоку, а на долю основного металла остаётся энергия остывающей плазмы дуги и теплота перегретой ванны

жидкого наплавляемого металла. Поэтому при плазменной наплавке с токоведущей присадочной проволокой и доля участия основного металла в наплавляемом слое меньше.

Зависимость долей участия основного металла в первом слое наплавки хромоникелевой аустенитной сталью на низкоуглеродистую различными способами наплавки на обычных режимах приведено в виде диаграммы на рис. 8. Очевидно, что доля участия основного металла в наплавке зависит от свойств основного и наплавляемого металлов - от их температуры плавления. Например, дуговая наплавка покрытыми электродами, обеспечивающими наплавленный металл типа алюминиевой бронзы ($T_{пл} = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), на низкоуглеродистую сталь дает меньшую долю участия, чем показано на рис. 8 для того же способа наплавки, но высоколегированной стали ($T_{пл} = 1420\text{ }^{\circ}\text{C}$). Увеличение коэффициента наплавки α_n (г/А*ч), который при бронзовых электродах составляет ~ 18 г/(А*ч), а при электродах из высоколегированной стали ~ 13 г/(А*ч). Также уменьшает долю участия высоколегированных электродов в наплавке.



1 - автоматическая под флюсом; 2 - ручная дуговая покрытыми электродами; 3 - автоматическая под флюсом с дополнительной присадочной проволокой, 4 - автоматическая под флюсом ленточным электродом; 5 - плазменной струей с токоведущей проволокой

Рисунок 8 - Доля участия основного металла в первом слое наплавки (хромоникелевая аустенитная сталь), выполненной различными способами на обычных режимах

Применение при наплавке, выполняемой под флюсом или в защитных газах, композитной электродной ленты, спрессованной из порошков, с большим электрическим сопротивлением и меньшей теплопроводностью по сравнению с цельнометаллической, приводят к более быстрому ее расплавлению и возможному уменьшению доли основного металла в наплавленном слое.

На долю основного металла в наплавленном слое влияет и интенсивность теплоотвода в наплавляемом изделии, который зависит от теплофизических свойств металла изделия, толщины металла вблизи наплавляемой поверхности, а также использование различных охлаждающих приёмов. На рис. 9 показано влияние на величину доли участия основного металла его толщины при наплавке медно-никелевыми электродами на бронзу покрытыми электродами разного диаметра. При увеличении толщины детали усиливается теплоотвод и уменьшается проплавление основного металла.



1 - Ø 4 мм, $I_{св} = 140$ А; 2 - Ø 5 мм, $I_{св} = 190$ А; 3 - Ø 6 мм, $I_{св} = 210$ А

Рисунок 9 Влияние толщины детали и режима наплавки на долю основного металла в одиночном валике (γ_0) при наплавке медно-никелевыми электродами на бронзу

Использование высококонцентрированных источников нагрева: дугу с неплавящимся вольфрамовым электродом, плазму или токи высокой

частоты. Бывает оправдано при наплавке через гранулированный, порошкообразный или иным способом нанесённый на поверхность основного металла наплавляемый металл требуемого состава, особенно при однослойной наплавке. При правильном подборе режима основной металл, получающий подогрев за счет теплопередачи через наплавочный металл, может расплавляться ограниченно, не приводя к большим значениям доли участия основного металла в наплавленном слое. Значительно менее стабильные результаты получаются при наплавке зернистых твердых сплавов угольной дугой.

Из плазменных способов наплавки и напыления наибольшее распространение получила плазменно-порошковая наплавка. При плазменной наплавке обеспечивается высокое качество наплавленного металла, малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления, возможность наплавки тонких слоев.

В зависимости от условий эксплуатации поверхностных слоев различных изделий требования к наплавленному слою различны. Наибольшее распространение получили наплавочные слои, которые можно классифицировать в основном по пяти группам:

1. Стали (углеродистые и высокоуглеродистые, хромомарганцовистые, хромистые и высокохромистые, хромоникелевые, высоковольфрамовые и молибденовые);
2. Специальные сплавы на основе железа (высокохромистые чугуны, сплавы с хромом и бором, сплавы с кобальтом, молибденом и вольфрамом);
3. Сплавы на основе никеля и кобальта (хромоникелевые сплавы с бором и кремнием, никелевые сплавы с молибденом, кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом);
4. Карбидные сплавы (с карбидами вольфрама, ванадия, хрома);

5. Сплавы на медной основе (бронзы алюминиевые, оловянно-фосфористые).

Внутри каждой из этих групп имеется большое количество различных вариантов составов, которые обеспечивают те или иные характеристики, требуемые для конкретных условий эксплуатации изделия. Как правило, задача наплавки - получение достаточно однородного по требуемым характеристикам (техническим условиям) слоя наиболее экономичными и производительными методами.

Обычно наплавляют на конструкционные углеродистые или низко- и среднелегированные стали.

При наплавке аустенитных сталей, мартенситных сталей на низкоуглеродистые или низколегированные возможно образование хрупких прослоек промежуточных составов, зон с выпадением твердых и малопластичных интерметаллидов, зон с ослабленными границами зерен в связи с прониканием жидкого наплавляемого металла, малорастворимого в основном металле (при наплавке медных сплавов на ряд сталей). При наличии таких прослоек возможны хрупкие разрушения (образование трещин, отслаивание слоя от основного металла) еще при изготовлении изделия. В результате часто приходится отказываться от выполнения наплавки одним составом наплавляемого материала (обеспечивающего требуемые свойства поверхности), и применять усложненную технологию - предварительно наплавлять подслоу, т.е. промежуточный слой из другого наплавочного материала, который может обеспечить надежные свойства в зоне сплавления с основным материалом детали, а затем тот материал, который требуется на поверхности наплавленной детали по условиям ее надежной эксплуатации.

При наплавке медных сплавов на ряд сталей могут образоваться межзеренные трещины в основном металле, распространяющиеся обычно перпендикулярно границе сплавления. Применение подслоя из

хромоникелевой ферритно-аустенитной стали (с содержанием в структуре не менее 40 % ферритной фазы) полностью исключает возникновение подобных трещин при последующей наплавке на такой подслое сплавов на медной основе. Иногда необходимость подслоя может вызываться и другими причинами. Например, при эксплуатации наплавленной детали в условиях частых теплосмен в результате различных значений коэффициентов линейного расширения основного металла и металла первого слоя в зоне сплавления возникают иногда очень большие термические напряжения, вызывающие после воздействия определенного числа циклов разрушения в результате термической усталости.

Для снижения локализации напряжений нужно сначала на основной металл наплавить подслоя с промежуточным значением коэффициента линейного расширения. Он ограничит развитие диффузионных прослоек (обезуглероживание в углеродистой стали и появление карбидной прослойки в более легированной аустенитной стали возле линии сплавления), которые после длительной работы, наплавленной детали при высоких температурах или после термообработки изделия могут снижать эксплуатационные характеристики изделия.

Таким образом, при наплавке нужно в комплексе снимать ряд сложных вопросов: выбор материала, который придаёт необходимые свойства соответствующие от условиям эксплуатации изделия; возможность наплавки этого материала сразу на основной металл детали или подбор материала для наплавки подслоя; выбор способа и режима наплавки, формы и методов изготовления наплавочных материалов; выбор термического режима для выполнения наплавки (сопутствующего подогрева исключающего получение хрупких подкаленных зон в металле детали или в наплавленном слое; ускорение охлаждения наплавленной детали, если для металла нежелателен длительный перегрев); установление необходимости последующей термической (общей или

местной) обработки (для получения необходимых эксплуатационных характеристик или возможности промежуточной механической обработки).

При возможности получения желаемых результатов путем использования нескольких способов наплавки (если необходимо и последующей механической обработки) важны и технико-экономические показатели сопоставляемых способов.

Исходя из проведенного анализа способов наплавки и материалов для достижения поставленной цели работы были выбрано направление исследования – стали, как наиболее распространенная группа конструкционных материалов. Так же большой интерес представляют интерметаллидные покрытия на основе фаз Ni_3Al , NiAl , FeAl , Fe_3Al .

Рассмотрим диаграмму состояния алюминий-никель (рис.10)

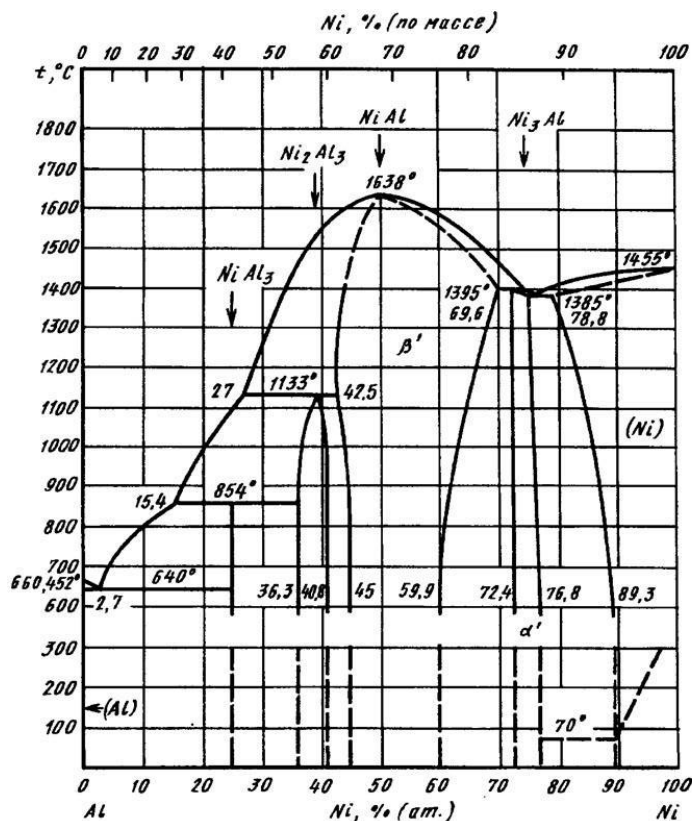


Рисунок 10 – Диаграмма состояния алюминий-никель [12]

Наибольший интерес представляют фазы NiAl и Ni_3Al , так как они обладают наилучшими механическими и эксплуатационными свойствами

по сравнению с другими соединениями, образующимися в сплавах системы никель-алюминий. Они имеют высокие температуры плавления и сопротивление окислению (таб. 3) [10].

Таблица 3 [10]

Соединение	Кристаллическая структура	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$E, \text{МПа}$
Ni_3Al	$L1_2$ (упорядоченная ГЦК)	1390	7500	178500
NiAl	B_2 (упорядоченная ОЦК)	1640	5860	294200

Отсюда следует, что предельная температура применения сплавов на основе NiAl составляет 1600°C , на основе Ni_3Al – 1300°C . Жаростойкость интерметаллидных сплавов на основе фаз Ni_3Al и NiAl приблизительно равна 1100°C . Главным недостатком алюминидов никеля является их повышенная хрупкость при комнатной температуре [13].

Рассмотрим диаграмму состояния железо-алюминий (рис. 11)

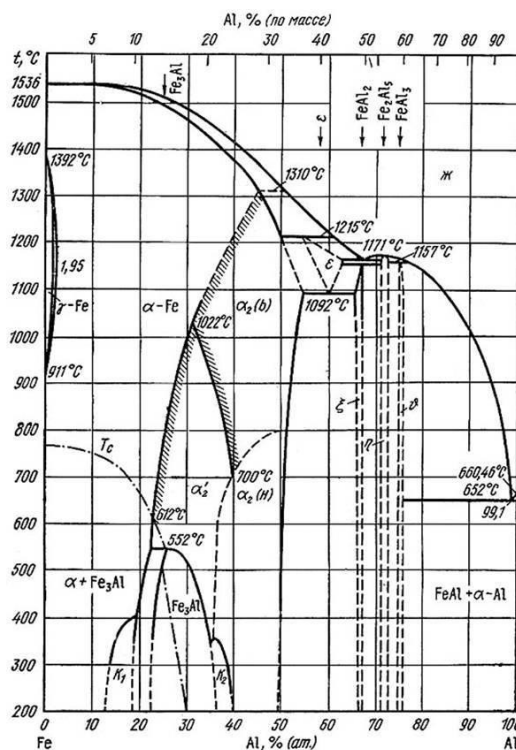


Рисунок 11 – Диаграмма состояния железо-алюминий [12]

Наибольший интерес из образующихся соединений представляют фазы Fe_3Al и FeAl , так как они обладают наилучшими механическими и

эксплуатационными свойствами по сравнению с другими соединениями, образующимися на диаграмме железо-алюминий. Использование сплавов на основе фаз FeAl_2 , Fe_2Al_5 , FeAl_3 является нецелесообразным, так как они обладают высокой хрупкостью, поэтому они не рассматриваются в качестве композиционных материалов. Жаростойкость интерметаллидных сплавов на основе фаз Fe_3Al и FeAl приблизительно равна 950°C [13].

Но промышленные наплавочные материалы для наплавки сплавов систем никель-алюминий и железо алюминий не выпускаются. Поэтому для образования интерметаллидного покрытия систем никель-алюминий и железо алюминий был предложен способ наплавки комбинацией дуг.

Таким образом, задачами проекта являются:

- 1) Разработка методики и оснастки для наплавки комбинацией дуг покрытий на основе никель-алюминий и железо алюминий.
- 2) Исследование процессов наплавки комбинацией дуг на основе никель-алюминий, железо-алюминий и их химического состава.
- 3) Разработка аналитического метода расчёта химического состава наплавленного металла.
- 4) Анализ результатов физического контроля и предложенного метода расчёта химического состава наплавленного металла.

2 Методика исследования процессов и свойств наплавки

2. *Методика исследования процессов наплавки комбинацией дуг*

Исследования процессов наплавки комбинацией дуг покрытий систем Ni-Al и Fe-Al осуществлялись при помощи специально сконструированной лабораторной установки, состоящей из: рамы с направляющими рельсами; подвижного портала с механизмами для закрепления и регулирования двух горелок (рис.12); двух источников питания. Данная установка позволяет осуществлять наплавку комбинацией дуг в автоматическом режиме. Зажигание дуг происходит с пульта, а включение портала, направление движения и скорость передвижения портала осуществляется с блока управления.



Рисунок 12 – Установка для автоматической наплавки комбинацией дуг

Рама установки размером 800×350 мм крепится перпендикулярно стене специальными кронштейнами. На раме закреплена направляющая серии HG длиной 700 мм.

Передвижение портала осуществляется шаговым двигателем при зацеплении зубчатой рейки, установленной на оси и зубчатой шестерни, установленной на валу двигателя. Управление шаговыми двигателями осуществляется специализированными приводами, собранными в едином блоке управления, состоящем из программируемого контроллера SMC-3; программируемого блока управления SMSD-3.0 и блока питания.

Механизм позиционирования предназначен для обеспечения качества процесса наплавки путем изменения геометрии ввода электродных проволок в место наплавки, и позволяет регулировать вылет электрода; угол ввода присадочных проволок; расстояние между дугами.

Для наплавки использовались две сварочные горелки ТВІ. Регулировка положения сварочных горелок осуществлялась при помощи специализированного исполнительного механизма линейного перемещения с низким люфтом передвижения. Рабочий ход механизма составляет 100 мм. К данному механизму крепится пластина с пазами для перемещения хомутов. Хомуты предназначены для закрепления горелок, с их помощью осуществляется регулировка положения горелок.

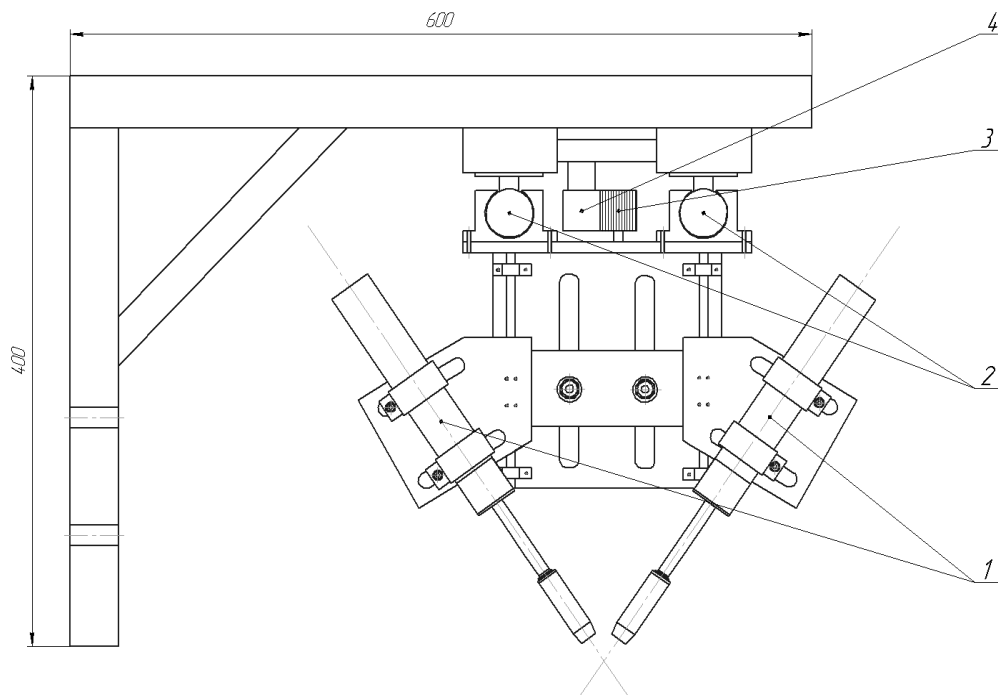


Рисунок 13 – Схема установки для автоматической наплавки комбинацией дуг

1 – вертикальные горелки; 2 – направляющие; 3 – зубчатая шестерня; 4 – зубчатая рейка.

Для наплавки использовали образцы из стали марки Ст3 размером 120×80 мм и толщиной 20 мм. В качестве электродных компонентов использовались сварочные проволоки АМг5 диаметром 1,2 мм; ER70S-6 (аналог Св08Г2С) диаметром 1,2 мм (однако отличие от отечественного аналога состоит в том, что проволока ER70S-6 имеет медное покрытие необходимое для получения максимального токопроводящего контакта) и проволока НП2 диаметром 1,2 мм.

Источниками питания для наплавки служили два универсальных сварочных источника Megatronіс BDH 550 (рис.14). Схема подключения сварочных источников (рис. 15)



Рисунок 14 – Сварочный полуавтомат Megatron BDH 550

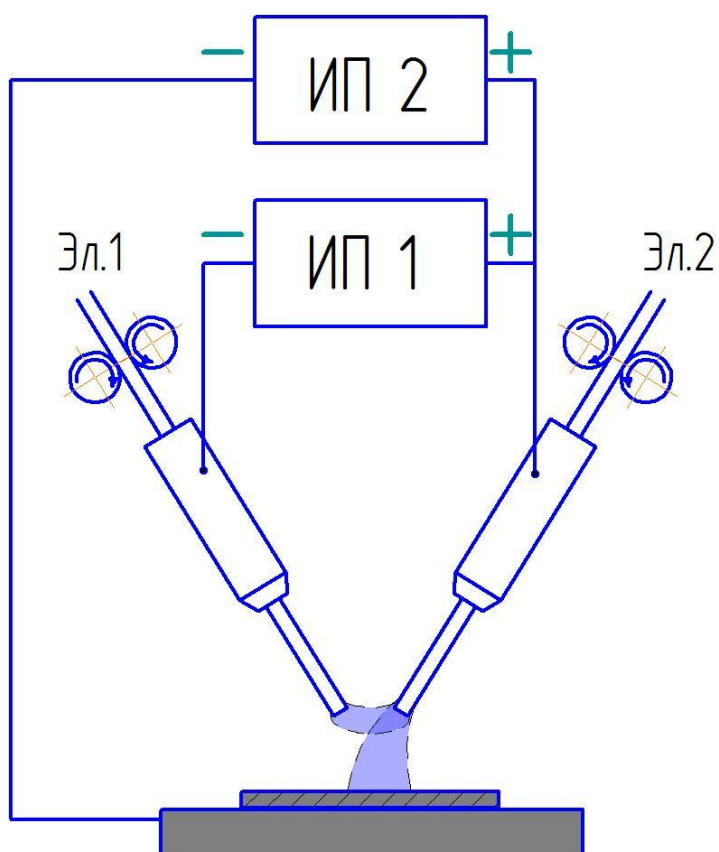


Рисунок 15 - Схема подключения сварочных источников

Режимы наплавки варьировались в широких пределах. Скорость наплавки составляла от 0,9 до 1,5 м/мин. Скорость подачи проволок при наплавке покрытия на основе Ni-Al составляла: скорость подачи алюминиевой проволоки 4 м/мин, никелевой проволоки от 3 до 4 м/мин, напряжение на дуге при этом было – для никелевой проволоки 25,5 В, а для алюминиевой проволоки 15,5 В. Скорость подачи проволок при наплавке покрытий на основе Fe-Al составляла: скорость подачи железной проволоки была от 3 до 4 м/мин, алюминиевой проволоки от 3 до 5 м/мин, напряжение на дуге было – для железной проволоки от 23,5 до 27,5 В, а для алюминиевой проволоки от 14 до 17 В.

Все режимы наплавки комбинацией дуг устанавливались при помощи блоков настройки сварочных источников и блока управления перемещения портала.

Геометрические параметры наплавленных валиков измерялись при помощи штангенциркуля ШЦ-1 со значением отсчета по нониусу 0,1 мм. Измерения ширины и выпуклости измерялись непосредственно на наплавленных образцах. Величина проплавления измерялась на макрошлифах (рис. 16). Также измерения проводились при помощи программы Universal Desktop Ruler с заданием масштаба на фотографии макрошлифа и дальнейшем измерении геометрических параметров наплавленных валиков.

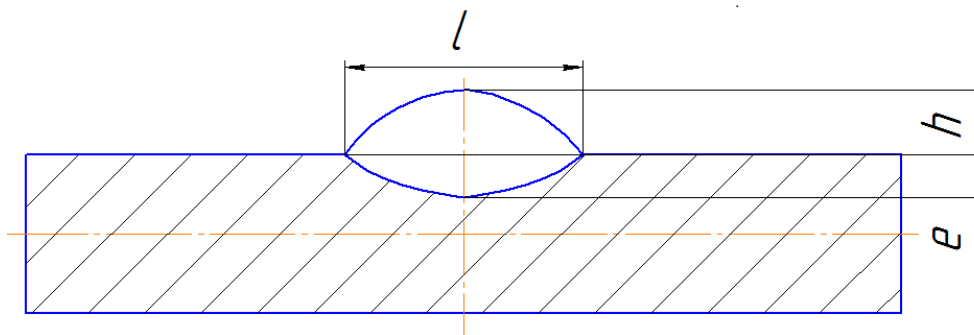


Рисунок 16 – Схема измерения геометрических параметров шва

2.2. Методика исследования химического состава наплавленных покрытий

Анализ химического состава проводился методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) основан на регистрации различных типов сигналов, генерируемых в образце при сканировании его поверхности сфокусированным электронным зондом. Вторичные, отраженные и оже-электроны, рентгеновское излучение и другие типы сигналов несут информацию о структуре, фазовом и химическом составе образца. Высокая разрешающая способность, большая глубина фокуса в сочетании с наглядностью изображения, простота подготовки объектов исследований, широкие возможности элементного анализа при использовании различных систем регистрации рентгеновского излучения (волнодисперсионные (WDS) или энергодисперсионные (EDS) системы) позволяют успешно использовать метод РЭМ в материаловедческих исследованиях для изучения структуры и элементного состава покрытий, поверхностей химического взаимодействия, отложений и так далее [8].

Рентгеноспектральный анализ проводился в условиях ОАО «АВТОВАЗ» на комплексе сканирующего электронного микроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Германия) с блоками рентгеновского энергетического спектрометра INCA Energy-300 и рентгеновского волнового спектрометра INCA Wave-500 и в условиях ФГУП НИАР на комплексе состоящий из автоэмиссионного растрового микроскопа сверхвысокого разрешения Zeiss SUPRA 55VP в комплекте с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy 350, волновым спектрометром Inca Wave 500 и системой регистрации и анализа дифракции отраженных электронов HKL EBSD Premium System [8].

Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения наплавки из покрытий на основе никель-алюминий и железо-алюминий на пластине из Ст3 (рис. 17).

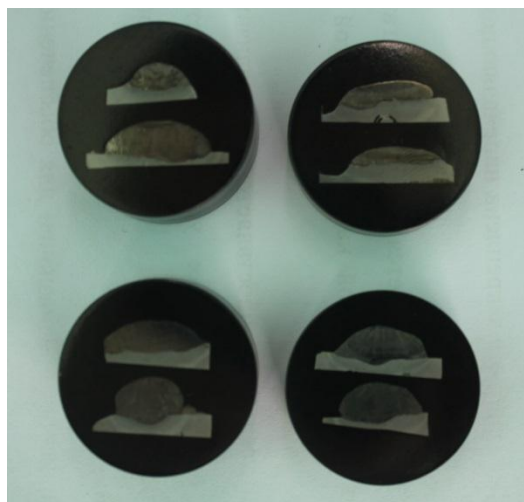


Рисунок 17 – Образцы для исследования химического состава

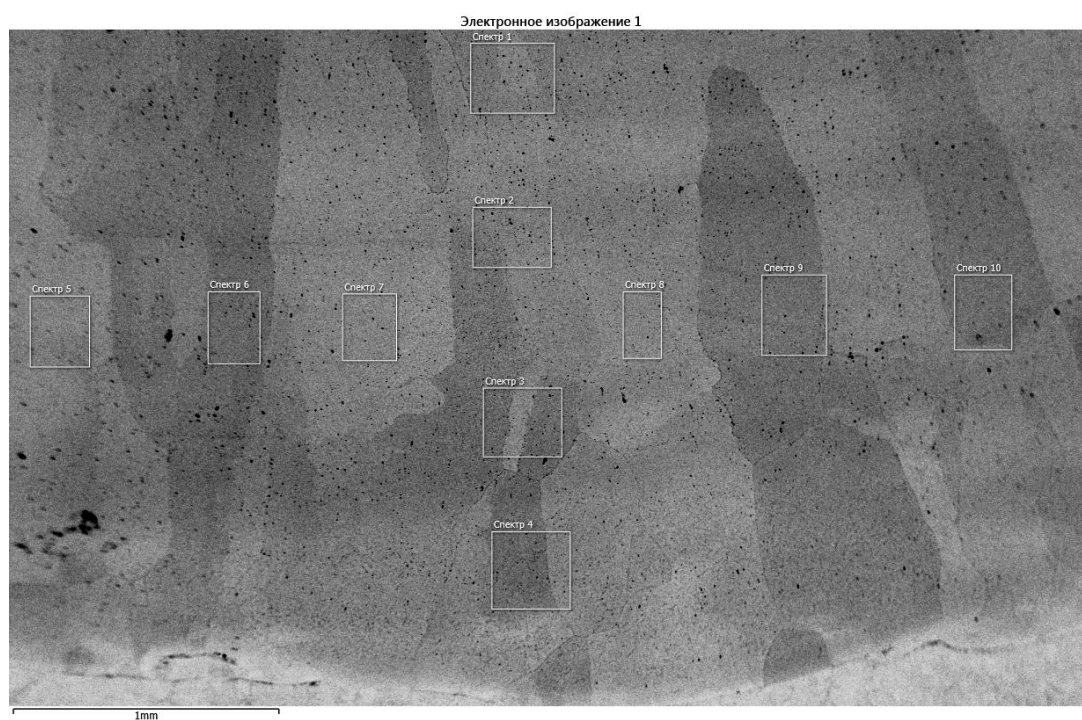


Рисунок 18 – Схема выбора точек для исследования методом РЭМ

3 Результаты исследований

3.1 Результаты исследований сплавов на основе Ni-Al

3.1.1 Геометрические параметры

Для исследования процессов формирования покрытий на основе Ni-Al были подобраны следующие режимы наплавки:

Таблица 4 – Основные режимы наплавки покрытий на основе Ni-Al

№	$V_{св}$, м/мин	$V_{подAl}$, м/мин	$V_{подNi}$, м/мин	$U_{дAl}$, В	$I_{дAl}$, А	$U_{дNi}$, В	$I_{дNi}$, А
1	0,9	4	4	15,5	56	25,5	157
2	1,2	4	3	15,5	56	25,5	125
3	1,5	4	3,5	15,5	56	25,5	150
4	1,2	4	4	15,5	56	25,5	157
5	1,5	4	3	15,5	56	25,5	125
6	1,2	4	3,5	15,5	56	25,5	150
7	1,5	4	4	15,5	56	25,5	157
8	0,9	4	3	15,5	56	25,5	125
9	0,9	4	3,5	15,5	56	25,5	150

Каждому значению номеру опыта соответствует значение номера образца. В результате проведения всей серии опытов были установлены следующие геометрические параметры образцов (таб. 5). Внешний вид комбинации дуг представлен на рис. 19. Внешний вид валиков представлен на рис. 20 и 21



Рисунок 19 - Внешний вид комбинации дуг

Таблица 5 – Геометрические параметры образцов

№	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
1	16,3	4,3	2,2
2	14,0	3,5	1,6
3	13,3	3,7	0,5
4	13,9	3,1	1,1
5	13,7	4,1	0,7
6	12,9	3,3	1,3
7	14,7	3,2	1,3
8	17,3	4	1,6
9	15,6	4,5	1,8



Рисунок 20 – Внешний вид наплавленного валика №8



Рисунок 21 – Внешний вид наплавленного валика №6

Проведенные исследования показали, что в данном диапазоне режимов наплавки формируются валики с постоянными геометрическими параметрами.

3.1.2 Химический состав

Химический состав наплавленных покрытий на основе Ni-Al варьировался в следующих пределах: содержание алюминия составляло от 8 до 28%, содержание никеля составляло от 66 до 86% и содержание железа варьировалось от 5 до 17%. На рис. 22 – 30 представлены графики химического состава по сечению шва.

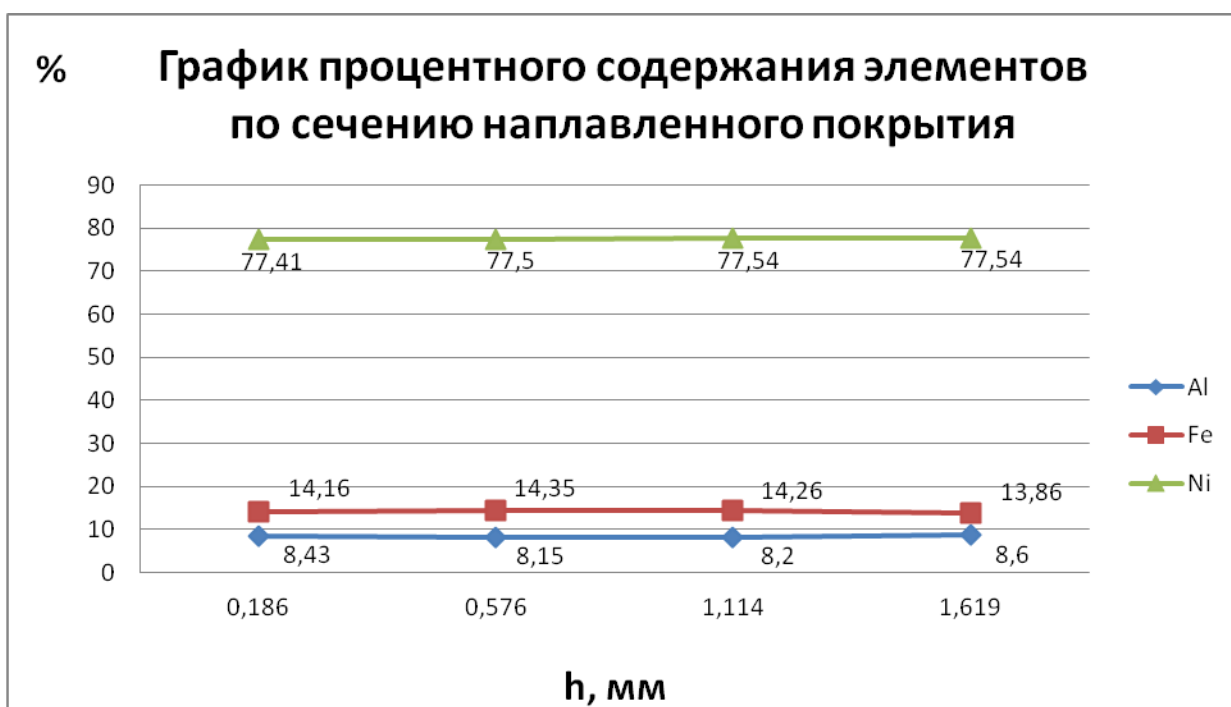


Рисунок 22 – Химический состав образца №1

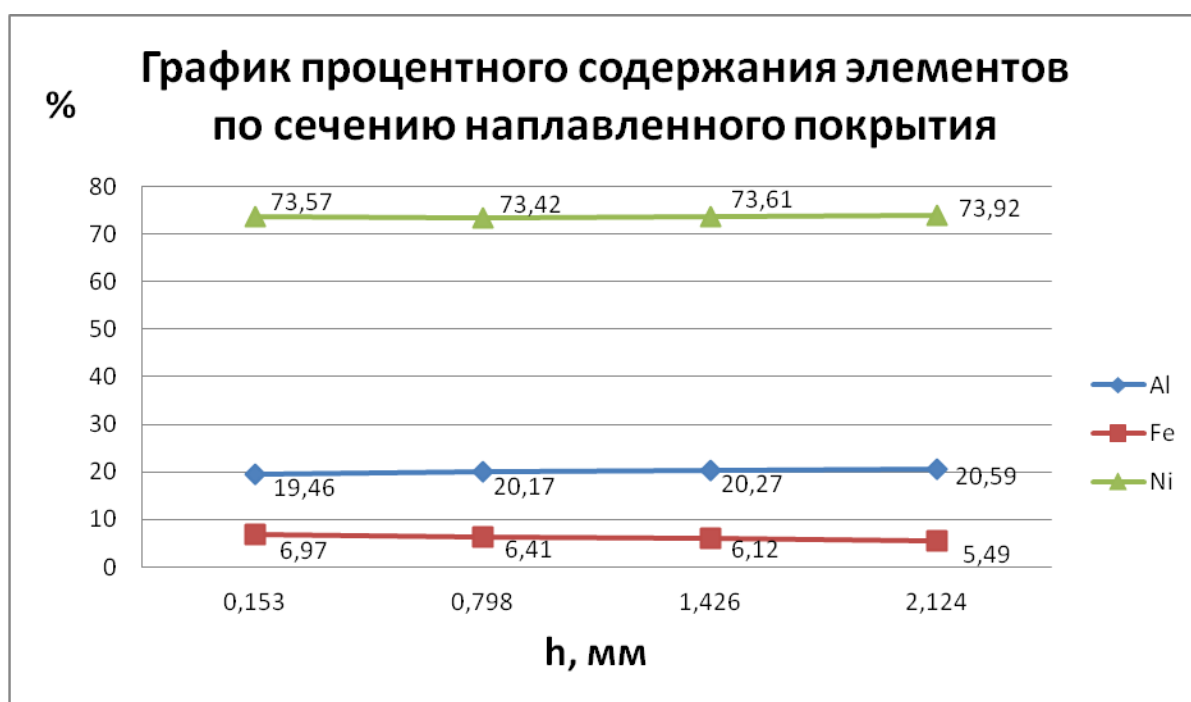


Рисунок 23 – Химический состав образца №2

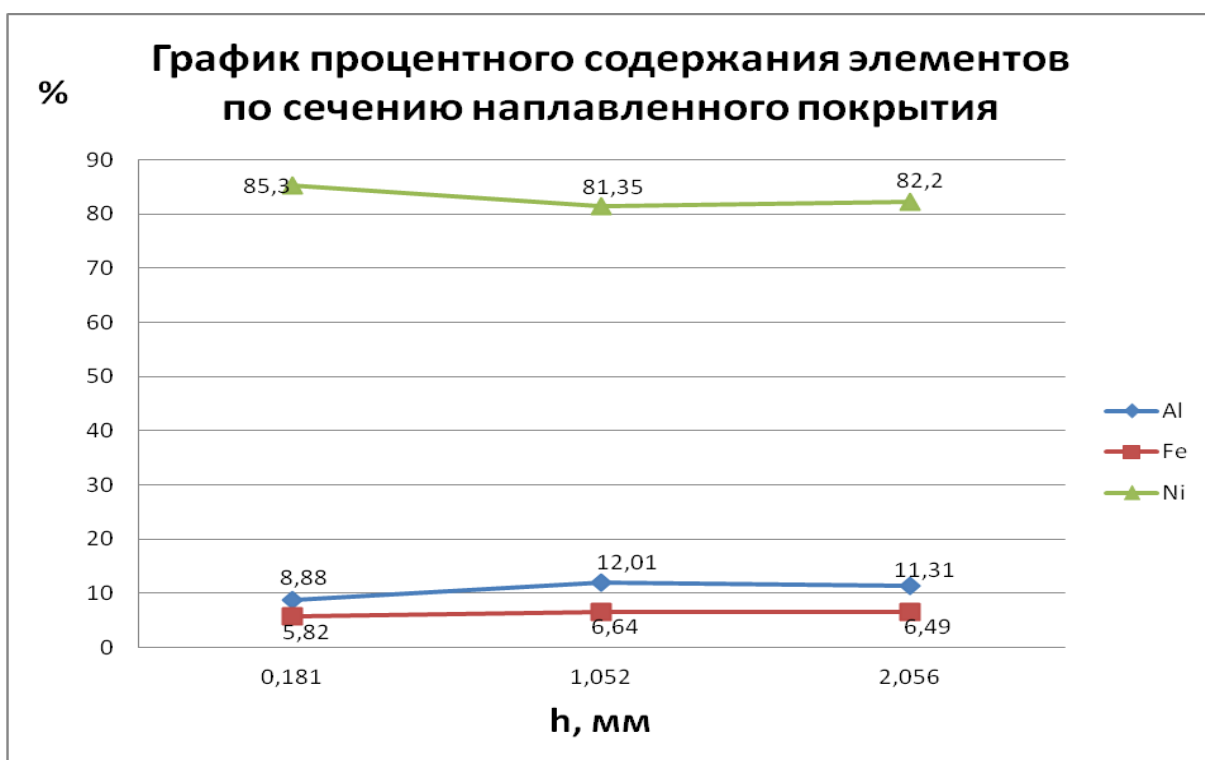


Рисунок 24– Химический состав образца №3



Рисунок 25 – Химический состав образца №4

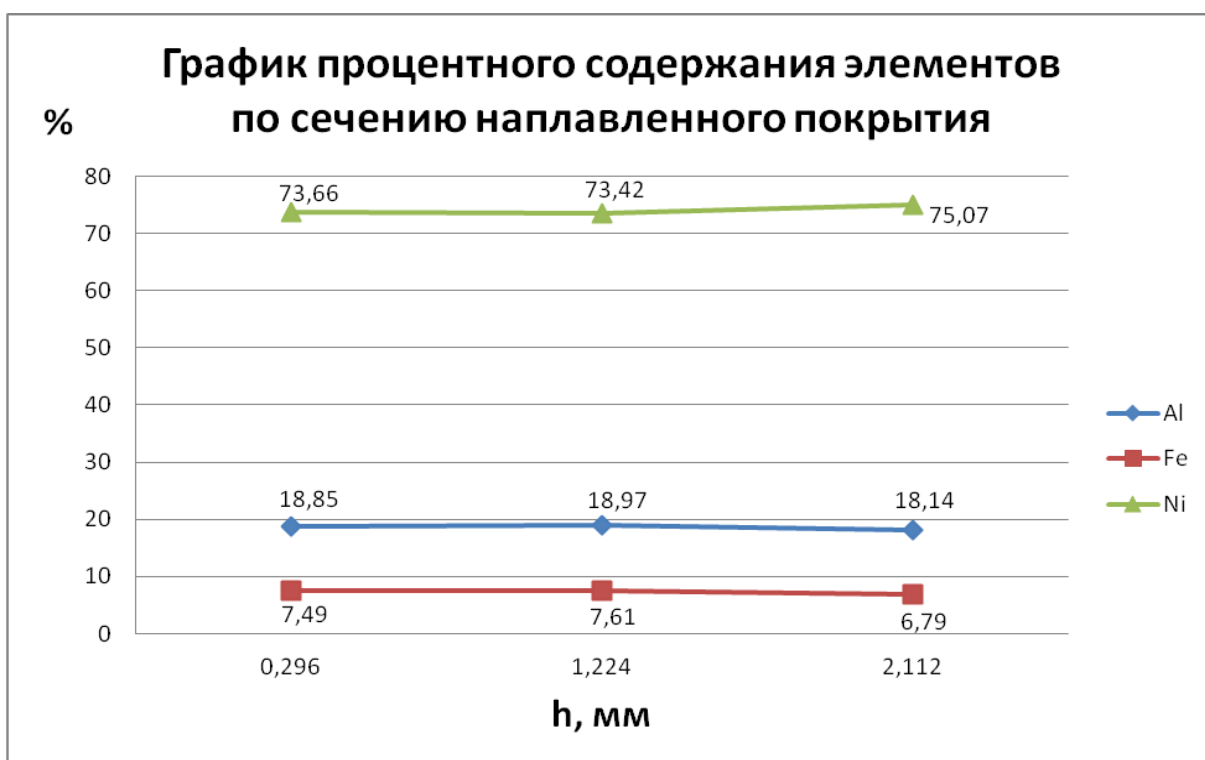


Рисунок 26– Химический состав образца №5

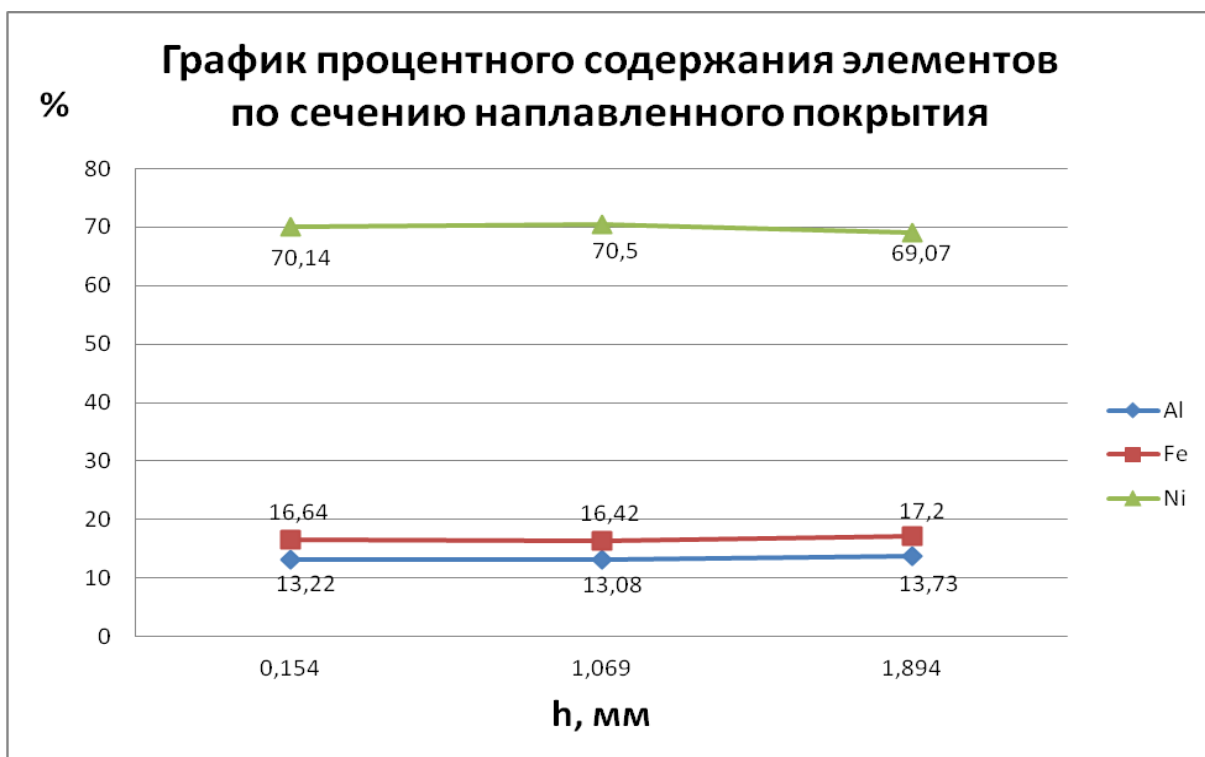


Рисунок 27 – Химический состав образца №6

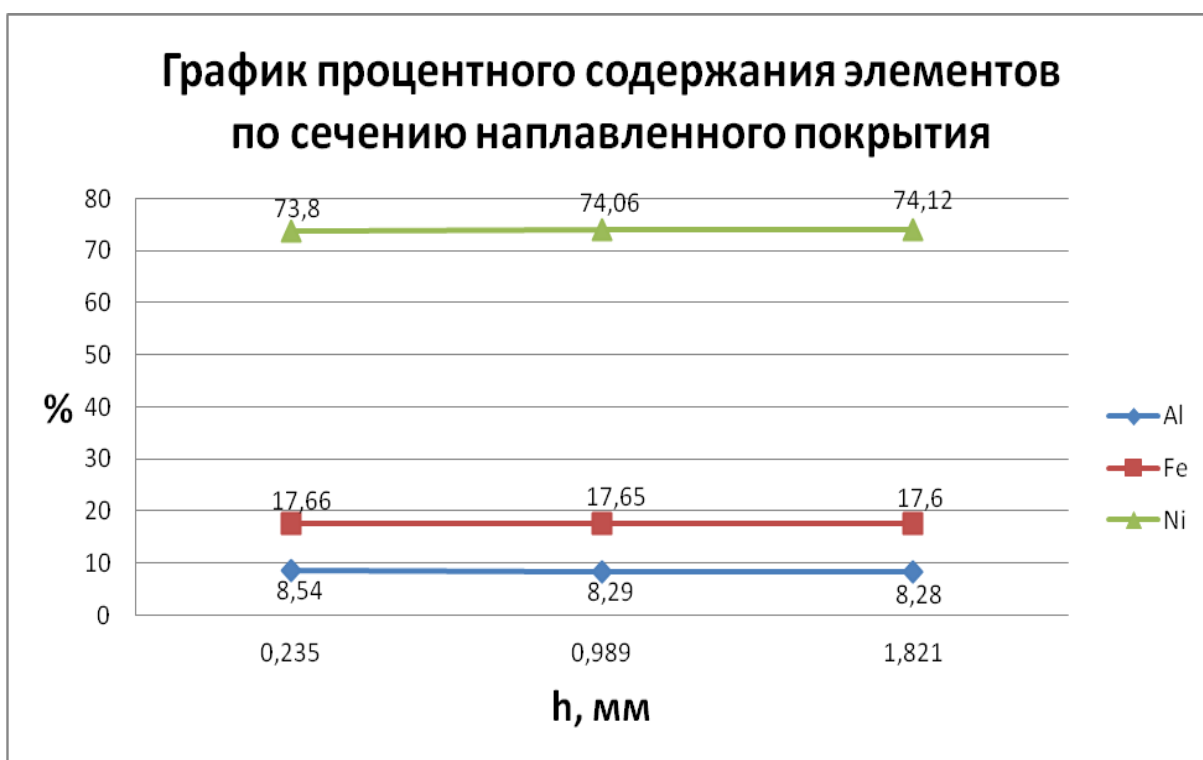


Рисунок 28 – Химический состав образца №7

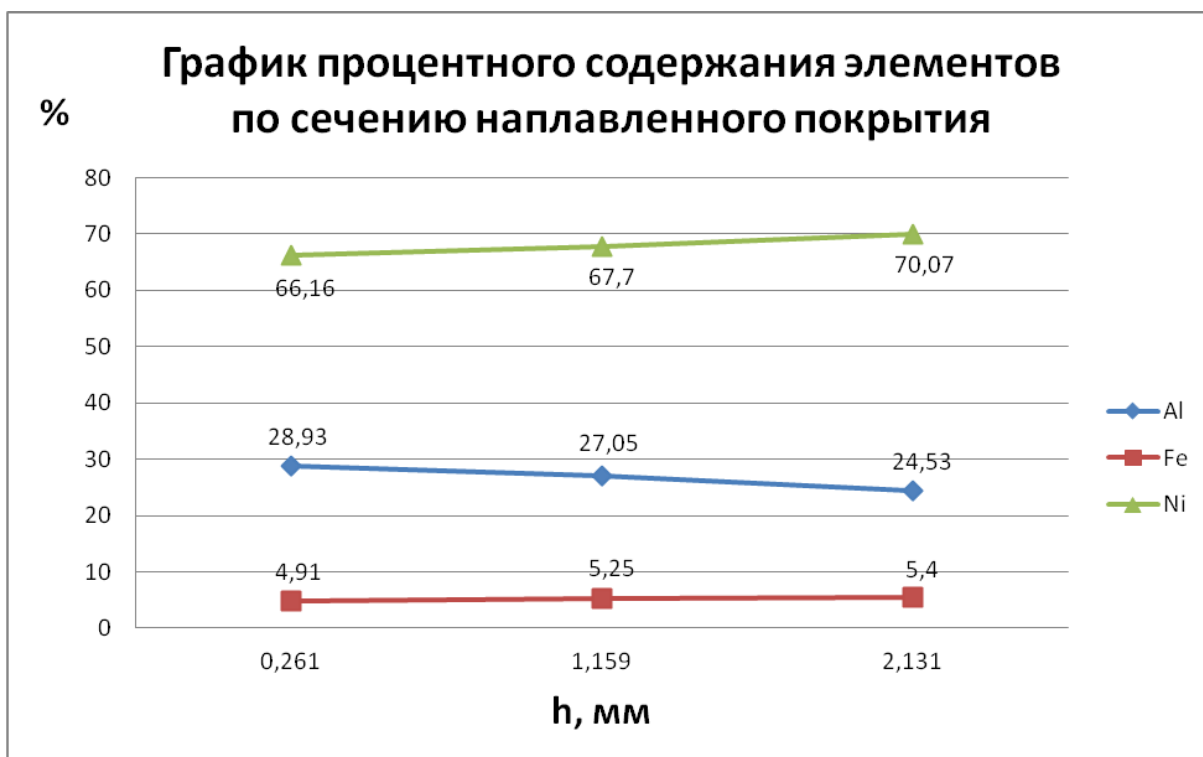


Рисунок 29 – Химический состав образца №8

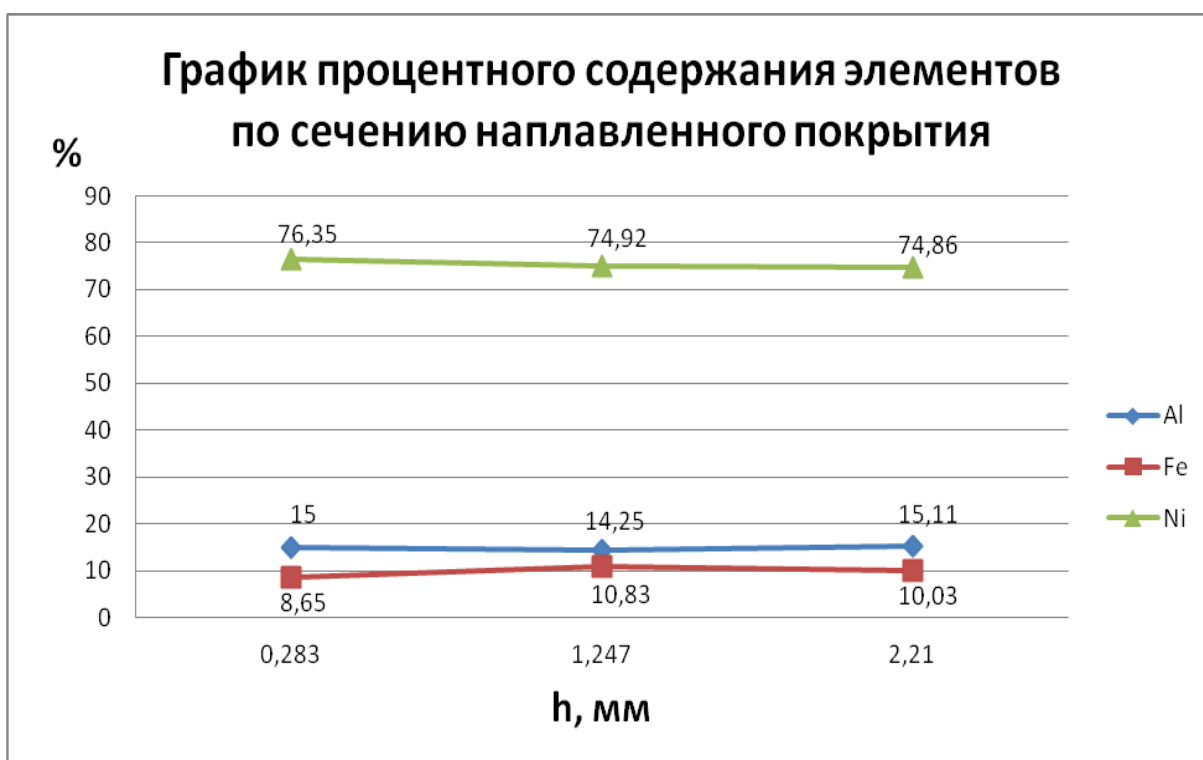


Рисунок 30– Химический состав образца №9

Анализируя графики химического состава по сечению шва можно сделать вывод, что неоднородность химического состава наплавленных валиков не превышает 3%.

3.2 Результаты исследований сплавов на основе Fe-Al

3.2.1 Геометрические параметры

Для исследования процессов формирования покрытий на основе Fe-Al была составлена матрица планирования полного факторного эксперимента (таб. 6) для пяти факторов ($u_{п Al}$ – скорость подачи алюминиевой проволоки; $u_{п Fe}$ – скорость подачи стальной проволоки; u_n – скорость наплавки; $U_{д Al}$ – напряжение на дуге, на алюминиевой электродной проволоке; $U_{д Fe}$ – напряжение на дуге, на железной электродной проволоке).

Таблица 6 – Матрица планирования полного факторного эксперимента

Номер опыта	Значения факторов				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	+	+	+	+	+
2	+	-	-	-	-
3	-	+	-	-	-
4	-	-	+	-	-
5	-	-	-	+	-
6	-	-	-	-	+
7	+	+	-	-	-
8	+	-	+	-	-
9	+	-	-	+	-
10	+	-	-	-	+
11	-	+	+	-	-
12	-	+	-	+	-
13	-	+	-	-	+
14	-	-	+	+	-
15	-	-	+	-	+
16	-	-	-	+	+
17	-	-	+	+	+
18	-	+	-	+	+
19	-	+	+	-	+
20	-	+	+	+	-
21	+	-	-	+	+

Номер	Значения факторов				
22	+	-	+	-	+
23	+	-	+	+	-
24	+	+	-	-	+
25	+	+	-	+	-
26	+	+	+	-	-
27	+	+	+	+	-
28	+	+	+	-	+
29	+	+	-	+	+
30	+	-	+	+	+
31	-	+	+	+	+
32	-	-	-	-	-

Режимы наплавки покрытий на основе Fe-Al были подобраны на основе ранее проведенных исследований сплавов на основе Ni-Al. Таким образом, были подобраны следующие режимы наплавки (таб. 7):

Таблица 7 – Режимы наплавки сплавов на основе Fe-Al

Номер образца	$V_{\text{подAl}}$, м/мин	$V_{\text{подFe}}$, м/мин	V_H , м/мин	$U_{\text{дAl}}$, В	$I_{\text{дAl}}$, А	$U_{\text{дFe}}$, В	$I_{\text{дFe}}$, А
1	5	4	1,5	17	78	27,5	272
2	5	3	0,9	14	123	23,5	230
3	3	4	0,9	14	93	23,5	267
4	3	3	1,5	14	93	23,5	230
5	3	3	0,9	17	47	23,5	230
6	3	3	0,9	14	93	27,5	225
7	5	4	0,9	14	123	23,5	267

Номер образца	$V_{\text{подAl}}$, м/мин	$V_{\text{подFe}}$, м/мин	V_H , м/мин	$U_{\text{дAl}}$, В	$I_{\text{дAl}}$, А	$U_{\text{дFe}}$, В	$I_{\text{дFe}}$, А
8	5	3	1,5	14	123	23,5	230
9	5	3	0,9	17	78	23,5	230
10	5	3	0,9	14	123	27,5	225
11	3	4	1,5	14	93	23,5	267
12	3	4	0,9	17	47	23,5	267
13	3	4	0,9	14	93	27,5	272
14	3	3	1,5	17	47	23,5	230
15	3	3	1,5	14	93	27,5	225
16	3	3	0,9	17	47	27,5	225
17	3	3	1,5	17	47	27,5	225
18	3	4	0,9	17	47	27,5	272
19	3	4	1,5	14	93	27,5	272
20	3	4	1,5	17	47	23,5	267
21	5	3	0,9	17	78	27,5	225
22	5	3	1,5	14	123	27,5	225
23	5	3	1,5	17	78	23,5	230
24	5	4	0,9	14	123	27,5	272
25	5	4	0,9	17	78	23,5	267
26	5	4	1,5	14	123	23,5	267
27	5	4	1,5	17	78	23,5	267
28	5	4	1,5	14	123	27,5	272
29	5	4	0,9	17	78	27,5	272
30	5	3	1,5	17	78	27,5	225
31	3	4	1,5	17	47	27,5	272
32	3	3	0,9	14	93	23,5	230

В результате проведения всей серии опытов были установлены следующие геометрические параметры образцов (таб. 8). Внешний вид валиков представлен на рис. 31– 33

Таблица 8 – Геометрические параметры наплавленных образцов

№	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
1	14,07	5,27	0,7
2	11,23	6,73	1,5
3	13,06	6,83	1,6
4	9,4	4,67	0,9
5	12,67	6,1	1,3
6	15,8	5,27	1,0
7	15,63	6,7	1,4
8	9,63	5,1	0,8
9	15,47	6,1	1,0
10	16,67	5,07	0,9
11	8,93	4,83	1,1
12	14,13	6,3	1,2
13	14,37	6,63	1,2
14	11,03	3,83	0,9
15	10,67	3,97	0,8
16	13,33	5,77	1,4
17	11,67	4,5	0,9
18	17,0	5,5	1,4
19	13,73	4,13	1,1
20	10,07	5,1	1,1
21	16,13	7,17	0,8

№	Ширина шва (l), мм	Высота шва (h), мм	Проплавление (e), мм
22	10,5	5,6	1,4
23	11,97	4,67	1,0
24	18,33	7,27	1,1
25	14,9	8,2	1,2
26	10,33	5,4	1,7
27	14,03	5,1	1,7
28	14,23	4,9	1,0
29	15,2	6,57	1,1
30	10,67	5,13	1,5
31	13,9	3,73	1,4
32	11,37	5,87	1,3



Рисунок 31 – Внешний вид наплавленного валика №17



Рисунок 32 – Внешний вид наплавленного валика №32



Рисунок 33 – Внешний вид наплавленного валика №13

Проведенные исследования показали, что в данном диапазоне режимов наплавки формируются валики с постоянными геометрическими параметрами.

3.2.2 Химический состав

Химический состав наплавленных покрытий на основе Fe-Al варьировался в следующих пределах: содержание алюминия в наплавленных валиках находилось от 8 до 25%, а содержание железа было в пределах от 74 до 91%. На рис. 34 – 36 представлены графики химического состава по сечению шва.

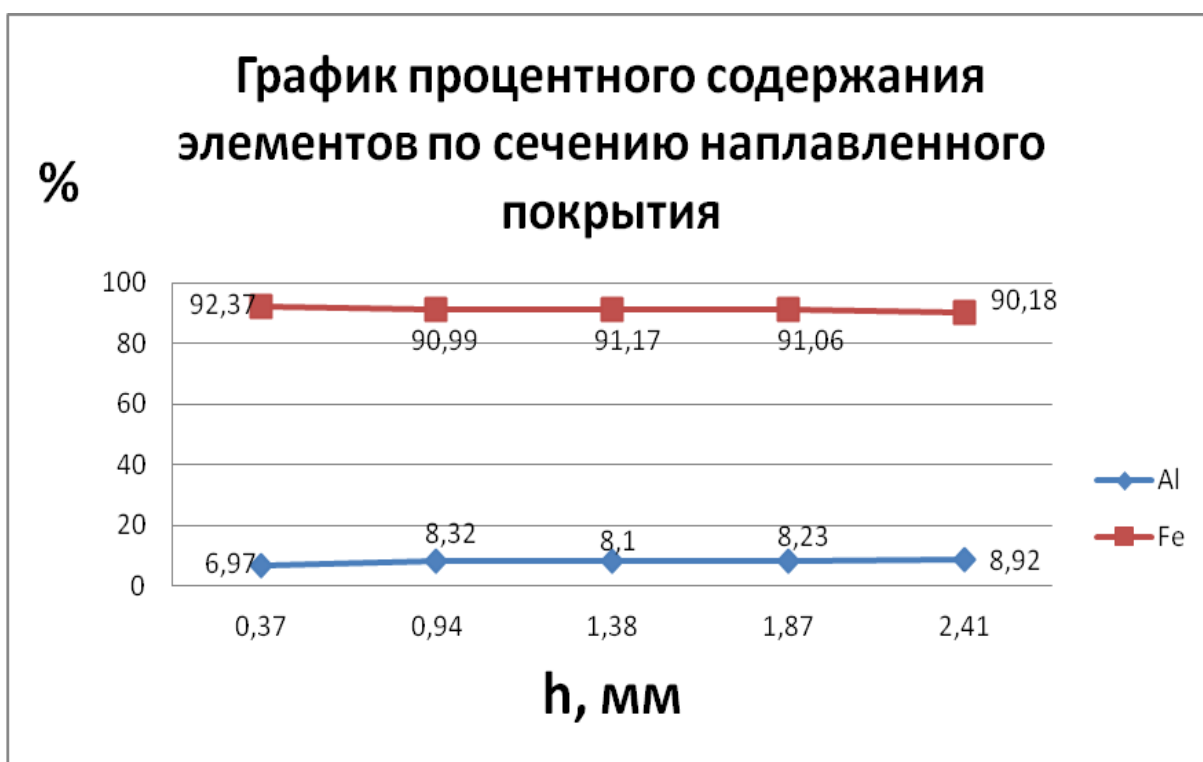


Рисунок 34 – Химический состав образца №18

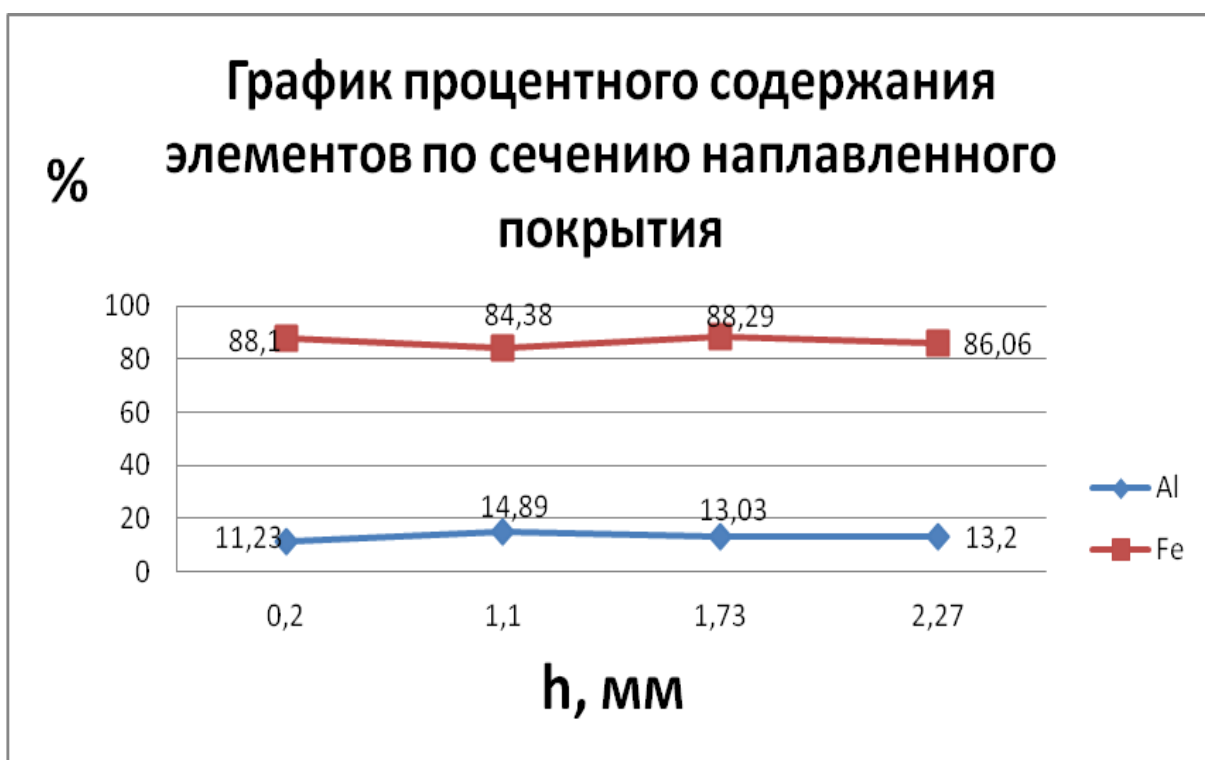


Рисунок 35 – Химический состав образца №16

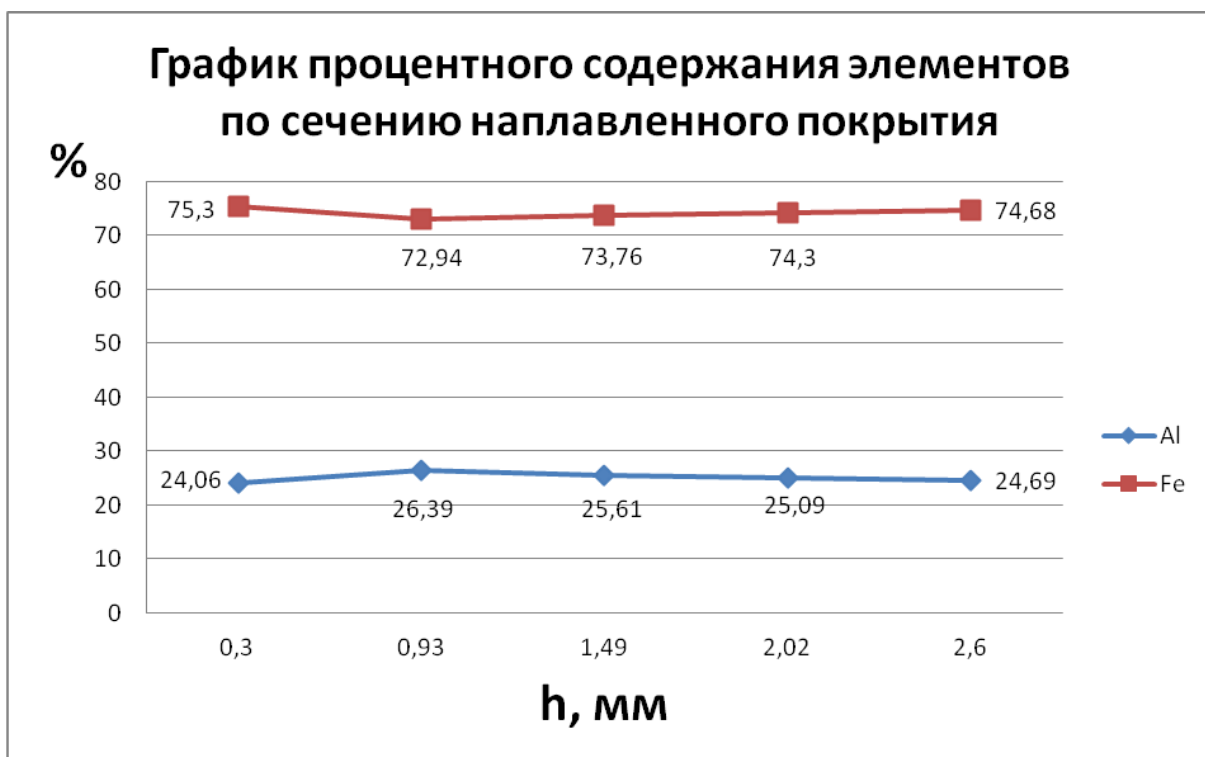


Рисунок 36 – Химический состав образца №2

Судя по графикам можно сказать, что неоднородность химического

состава по сечению наплавленных валиков не превышает 3%. также по графикам видно, что наименьшее содержание алюминия и наибольшее содержание железа содержится наиболее близко к месту сплавления покрытия и основного металла. По мере удаления от зоны сплавления химический состав приобретает большую однородность химического состава. Химический состав наплавленных образцов на основе Fe-Al представлен в таб. 9-10.

4. Анализ результатов физического контроля и предложенного способа расчёта химического состава.

4.1. Способ сварки комбинацией дуг

На основе проведенных исследований был предложен новый способ сварки, повышающий производительность труда.

Известен способ плазменной дуговой сварки, по которому к неплавящемуся электроду подключают отрицательный полюс сварочного источника питания, а к изделию его положительный полюс, используют плавящийся электрод, подключаемый к положительному полюсу источника питания, отрицательный полюс которого подключают к неплавящемуся электроду и зажигают дугу прямого действия прямой полярности между неплавящимся электродом и изделием и дугу косвенного действия между неплавящимся и плавящимся электродами [14].

Способ осуществляется с помощью комбинации дуг прямого и косвенного действия.

Способ позволяет с высокой степенью независимости регулировать отдельно производительность расплавления основного и дополнительного металла. Недостатком способа является ограничение производительности расплавления дополнительного металла из-за того, что один электрод является неплавящимся, а плавящийся является анодом дуги, в этом случае скорость расплавления электрода минимальная.

Известен также способ дуговой сварки трехфазной дугой с двумя плавящимися электродами в среде углекислого газа, по которому два электрода одинакового диаметра подаются в зону сварки [15].

Трехфазная дуга также является комбинацией дуг косвенного и прямого действия. Этот способ принят за прототип.

Недостатком способа является низкая стабильность процесса сварки, обусловленная постоянным чередованием дуг трехфазного факела. В каждый момент могут гореть одновременно не более двух дуг. Полярность дуг меняется с частотой переменного тока. Это приводит к неустойчивости возникновения активных пятен дуги на изделии и электродах, неустойчивости плазменных потоков и давления дуги, к снижению концентрации теплового потока в дуге и неустойчивости геометрических характеристик сварочного шва. Кроме того дуги переменного тока обладают низкой устойчивостью по отношению к повторным зажиганиям при смене полярности.

В предлагаемом способе сварки комбинацией дуг к двум плавящимся электродам и изделию постоянно подключают полюсы от источников питания.

В отличие от прототипа, полюса одного источника питания постоянного тока подключают к электродам, отрицательный полюс второго источника постоянного тока подключают к изделию, а положительный полюс второго источника тока подключают к электроду, к которому подключен положительный полюс первого источника тока и скорости подачи электродов назначают, соответствующими значениям коэффициентов расплавления электродов в дугах прямой и обратной полярностей, причем скорость подачи электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника тока выбирают соответствующей коэффициенту расплавления плавящегося катода в дуге прямой полярности, а скорость подачи электрода, подключенного к положительным полюсам источников тока выбирают соответствующей коэффициенту расплавления плавящегося электрода-анода в дуге обратной полярности.

Диаметры плавящихся электродов могут отличаться друг от друга. Электрод большего диаметра может подключаться как к положительному полюсу источников питания, так и к отрицательному.

Химические составы плавящихся электродов также могут отличаться друг от друга.

На рис. 37 представлена схема подключения источников питания к электродам одинакового диаметра, на рис. 38 а - схема подключения источников питания к электродам разного диаметра, когда отрицательный полюс второго источника питания подключен к электроду, большего диаметра,

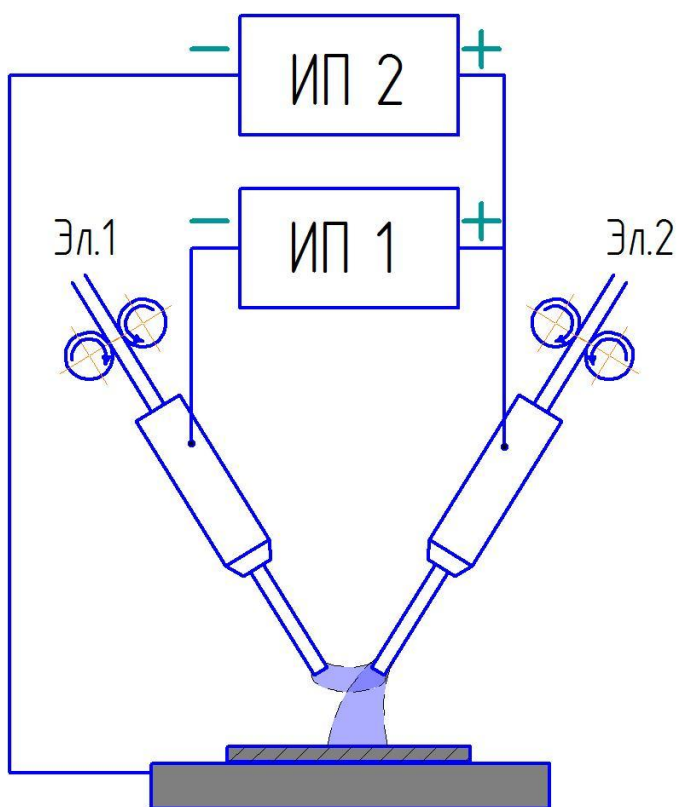


Рисунок 37 - Схема подключения источников питания к электродам одинакового диаметра

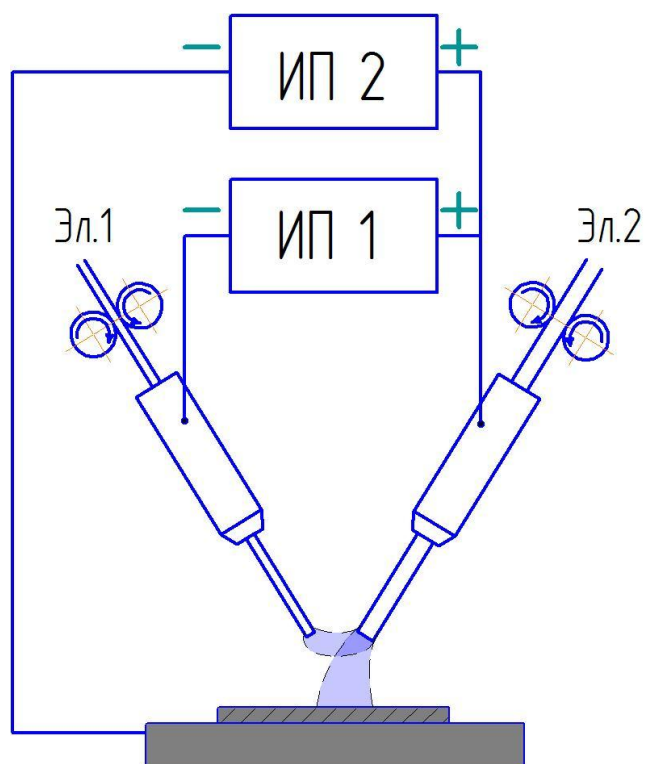


Рисунок 38 а - когда отрицательный полюс второго источника питания
подключен к электроду, большего диаметра

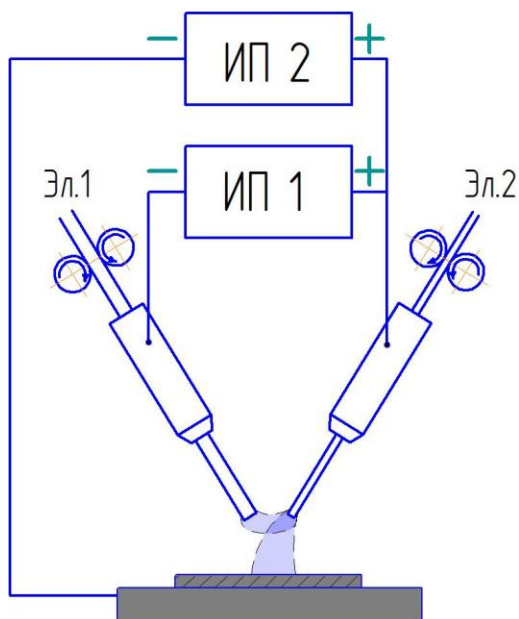


Рисунок 38 б - когда отрицательный полюс источника подключен к
электроду меньшего диаметра

на рис. 38 б - схема подключения источников питания к электродам
разного диаметра, когда отрицательный полюс источника подключен к

электроду меньшего диаметра, на рис. 39 – зависимости коэффициентов расплавления для плавящегося электрода в дуге под флюсом обратной полярности,

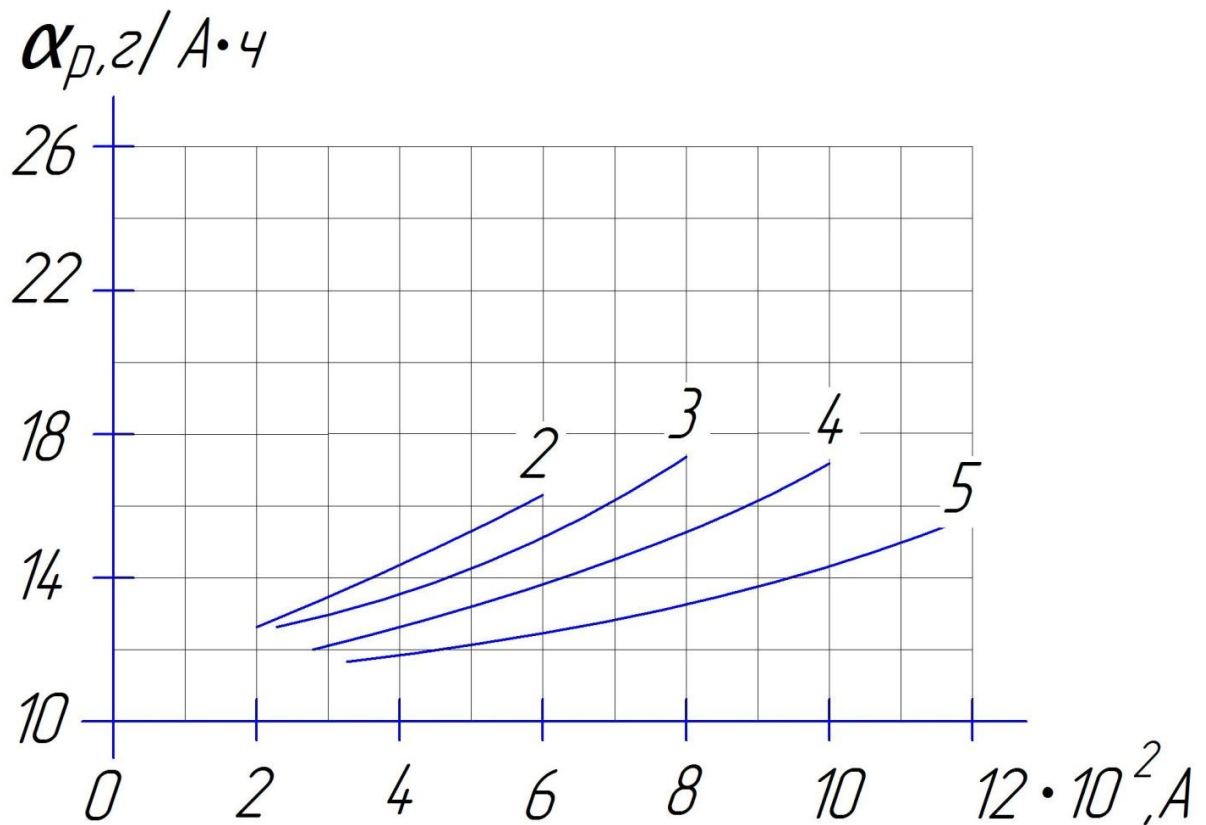


Рис. 39 - Зависимости коэффициентов расплавления для плавящегося электрода в дуге под флюсом обратной полярности

на рис. 40 – зависимости коэффициентов расплавления для плавящегося электрода в дуге под флюсом прямой полярности.

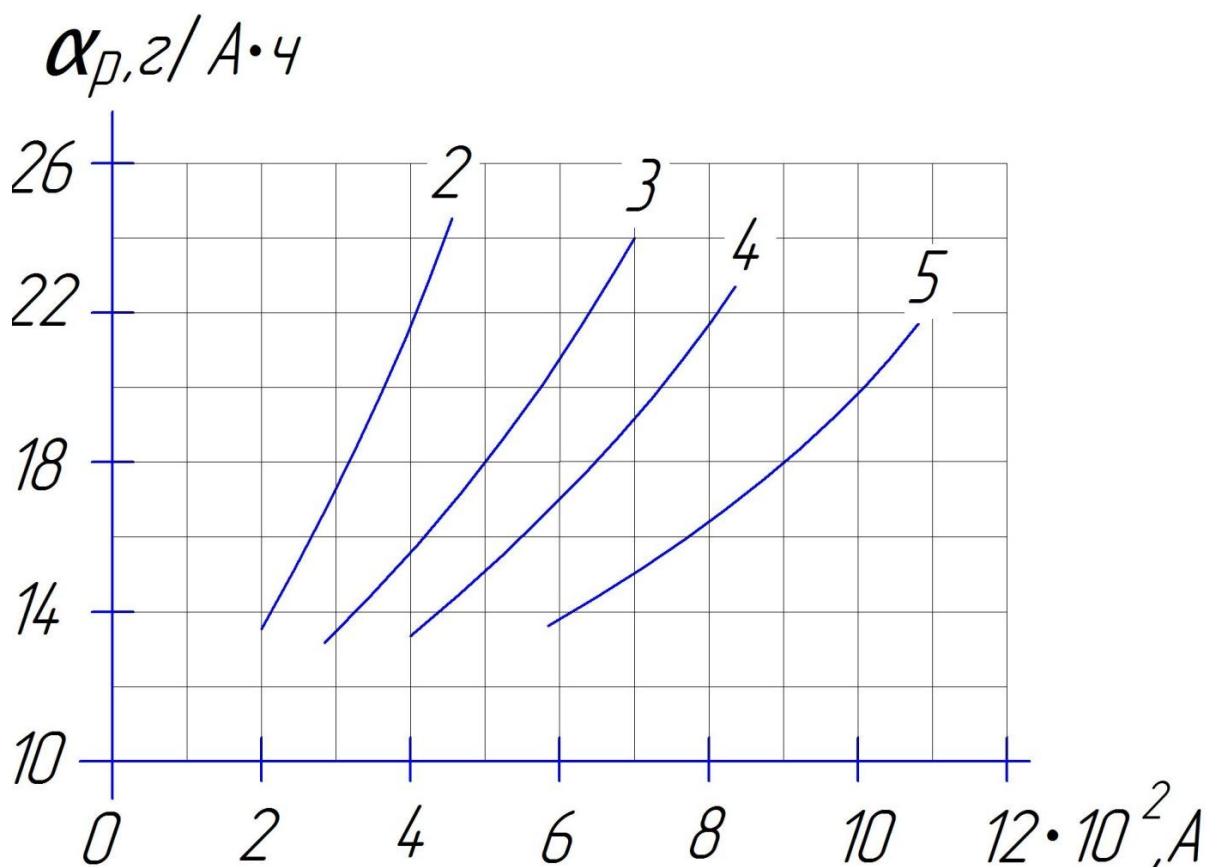


Рисунок 40 Зависимости коэффициентов расплавления для плавящегося электрода в дуге под флюсом прямой полярности

На рис.37-38 показаны два сварочных источника питания постоянного тока ИП1и ИП2, и два механизма подачи сварочных электродов Эл.1 и Эл.2. рис. 37 показаны электроды одинакового диаметра, на рис. 38а электрод меньшего диаметра Эл2 подключен к положительному полюсу источника питания, а электрод большего диаметра Эл1 подключен к отрицательному полюсу источника питания. На рис. 38б электрод меньшего диаметра Эл1 подключен к отрицательному полюсу источника питания, а электрод Эл2 большего диаметра подключен к положительному полюсу источника питания.

На рис. 39 приведены зависимости коэффициента расплавления электродов различного диаметра от тока для обратной полярности дуги. Цифры на графиках обозначают диаметр электродной проволоки в мм.

На рис. 40 приведены зависимости коэффициента расплавления электродов различного диаметра от тока для прямой полярности дуги. Цифры на графиках также обозначают, диаметр электродной проволоки в мм.

Расположение на изделии отрицательного полюса источника питания обеспечивает высокую проплавляющую способность дуги, а также очистку изделия от окисных пленок, например, при сварке в аргоне алюминиевых сплавов. Расположение на плавящихся электродах положительного и отрицательного полюсов второго источника питания позволит обеспечить гибкое регулирование их скоростей подачи и высокую производительность расплавления электродных проволок.

Возможность гибкого регулирования токов дуг в электродах и изделии позволит в широких пределах изменять долю электродного металла в металле шва. Использование проволок различного диаметра и химического состава в сочетании с регулированием токов дуг позволит значительно расширить технологические возможности регулирования химического состава шва.

Известно, что коэффициент расплавления электродной проволоки в дуге прямой и обратной полярностей существенно отличаются друг от друга. При одинаковом диаметре коэффициент расплавления существенно выше, когда электрод является катодом (рис. 39-40). С уменьшением диаметра электрода и увеличением тока дуги коэффициент расплавления увеличивается. Поэтому при подключении источника к электродам по предлагаемому способу для сохранения длины дуги их необходимо подавать с различной скоростью, соответствующей значениям коэффициентов расплавления.

Кривые для прямой полярности располагаются выше, чем аналогичные для обратной полярности. Следовательно,

производительность расплавления электрода – катода дуги выше, чем электрода-анода. (Рис. 41).

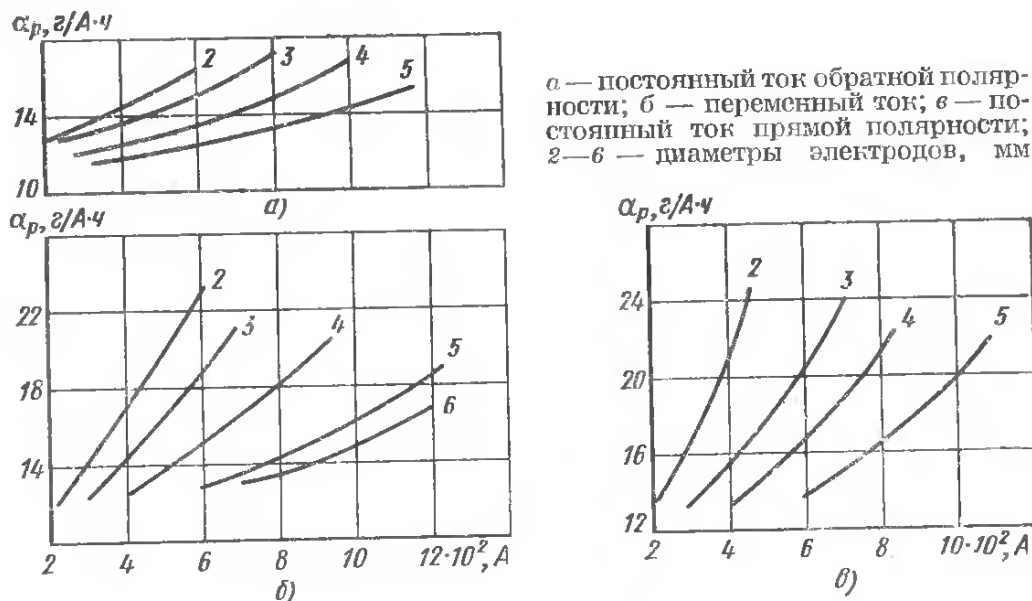


Рисунок 41 - Зависимость α_p от режима сварки[16]

Для расчетов коэффициентов расплавления можно воспользоваться известными зависимостями коэффициентов расплавления электродных проволок при дуговой автоматической сварке под флюсом при нулевом вылете электрода.

Для дуги постоянного тока обратной полярности согласно литературным данным коэффициент расплавления не зависит от тока

$$\alpha_{p0} = \text{const} = 11,6 \pm 0,4; \quad (1)$$

при сварке дугой постоянного тока прямой полярности

$$\alpha_{p0} = 6,3 + (70,2 \cdot 10^{-3} I_d / d_s^{1,035}); \quad (2)$$

при сварке дугой переменного тока

$$\alpha_{p0} = 7,0 + (70,2 \cdot 10^{-3} I_d / d_s^{1,35}). \quad (3)$$

Размерность α_{p0} — г/(А·час), тока дуги в амперах, диаметр электрода в мм.

Анализ приведенных в литературе зависимостей для полного, с учетом нагрева вылета, коэффициентов расплавления от тока дуги дал

следующую зависимость приращения коэффициента расплавления от нагрева вылета

$$\Delta\alpha_v = I_d / (74 + 36 d_v). \quad (4)$$

Значения $\Delta\alpha_v$ не зависят от полярности дуги.

Скорость расплавления электрода $V_э$ связана с коэффициентом расплавления α_p выражением

$$V_э = \alpha_p J / \rho \quad (5)$$

где ρ – плотность материала электрода, г/см³, J – плотность тока на электроде, А/см². Если размерность коэффициента расплавления в этом случае г/(А·с), то скорости расплавления см/с.

Общую производительность наплавки валика, можно определить по уравнению

$$\rho \cdot F_n \cdot V_c / (1 - \Psi_n) = J_k \cdot \alpha_{pk} \cdot F_k + J_a \cdot \alpha_{pa} \cdot F_a, \quad (6)$$

где F_n – площадь поперечного сечения наплавляемого валика, V_c – скорость сварки, Ψ_n – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание, J_k – плотность тока на электроде-катоде, J_a – плотность тока на электроде-аноде, F_k – площадь сечения электрода-катода, F_a – площадь сечения электрода-анода.

Поскольку $J_k \cdot F_k = I_k$ – ток на электроде-катоде, $J_a \cdot F_a = I_a$ – ток на электроде-аноде, то произведение тока на коэффициент расплавления дают производительности расплавления электродов

$$\Pi_k = \alpha_{pk} \cdot I_k, \quad \Pi_a = \alpha_{pa} \cdot I_a. \quad (7)$$

Ток в положительном электроде I_a равен сумме токов в отрицательном электроде и изделии

$$I_a = I_k + I_n. \quad (8)$$

Долю участия ϕ_k электродного металла электрода-катода в наплавленном металле валика можно представить в виде

$$\phi_k = \Pi_k / (\Pi_k + \Pi_a) \quad (9)$$

Тогда, доля участия φ_a электродного металла электрода-анода в наплавленном металле валика

$$\varphi_a = \Pi_a / (\Pi_k + \Pi_a) \quad (10)$$

Содержание какого-либо химического элемента в смеси двух электродных проволок (без учета химических реакций) будет определяться выражением

$$C_э = C_{эк} \cdot \varphi_k + C_{эа} \cdot \varphi_a \quad (11)$$

где $C_{эк}$ – содержание данного элемента в электроде-катоде, $C_{эа}$ – содержание этого же элемента в электроде-аноде.

Поскольку значения φ_k φ_a зависят от тока и диаметра электрода, то и содержание элемента в наплавленном металле будет зависеть от этих параметров (рис. 39-40).

Пример 1.

Проводили автоматическую наплавку под слоем флюса на пластину из стали 20 толщиной 15 мм по предлагаемому способу. Скорость наплавки $V_c = 18$ м/час = 0,5 см/с. Использовались электродные проволоки диаметром 2 мм. Ток дуги «изделие – электрод-анод», измеренный в цепи изделия составлял $I_{и} = 150$ А. Ток дуги «электрод-катод – электрод анод», измеренный в цепи электрода-катода составил $I_k = 250$ А. Ток в электроде – аноде, измеренный в цепи анода $I_a = 400$ А. Предварительно для электрода – катода в дуге прямой полярности на данном токе $I_k = 250$ А была определена скорость его плавления, которая составила 4,7 см/с. Аналогично была определена скорость расплавления электрода-анода при токе $I_a = 400$ А, которая составила 6,5 см/с. Для первого отрицательного электрода использовали электродную проволоку Св- 06НЗ по ГОСТ 2246. Содержание никеля в проволоке 3 %. Для второго положительного электрода использовали электродную проволоку Св -06Х14 по ГОСТ 2246. Содержание хром в проволоке 14%. Производительность расплавления электрода-катода составила $\Pi_k = 1,15$ г/с, электрода – анода

$\Pi_a=1,59$ г/с. Расчетная доля участия металла катода в наплавленном металле, определенная по соотношению скоростей подачи проволок $\varphi_k=0,42$, анода $\varphi_a=0,58$. Расчетное содержание никеля в наплавленном металле определяли $Ni=0,42 \cdot 3 = 1,26$ %. Расчетное содержание хрома в наплавленном металле $Cr = 0,58 \cdot 14 = 8,1$ %.

При зажигании комбинации дуг электроды подавались с предварительно установленными скоростями с помощью двух механизмов подачи проволоки. Скорости подачи проволок задавались постоянными, что обеспечивало их саморегулирование при колебаниях длин дуг. По макрошлифу определили площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_n=0,67$ см², площадь проплавления основного металла $F_o=0,13$ см². Доля участия основного металла в металле шва $\Psi_o=0,163$. Расчетное содержание никеля в шве $C_{ш}(Ni)$ определяли по формуле (11)

$$C_{ш}(Ni) = (1 - \Psi_o)C_э(Ni),$$

где $C_э(Ni)$ – содержание никеля в электродной проволоке.

Оно составило, при отсутствии никеля в основном металле

$$C_{ш}(Ni) = (1 - 0,163)1,26 = 1,05 \text{ \%}.$$

Аналогично определили расчетное содержание хрома в шве

$$C_{ш}(Cr) = (1 - 0,163) 8,1 = 6,8 \text{ \%}.$$

За счет обеспечения высокой доли участия электродного металла в металле шва способ позволил получить высокое содержание никеля и хрома в наплавленном металле с помощью проволок, содержащих каждая только один из этих элементов. За счет использования сочетания различных проволок и регулировки режимов можно получать практически любой заданный состав шва.

Пример 2.

Проводили наплавку при параметрах, указанных в примере 1. Изменили подключение полюсов источника по отношению к проволокам

различного химического состава. К проволоке с содержанием никеля 3 % подключили анод, а к проволоке с содержанием хрома 14 % - катод.

Расчетное содержание никеля в наплавленном металле определяли $Ni = 0,58 \cdot 3 = 1,7 \%$. Расчетное содержание хрома в наплавленном металле $Cr = 0,42 \cdot 14 = 5,9 \%$.

Расчетное содержание никеля в шве определяли по формуле (11). Оно составило, при отсутствии никеля в основном металле,

$$C_{ш}(Ni) = (1 - 0,163) 1,7 = 1,42 \%$$

Расчетное содержание хрома в шве

$$C_{ш}(Cr) = (1 - 0,163) 5,9 = 4,9 \%$$

За счет изменения подключения полярностей к проволокам разного химического состава удастся существенно изменить содержание легирующих элементов в шве.

Пример 3.

Проводили автоматическую наплавку под слоем флюса на пластину из стали 20 толщиной 15 мм по предлагаемому способу. Скорость наплавки $V_c = 18 \text{ м/час} = 0,5 \text{ см/с}$. Использовались электродные проволоки разного диаметра 2 мм и 3 мм. Катодом служила проволока диаметром 3 мм, анодом – диаметром 2 мм. Ток дуги «изделие – электрод-анод», измеренный в цепи изделия составлял $I_{и} = 150 \text{ А}$. Ток дуги «электрод-катод – электрод анод», измеренный в цепи электрода-катода составил $I_k = 250 \text{ А}$. Ток в электроде –аноде, измеренный в цепи анода $I_a = 400 \text{ А}$. Предварительно для электрода –катода в дуге прямой полярности на данном токе $I_k = 250 \text{ А}$ была определена скорость его плавления, которая составила 1,68 см/с. Аналогично была определена скорость расплавления электрода-анода при токе $I_a = 400 \text{ А}$, которая составила 6,5 см/с. В проволоке-катоде содержание никеля 3 %, в проволоке-аноде содержание хрома 14 %. Производительность расплавления электрода-катода, определенная по скорости его подачи, составила $\Pi_k = 0,92 \text{ г/с}$, электрода –

анода $\Pi_a=1,59$ г/с. Расчетная доля участия металла катода в наплавленном металле $\varphi_k=0,37$, анода $\varphi_a=0,63$. Расчетное содержание никеля в наплавленном металле определяли $Ni=0,37 \cdot 3 = 1,1$ %. Расчетное содержание хрома в наплавленном металле $Cr=0,63 \cdot 14=8,8$ %.

При зажигании дуг комбинации электроды подавались с предварительно установленными скоростями с помощью двух механизмов подачи проволоки. Скорости подачи проволок задавались постоянными, что обеспечивало их саморегулирование при колебаниях длин дуг. По макрошлифу определили площадь поперечного сечения наплавленного металла $F_n=0,69$ см², площадь проплавления основного металла $F_o=0,13$ см². Доля участия основного металла в металле шва $\Psi_o=0,18$. Расчетное содержание никеля в шве определяли по формуле (11). Оно составило при отсутствии никеля в основном металле

$$C_{ш}(Ni) = (1-0,18)1,1 = 0,9 \text{ \%}.$$

Расчетное содержание хрома в шве

$$C_{ш}(Cr) = (1-0,18)8,8=7,2 \text{ \%}.$$

Способ может быть осуществлен с помощью стандартных сварочных источников питания дуги постоянного тока и двух подающих механизмов электродной проволоки с независимым и плавным регулированием скорости подачи.

На основе расчётных формул и полученных измерений в процессе наплавки образцов были произведены расчёты теоретического химического состава и проверена сходимость результатов с физическим контролем химического состава (таб. 9-10)

Таблица 9 - Рассчитанные и реальные химические составы
наплавленных образцов

9	8	7	6	5	4	3	2	1	$\sum_{i=1}^n$
0,9	0,9	1,5	1,2	1,5	1,2	1,5	1,2	0,9	$V_{CB}, \text{ м/мин}$
4	4	4	4	4	4	4	4	4	$V_{\text{подAl}}, \text{ м/мин}$
3,5	3	4	3,5	3	4	3,5	3	4	$V_{\text{подNi}}, \text{ м/мин}$
15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	$U_{\text{дAl}}, \text{ В}$
37	37	37	37	37	37	37	37	37	$I_{\text{дAl}}, \text{ А}$
25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	$U_{\text{дNi}}, \text{ В}$
150	125	157	150	125	157	150	125	157	$I_{\text{дNi}}, \text{ А}$
11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	$\alpha_{\text{Al}} = \text{const}, \text{ г/(А} \cdot \text{час)}$
15,02	13,57	15,43	15,02	13,57	15,43	15,02	13,57	15,43	$\alpha_{\text{Ni}}, \text{ г/(А} \cdot \text{час)}$
429,20	429,20	429,20	429,20	429,20	429,20	429,20	429,20	429,20	$\Pi_{\text{Al}}, \text{ г/с}$
2252,88	1695,75	2421,89	2252,88	1695,75	2421,89	2252,88	1695,75	2421,89	$\Pi_{\text{Ni}}, \text{ г/с}$
0,16	0,20	0,15	0,16	0,20	0,15	0,16	0,20	0,15	φ_{Al}
0,84	0,80	0,85	0,84	0,80	0,85	0,84	0,80	0,85	φ_{Ni}
14,88	18,78	14,00	14,88	18,78	14,00	14,88	18,78	14,00	$C_{\text{al}}, \%$
13,90	22,91	8,29	12,75	18,71	12,15	10,87	19,70	8,70	$C_{\text{фAl}}, \%$
83,58	79,40	84,52	83,58	79,40	84,52	83,58	79,40	84,52	$C_{\text{Ni}}, \%$
76,32	71,79	73,72	71,50	74,03	73,96	82,36	73,39	77,15	$C_{\text{фNi}}, \%$
1,07	0,82	1,69	1,17	1,00	1,15	1,37	0,95	1,61	$C/C^{\text{ф}}(\text{Al})$
1,10	1,11	1,15	1,17	1,07	1,14	1,01	1,08	1,10	$C/C_{\text{ф}}(\text{Ni})$
Среднеквадратичное отклонение									0,70
									0,02

Таблица 10 - Рассчитанные и реальные химические составы
наплавленных образцов

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$V_{\text{полAl}},$ м/мин	5	5	3	3	3	3	5	5	5	5	3
$V_{\text{полFe}},$ м/мин	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4
$V_{\text{H}_2}, \text{м/мин}$	1,50	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	0,90	1,50	0,90	0,90	1,50
$U_{\text{лAl}}, \text{В}$	17	14	14	14	17	14	14	14	17	14	14
$I_{\text{лAl}}, \text{А}$	78	123	93	93	47	93	123	123	78	123	93
$U_{\text{дFe}}, \text{В}$	27,5	23,5	23,5	23,5	23,5	27,5	23,5	23,5	23,5	27,5	23,5
$I_{\text{дFe}}, \text{А}$	272	230	267	230	230	225	267	230	230	225	267
$\alpha_{\text{Al}} = \text{const},$ $\Gamma / (\text{А} \cdot \text{час})$	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
$\alpha_{\text{Fe}},$ $\Gamma / (\text{А} \cdot \text{час})$	22,11	19,67	21,82	19,67	19,67	19,38	21,82	19,67	19,67	19,38	21,82
$\Pi_{\text{Al}}, \Gamma/\text{с}$	904,80	1426,80	1078,80	1078,80	545,20	1078,80	1426,80	1426,80	904,80	1426,80	1078,80
$\Pi_{\text{Fe}}, \Gamma/\text{с}$	6014,13	4523,97	5825,98	4523,97	4523,97	4360,22	5825,98	4523,97	4523,97	4360,22	5825,98
φ_{Al}	0,13	0,24	0,16	0,19	0,11	0,20	0,20	0,24	0,17	0,25	0,16
φ_{Fe}	0,87	0,76	0,84	0,81	0,89	0,80	0,80	0,76	0,83	0,75	0,84
$C_{\text{Al}}, \%$	12,16	22,30	14,53	17,91	10,00	18,45	18,30	22,30	15,50	22,93	14,53
$C_{\phi\text{Al}}, \%$	16,98	24,71	12,55	15,69	13,63	12,92	20,87	20,75	19,04	15,08	11,41
$C_{\phi\text{Fe}}, \%$	82,45	74,65	86,74	83,64	85,62	86,35	78,41	78,60	80,25	84,19	87,86
$C_{\text{Fe}}, \%$	85,18	74,50	82,69	79,13	87,46	78,56	78,72	74,50	81,67	73,84	82,69
$C/C^{\phi}(\text{Al})$	1,03	1,00	0,95	0,95	1,02	0,91	1,00	0,95	1,02	0,88	0,94
$C/C^{\phi}(\text{Fe})$	0,72	0,90	1,16	1,14	0,73	1,43	0,88	1,07	0,81	1,52	1,27

24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4
0,90	1,50	1,50	0,90	1,50	1,50	0,90	1,50	0,90	1,50	1,50	0,90	0,90
14	17	14	17	17	14	17	17	17	14	17	14	17
123	78	123	78	47	93	47	47	47	93	47	93	47
27,5	23,5	27,5	27,5	23,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	23,5	27,5	23,5
272	230	225	225	267	272	272	225	225	225	230	272	267
11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
22,11	19,67	19,38	19,38	21,82	22,11	22,11	19,38	19,38	19,38	19,67	22,11	21,82
1426,80	904,80	1426,80	904,80	545,20	1078,80	545,20	545,20	545,20	1078,80	545,20	1078,80	545,20
6014,13	4523,97	4360,22	4360,22	5825,98	6014,13	6014,13	4360,22	4360,22	4360,22	4523,97	6014,13	5825,98
0,19	0,17	0,25	0,17	0,09	0,15	0,08	0,11	0,11	0,20	0,11	0,15	0,09
0,81	0,83	0,75	0,83	0,91	0,85	0,92	0,89	0,89	0,80	0,89	0,85	0,91
17,83	15,50	22,93	15,98	7,96	14,14	7,73	10,34	10,34	18,45	10,00	14,14	7,96
23,15	18,87	9,38	12,62	25,01	24,56	7,99	12,62	12,79	15,11	20,02	12,98	11,59
76,16	80,54	89,91	86,66	74,37	74,71	91,28	86,67	86,52	84,23	79,30	86,24	87,70
79,21	81,67	73,84	81,16	89,61	83,09	89,85	87,11	87,11	78,56	87,46	83,09	89,61
1,04	1,01	0,82	0,94	1,20	1,11	0,98	1,01	1,01	0,93	1,10	0,96	1,02
0,77	0,82	2,44	1,27	0,32	0,58	0,97	0,82	0,81	1,22	0,50	1,09	0,69

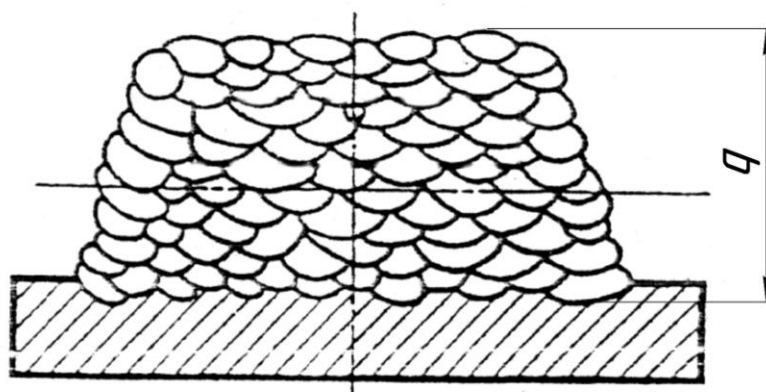
25	5	4	0,90	17	78	23,5	267	11,60	21,82	904,80	5825,98	0,13	0,87	12,50	24,06	75,26	84,83	1,13	0,52
26	5	4	1,50	14	123	23,5	267	11,60	21,82	1426,80	5825,98	0,20	0,80	18,30	20,69	78,72	78,72	1,00	0,88
27	5	4	1,50	17	78	23,5	267	11,60	21,82	904,80	5825,98	0,13	0,87	12,50	16,69	82,61	84,83	1,03	0,75
28	5	4	1,50	14	123	27,5	272	11,60	22,11	1426,80	6014,13	0,19	0,81	17,83	17,04	82,29	79,21	0,96	1,05
29	5	4	0,90	17	78	27,5	272	11,60	22,11	904,80	6014,13	0,13	0,87	12,16	17,18	82,08	85,18	1,04	0,71
30	5	3	1,50	17	78	27,5	225	11,60	19,38	904,80	4360,22	0,17	0,83	15,98	24,43	74,98	81,16	1,08	0,65
31	3	4	1,50	17	47	27,5	272	11,60	22,11	545,20	6014,13	0,08	0,92	7,73	8,08	91,19	89,85	0,99	0,96
32	3	3	0,90	14	93	23,5	230	11,60	19,67	1078,80	4523,97	0,19	0,81	17,91	20,40	78,91	79,13	1,00	0,88
Среднеквадратичное отклонение																		0,17	4,60

Метод расчёта химического состава, представленный для способа наплавки комбинации дуг показал хорошую сходимость с результатами анализа химического состава методом растровой электронной микроскопии. Среднеквадратичное отклонение по всем образцам не превысила 4,6%.

4.2 Практическое применение способа наплавки комбинацией дуг при аттестации сварочных материалов

В настоящее время при аттестации сварочных материалов требуется:

- 1) Химический состав наплавленного металла определяют на восьмислойных наплавках в соответствии с ГОСТ 6996-66. Химический состав металла шва определяется на шлифах при стыковой сварке контрольных образцов (пластин или труб) из стали марки и класса, соответствующей типу аттестуемого сварочного материала.
- 2) Химический состав определяют спектральным анализом с помощью приборов (например, типа «Спектролаб») с точностью до 0,0001 %.
- 3) Химический состав наплавленного металла для Пс, Пп, а также в сочетаниях Пс+Гз, Пс+Ф, Пп+Гз проверяют для каждой партии СМ количественным химическим или спектральным анализом металла, наплавленного в нижнем пространственном положении на пластину размером 120×80×20 мм при ручной и механизированной сварке и пластине размером 450×150×20 мм при автоматической сварке (рис. 42) [2]



$q \geq 8$ слоёв

Рисунок 42 - Восьмислойная наплавка

4.2.1 Методика исследования процессов и свойств восьмислойной наплавки

Исследования процессов наплавки комбинацией дуг восьмислойной наплавки осуществлялись при помощи специально сконструированной лабораторной установки, состоящей из: рамы с направляющими рельсами; подвижного портала с механизмами для закрепления и регулирования двух горелок (рис. 43); двух источников питания. Данная установка позволяет осуществлять наплавку комбинацией дуг в автоматическом режиме. Зажигание дуг происходит с пульта, а включение портала, направление движения и скорость передвижения портала осуществляется с блока управления.

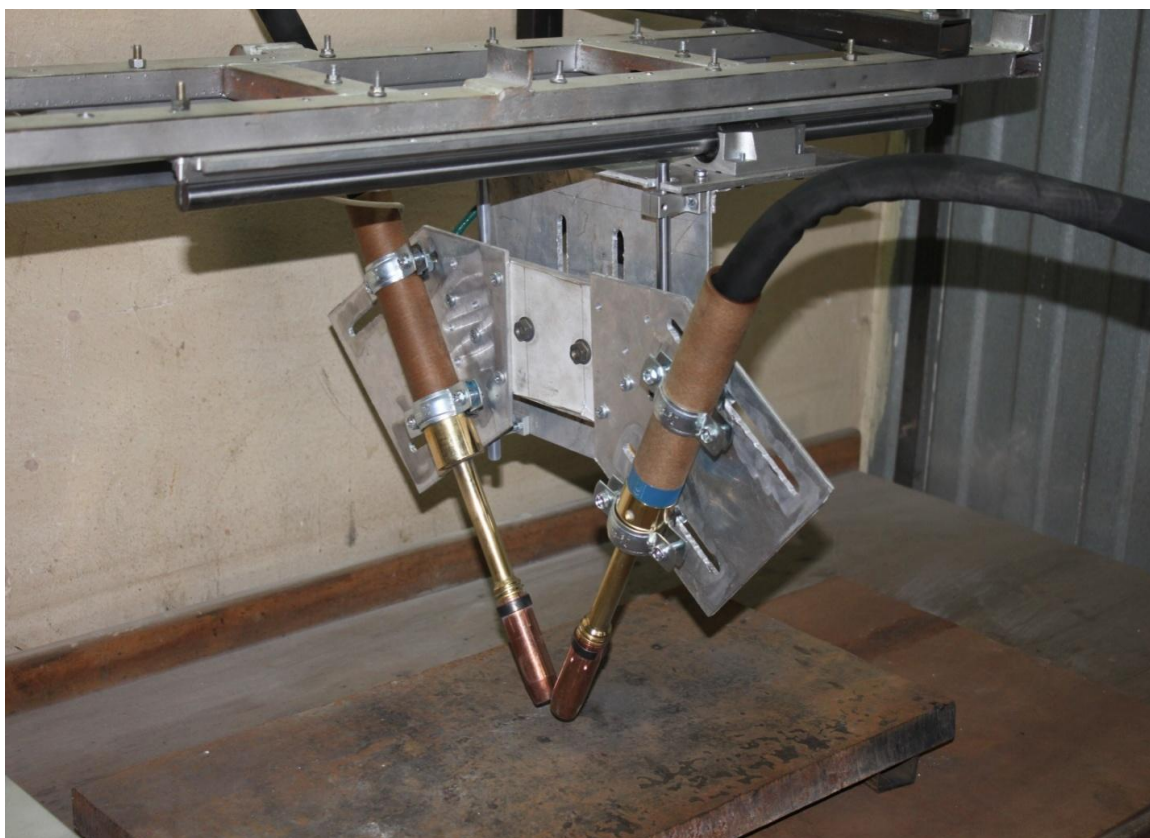


Рисунок 43 – Установка для автоматической наплавки комбинацией дуг

Рама установки размером 800×350 мм крепится перпендикулярно стене специальными кронштейнами. На раме закреплена направляющая серии HG длиной 700 мм.

Передвижение портала осуществляется шаговым двигателем при зацеплении зубчатой рейки, установленной на оси и зубчатой шестерни, установленной на валу двигателя. Управление шаговыми двигателями осуществляется специализированными приводами, собранными в едином блоке управления, состоящем из программируемого контроллера SMC-3; программируемого блока управления SMSD-3.0 и блока питания.

Механизм позиционирования предназначен для обеспечения качества процесса наплавки путем изменения геометрии ввода электродных проволок в место наплавки, и позволяет регулировать вылет электрода; угол ввода присадочных проволок; расстояние между дугами.

Для наплавки использовались две сварочные горелки ТВІ. Регулировка положения сварочных горелок осуществлялась при помощи специализированного исполнительного механизма линейного перемещения с низким люфтом передвижения. Рабочий ход механизма составляет 100 мм. К данному механизму крепится пластина с пазами для перемещения хомутов. Хомуты предназначены для закрепления горелок, с их помощью осуществляется регулировка положения горелок.

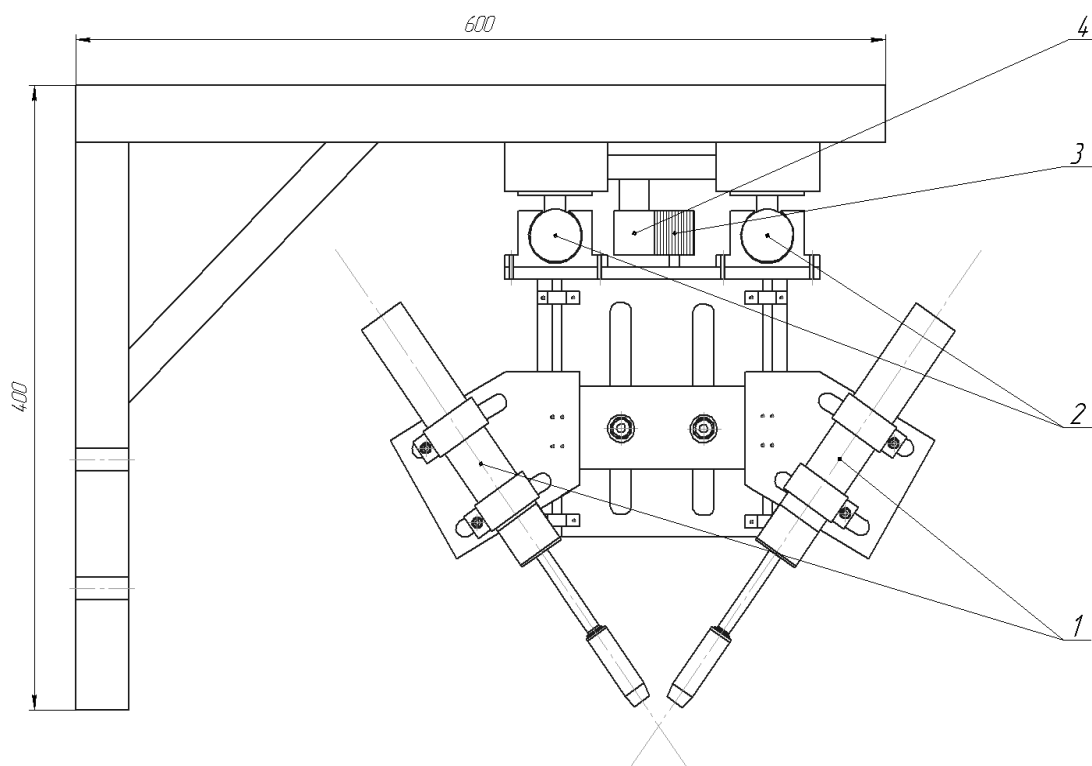


Рисунок 44 – Схема установки для автоматической наплавки комбинацией дуг

1 – вертикальные горелки; 2 – направляющие; 3 – зубчатая шестерня; 4 – зубчатая рейка.

Для наплавки использовали образцы из стали марки Ст3 размером 450×150×20 мм т.к. лабораторная установка относится к автоматической сварке. В качестве электродных компонентов использовались сварочную проволоку ER70S-6 (аналог Св08Г2С) диаметром 1,2 мм (однако отличие от отечественного аналога состоит в том, что проволока ER70S-6 имеет медное покрытие необходимое для получения максимального токопроводящего контакта).

Геометрические параметры образцов измерялись при помощи штангенциркуля ШЦ-1 со значением отсчета по нониусу 0,1 мм. Величина проплавления измерялась на макрошлифах (рис. 45-46). Также измерения проводились при помощи программы Universal Desktop Ruler с заданием

масштаба на фотографии макрошлифа и дальнейшем измерении геометрических параметров наплавленных валиков

Таблица 11 - Химический состав в % материала СтЗсп, ГОСТ 380 - 2005

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.14-0.22	0.15 - 0.3	0.4 - 0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблица 12 - Типичный химический состав проволоки ER70S-6 (%)

C	Mn	Si	S	P	Cu
0.06-0.15	1.40-1.85	1.50-1.85	≤0.035	≤0.025	≤0.50

Все режимы наплавки комбинацией дуг устанавливались при помощи блоков настройки сварочных источников и блока управления перемещения портала.

В качестве контрольного был наплавлен образец по базовой технологии, путём отключения одной из горелок.

Скорость наплавки составляла 1,5 м/мин. Скорость подачи проволок при наплавке составляла: скорость подачи проволоки была от 3 до 4 м/мин, напряжение на дуге от 23,5 до 27,5 В.

Анализ химического состава проводился спектральным анализом с помощью спектрометра оптико-эмиссионный PMI-MASTER послойно.

Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения наплавов (рис. 45-46).

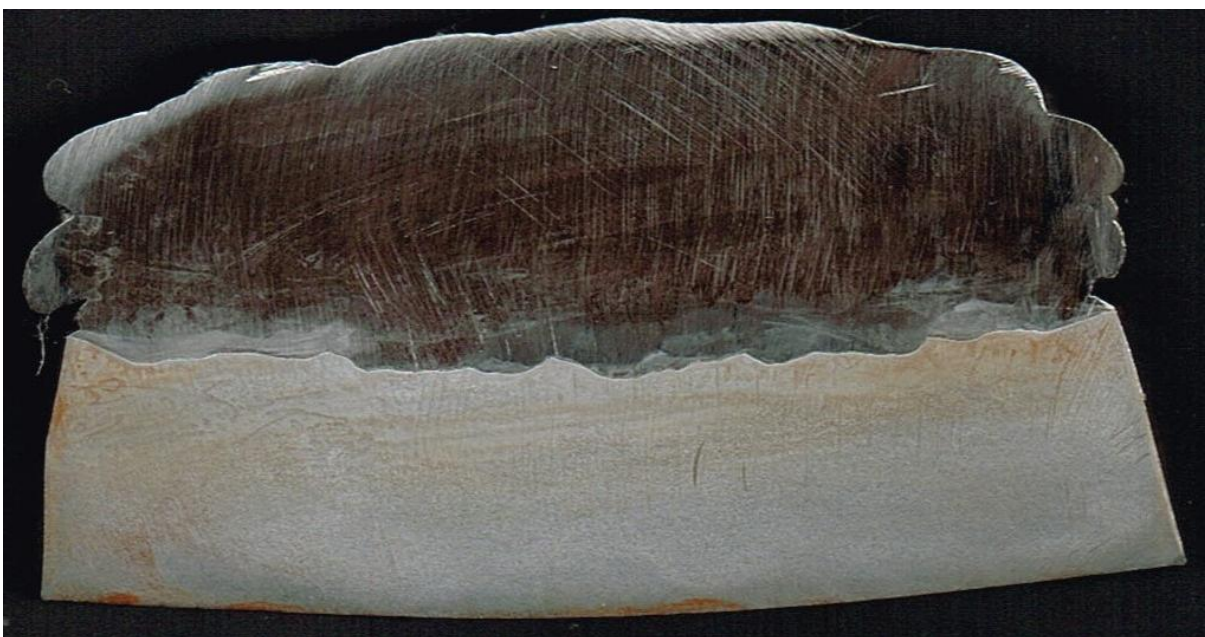


Рисунок 45 – Образец для исследования химического состава наплавки
одной дугой



Рисунок 46 – Образец для исследования химического состава наплавки
комбинацией дуг

4.2.2 Результаты исследований

4.2.2.1 Результаты исследований базовой технологии

Для исследования процессов формирования покрытия были подобраны следующие режимы наплавки:

Таблица 13 – Основные режимы наплавки

№	V _{св} , м/мин	V _{под. Fe} , м/мин	U _{д Fe} , В	I _{д Fe} , А	V(Ar+20%CO ₂), л/мин
б	1,5	3	23,5	230	15

Сварку вели на постоянном токе обратной полярности.

Перемещение электрода возможно с перпендикулярным расположением электрода относительно оси шва, «углом назад», «углом вперёд» или «на себя» и с небольшим наклоном «углом вперёд» или «углом назад» в пределах 5-20°.

- Наплавку осуществлять с минимальным расстоянием от поверхности, на максимальных скоростях без поперечных колебаний.

- Ширина валиков не должна превышать двух диаметров присадочной проволоки.

- Наплавка производится не менее чем в восемь слоёв.

- Следующий слой наплавлять только после остывания предыдущего до температуры ниже 100°С.

- Площадь наплавленной поверхности должна быть не менее 450×80мм².

**Таблица 14 - Рассчитанные и реальные химические составы
наплавленного образца по базовой технологии**

Номер слоя	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_{\text{подFe}}, \text{ м/мин}$	3	3	3	3	3	3	3	3
$V_{\text{н}}, \text{ м/мин}$	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
$U_{\text{дFe}}, \text{ В}$	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
$I_{\text{дFe}}, \text{ А}$	272	272	272	272	272	272	272	272
$\alpha_p = \text{const}$	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
ПFe	3155,20	3155,20	3155,20	3155,20	3155,20	3155,20	3155,20	3155,20
ψ_{Fe}	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
C(C)	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cф(C), %	0,13	0,11	0,09	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08
C(Si)	1,18	1,47	1,56	1,59	1,60	1,60	1,60	1,60
Cф(Si)	1,21	1,49	1,56	1,58	1,59	1,62	1,60	1,61
C(Mn)	1,29	1,54	1,62	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65
Cф(Mn)	1,31	1,55	1,63	1,65	1,66	1,64	1,65	1,64
C/Cф(C)	0,85	0,81	0,92	1,15	1,00	0,89	1,14	1,00
C/Cф(Si)	0,98	0,99	1,00	1,01	1,00	0,99	1,00	0,99
C/Cф(Mn)	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,01	1,00	1,01
Среднеквадратичное отклонение								0,12
								0,00
								0,00

Метод расчёта химического состава, представленный для способа наплавки комбинацией дуг показал хорошую сходимость с результатами анализа химического состава методом оптико-эмиссионной микроскопии. Среднеквадратичное отклонение по всем образцам не превысила 0,12%. По расчетам и фактически видно, что стабильный состав наплавленного металла начинается с 3-5 слоя.

4.2.2.2 Результаты исследований исследуемой технологии

Для исследования процессов формирования покрытия были подобраны следующие режимы наплавки:

Таблица 15 – Основные режимы наплавки

№	$V_{\text{под1}}$, м/мин	$V_{\text{под2}}$, м/мин	$V_{\text{н}}$, м/мин	$U_{\text{д1}}$, В	$I_{\text{д1}}$, А	$U_{\text{д2}}$, В	$I_{\text{д2}}$, А
а	3	4	1,5	23,5	100	27,5	230

Сварку проволокой 1 вели на постоянном токе обратной полярности, проволокой 2 на постоянном токе прямой полярности.

Перемещение электрода возможно с перпендикулярным расположением электрода относительно оси шва, «углом назад», «углом вперёд» или «на себя» и с небольшим наклоном «углом вперёд» или «углом назад» в пределах 5-20°.

- Наплавку осуществлять с минимальным расстоянием от поверхности, на максимальных скоростях без поперечных колебаний.

- Ширина валиков не должна превышать двух диаметров присадочной проволоки.

- Наплавка производится не менее чем в восемь слоёв.

- Следующий слой наплавлять только после остывания предыдущего до температуры ниже 100°C.

- Площадь наплавленной поверхности должна быть не менее $450 \times 80 \text{ мм}^2$.

Таблица 16 - Рассчитанные и реальные химические составы
наплавленного образца по исследуемому способу наплавки

Номер слоя	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_{\text{под1}}, \text{ м/мин}$	3	3	3	3	3	3	3	3
$V_{\text{под2}}, \text{ м/мин}$	4	4	4	4	4	4	4	4
$V_{\text{н}}, \text{ м/мин}$	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
$U_{\text{д1}}, \text{ В}$	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
$I_{\text{д1}}, \text{ А}$	100	100	100	100	100	100	100	100
$U_{\text{д2}}, \text{ В}$	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
$I_{\text{д2}}, \text{ А}$	230	230	230	230	230	230	230	230
$\alpha_1 = \text{const}$	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
α_2	19,67	19,67	19,67	19,67	19,67	19,67	19,67	19,67
Π_1	1160,00	1160,00	1160,00	1160,00	1160,00	1160,00	1160,00	1160,00
Π_2	4523,97	4523,97	4523,97	4523,97	4523,97	4523,97	4523,97	4523,97
ψ_1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
ψ_2	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
$C(C)$	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
$C\phi(C), \%$	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08
$C(Si)$	1,18	1,47	1,56	1,59	1,60	1,60	1,60	1,60
$C\phi(Si)$	1,20	1,48	1,55	1,60	1,59	1,60	1,60	1,61
$C(Mn)$	1,29	1,54	1,62	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65
$C\phi(Mn)$	1,30	1,53	1,62	1,64	1,65	1,65	1,64	1,64
$C/C\phi(C)$	0,92	0,89	0,92	1,01	1,00	0,89	1,14	1,00
$C/C\phi(Si)$	0,98	1,00	1,01	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99
$C/C\phi(Mn)$	0,99	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01
Среднеквадратичное отклонение								0,05
								0,00
								0,00

Метод расчёта химического состава, представленный для способа наплавки комбинацией дуг показал хорошую сходимость с результатами анализа химического состава методом оптико-эмиссионной микроскопии. Среднеквадратичное отклонение по всем образцам не превысила 0,05%. По расчетам и фактически видно, что стабильный состав наплавленного металла начинается с 3-5 слоя, при этом потребление электричества снижается.

Таким образом, из исследования следует, что для аттестации сварочных материалов способ наплавки комбинацией дугой подходит, при этом снижается время наплавки, за счёт увеличения расплавляемого электродного металла, снижается сила сварочного тока подаваемого на электроды, повышается возможность регулирования проплавления основного металла.

Заключение

1) При работе над магистерской диссертацией была разработана методика и оснастка для наплавки комбинацией дуг покрытий. В частности, опробована технология наплавки покрытий на основе никель-алюминий и железо алюминий.

2) Исследование процессов наплавки комбинацией дуг на основе никель-алюминий, железо-алюминий и их химического состава показало хорошую сходимость результатов практических опытов и разработанной системы теоретического определения химического состава наплавленного металла.

3) В ходе работ была оформлена заявка и получен патент на изобретение «Способ сварки комбинацией дуг»

4) В ходе работ была оформлена заявка, получено решение о выдаче патента на изобретение «Способ механизированной наплавки дугой косвенного действия»

5) Аналитический метод расчёта химического состава наплавленного металла, применённый в работе показал высокую точность при сравнении с данными физического контроля, что может использоваться для практического использования данного метода расчёта для получения покрытий с заданным химическим составом наплавленного металла.

Список используемой литературы и источников

1. Про сварку [Электронный ресурс]
URL://www.prosvarky.ru/specialmethods/generalinformation/1.html
свободный (Дата обращения 24.11.2016)
2. РД 03-613-03, Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов [Текст] / РД 03-613-03. М.: ПИО ОБТ. 2006.- 30 с.
3. ГОСТ 7122-81, Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава. [Текст] / ГОСТ 7122-81. М.: ИПК Издательство стандартов. 2005.- 6 с
4. ГОСТ 9466-75, Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия [Текст] / ГОСТ 9467-75. М.: Стандартиформ. 2007.- 23 с
5. . Оптический и рентгеноспектральный анализ [Текст] / Петров В.И. — М.: Металлургия, 1973. — 285 с.
6. Рентгеноспектральный анализ: отдельный учет физических процессов [Текст] / Верховодов П.А. — Н. Думка, 1992. — 232 с.
7. Аналитическая химия: наука, приложения, люди [Текст] / Золотов Ю.А. — М.: Наука, 2009. — 324 с.
8. Ковтунов, А.И. Физико-химическая кинетика взаимодействия алюминия со сталью при формировании металла шва с заданными свойствами: дисс. док. тех. наук [Текст] / А.И. Ковтунов. – Тольятти, 2011. – 357 с.
9. Плазменное напыление кокилей. [Текст] /И.Е. Шульман, Я.М. Вишневецкий, А.К. Лимарев, А.Н. Гончаров. – Литейное производство, 1976, №2, с. 35 – 36.

10. Бунтушкин В.П. Сплавы на основе алюминидов никеля [Текст] // В.П. Бунтушкин, Е.Н. Каблов, О.А. Базылева, Г.И. Морозова// Металловедение и термическая обработка металлов, 1991, №1. – с. 5 – 6.
11. Патент Способ сварки комбинацией дуг № 2598715 от 07.09.2016 г. (авторы Сидоров В.П., Зюбин Д.В., Борисов Н.А., RU)
12. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т.1 [Текст] /Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.
13. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст] / Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
14. И.Е. Тавер, М.Х. Шоршорова «Сварка стали двойной плазменной струей», [Текст] Сварочное производство, 1971 г, № 10, С. 26-28
15. Г.М. Сюкасева, И.П. Никонова «Влияние режима сварки трехфазной дугой в CO_2 на геометрию шва». – Совершенствование технологии сварочного производства. [Текст] Свердловск, Изд-во УПИ, 1975, 132 с. С.54-58
16. Акулов А.И. «Технология и оборудование сварки плавлением», М.: Машиностроение, 1977, стр. 189
17. ГОСТ 380-2005, Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки [Текст] / ГОСТ 380-2005М.: Стандартинформ. 2009.- 8 с
18. Решение на выдачу патента на Способ механизированной наплавки дугой косвенного действия № 2015111741/02 от 31/03/2015 г. (авторы Сидоров В.П., Зюбин Д.В., Борисов Н.А., RU)
19. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер [и др.] - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 280 с.

20. Структура двойных сплавов. [Текст] /Хансен М., Андерко К. – М. : Металлургия, 1960. – 1488 с.
21. Патент WO 2013011361 A1 24.01.2013 автор GOLDING, Mark, S., (US) [Электронный ресурс] URL://patentscope.wipo.int/search/fr/detail.jsf?docId=WO2013011361, свободный (Дата обращения 12.06.2016)
22. Патент US 4521664 26.10.1982, автор Robert F. Miller [Электронный ресурс] URL://www.google.by/patents/US4521664 свободный (Дата обращения 12.06.2016)
23. Цепенев Р.А. Основы научных исследований и техника эксперимента: Учеб. пособие. [Текст] – Тольятти: ТГУ, 2006. – С.50с.
24. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] / Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П.: Учебник. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.
25. Сварка и свариваемые материалы: Справочник: В 2 т. [Текст] - Металлургия, 1991 – Т.1 / под ред. Э.Л. Макарова
26. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. [Текст] / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1979 – Т.3 / Под ред. В.А. Винокурова, 1979, 567 с.: ил.
27. Сидоров, В.П. Теория и технология сварочных процессов : сборник задач. 2-е изд., исправл. [Текст] / В.П. Сидоров.- Тольятти: ТГУ, 2009.-228 с
28. Магистерская диссертация: учеб.пособие /Н.А.Зюбан, С.И. Жульев, С.А. Пегишева, О.П. Бондарева, Д.В. Руцкий; ВолгГТУ.-Волгоград, 2008.-71с.
29. Зяблов А. С. Выбор метода анализа химического состава наплавленного металла [Текст] // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. VI междунар. студ.

науч.-практ. конф. № 6. URL:sibac.info/archive/technic/6.pdf
свободный (дата обращения: 11.10.2016)

30. Казаков Ю.В. Системный подход к научно-исследовательской работе: Учебное пособие. - Тольятти: ТГУ, 2010.-53с.

Приложения

Приложение А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2598715

СПОСОБ СВАРКИ КОМБИНАЦИЕЙ ДУГ

Патентообладатель(ли): *Автономная некоммерческая организация
"Головной Аттестационный Центр по сварочному
производству Средне-Волжского Региона" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015112818

Приоритет изобретения **07 апреля 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации **07 сентября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **07 апреля 2035 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев



Автор(ы): *Сидоров Владимир Петрович (RU), Зюбин Дмитрий Владимирович (RU), Борисов Николай Александрович (RU)*

RU 2598715 C1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2015112818/02, 07.04.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.04.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.04.2015

(45) Опубликовано: 27.09.2016 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: UA42790C2,15.11.2001.
RU2362659C2,27.07.2009. SU522927A1,30.07.1976.
EP1900467B1,13.06.2012. JP0062286675A,
12.12.1987.

Адрес для переписки:

445012, Самарская обл., г. Тольятти, ул.
Матросова, 9-7, Д.В. Зюбину

(72) Автор(ы):

Сидоров Владимир Петрович (RU),
Зюбин Дмитрий Владимирович (RU),
Борисов Николай Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Автономная некоммерческая организация
"Головной Аттестационный Центр по
сварочному производству Средне-Волжского
Региона" (RU)

(54) СПОСОБ СВАРКИ КОМБИНАЦИЕЙ ДУГ

(57) Формула изобретения

1. Способ дуговой сварки, включающий сварку двумя плавящимися электродами, подключенными каждый к источнику питания, комбинацией дуг прямого и косвенного действия, причем дугу косвенного действия зажигают между упомянутыми плавящимися электродами, отличающийся тем, что используют источники питания постоянного тока, причем отрицательный полюс одного из источников питания постоянного тока подключают к одному из электродов, а отрицательный полюс другого из источников питания постоянного тока - к изделию, положительный полюс первого и второго источника тока подключают ко второму электроду, при этом скорость подачи электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника тока, выбирают соответствующим коэффициенту расплавления плавящегося электрода в дуге прямой полярности, а скорость подачи электрода, подключенного к положительным полюсам источников тока, выбирают соответствующей коэффициенту расплавления плавящегося электрода - анода в дуге обратной полярности.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что диаметр электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника тока, выбирают больше диаметра положительного электрода.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что диаметр электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника тока, выбирают меньше диаметра положительного электрода.

4. Способ по одному из пп. 1-3, отличающийся тем, что используют электроды

разного химического состава.

RU 2598715 C1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № 50 от 07.10.2016

Наш № 2015111741/02(018308)

При переписке просим ссылаться на номер заявки и
сообщить дату получения настоящей корреспонденции
от 30.11.2016

Фонд "ГАЦ СВР", В.А. Печёнкиной
а/я 1353
г. Тольятти
Самарская обл.
445035

РЕШЕНИЕ

о выдаче патента на изобретение

(21) Заявка № 2015111741/02(018308)

(22) Дата подачи заявки 31.03.2015

В результате экспертизы заявки на изобретение по существу установлено, что
заявленное изобретение
относится к объектам патентных прав, соответствует условиям патентоспособности,
сущность заявленного изобретения (изобретений) в документах заявки раскрыта с
полнотой, достаточной для осуществления изобретения (изобретений)*, в связи с чем
принято решение о выдаче патента на изобретение.

Заключение по результатам экспертизы прилагается.

Приложение: на 4 л. в 1 экз.

Заместитель руководителя

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП
Сертификат 2E9B6857000200000F94
Владелец Кирий
Любовь Леонидовна
Срок действия с 07.06.2016 по 01.04.2030

Л. Л. Кирий



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРТИЗЫ

(21) Заявка № 2015111741/02(018308)

(22) Дата подачи заявки 31.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента 31.03.2015

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ

(22) подачи заявки 31.03.2015

(72) Автор(ы) Сидоров В.П., Зюбин Д.В., Борисов Н.А., RU

(73) Патентообладатель(и) Фонд "Головной Аттестационный Центр по сварочному производству Средне-Волжского Региона" (Фонд "ГАЦ СВР"), RU

(54) Название изобретения Способ механизированной наплавки дугой косвенного действия

(см. на обороте)

01	2	ДОМ 13.10.2016	022502
		ИЗФ 13.10.2016	

ВНИМАНИЕ! С целью исключения ошибок просьба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. они без изменения будут внесены в Государственный реестр изобретений Российской Федерации, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.

Адрес для переписки с патентообладателем или его представителем, который будет опубликован в официальном бюллетене

445012, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Матросова, 9-7, Д.В. Зюбину

Адрес для направления патента

указан в графе "Адрес для переписки с патентообладателем..."

В результате экспертизы заявки по существу, проведенной в соответствии со статьей 1386 и пунктом 1 статьи 1387 Гражданского кодекса Российской Федерации, введенного в действие Федеральным законом от 12 марта 2014 г. № 35-ФЗ (далее - Кодекс), в отношении уточненной заявителем формулы изобретения установлено соответствие заявленного изобретения требованиям статьи 1349 Кодекса, условиям патентоспособности, установленным статьей 1350 Кодекса, и соответствие документов заявки требованию достаточности раскрытия сущности изобретения, установленному пунктом 2 статьи 1375 Кодекса.

Формула изобретения приведена на странице(ах) 3.

(21) 2015111741/02

(51) МПК

B23K 9/04 (2006.01)

(57)

1. Способ наплавки дугой косвенного действия двумя плавящимися электродами, включающий подключение к одному из электродов отрицательного полюса источника питания, а к другому - положительного полюса, при этом скорости подачи электродов выбирают в соответствии со скоростями их расплавления, отличающийся тем, что используют электроды различающегося химического состава и диаметра, причем электрод большего диаметра подключают к отрицательному полюсу источника питания, а скорость расплавления электрода определяют по формуле

$$V_{\text{э}} = (\alpha_p J) / \rho,$$

где α_p - коэффициент расплавления электрода в дуге соответственно прямой или обратной полярности при токе дуги косвенного действия, г/(А·с),

J - плотность тока дуги в сечении электрода, А/см²,

ρ - плотность материала электрода, г/см³.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что ток дуги, химический состав и диаметры электродов выбирают из условия получения одинаковой производительности расплавления электродов.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что ток дуги, химический состав и диаметры электродов выбирают из условия получения одинаковой скорости расплавления электродов.

(56) МАЛЬШЕВ Б.Д. и др. Ручная дуговая сварка, М., Стройиздат, 1990, с.37, рис.3.2б;

US 4521664 A, 04.06.1985;

WO 2013011361 A1, 24.01.2013;

SU 1310146 A1, 15.05.1987;

SU 1660884 A1, 07.07.1991;

EP 1900467 A1, 19.03.2008.

При публикации сведений о выдаче патента будет использовано описание и графические материалы в первоначальной редакции заявителя и реферат, скорректированный экспертизой.

Приложения: 1. Разъяснения о порядке уплаты патентных пошлин за государственную регистрацию изобретения, выдачу патента и поддержание патента в силе на 1 л. в 1 экз.

2. Реферат, скорректированный экспертизой, на 1 л. в 1 экз.

Ведущий государственный
эксперт по интеллектуальной
собственности отдела
металлургической
промышленности и
машиностроения ФИПС

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП
Сертификат 7282D497000200000C85
Владелец Саленко
Наталья Алексеевна
Срок действия с 12.10.2015 по 01.04.2030

Н. А. Саленко
8(499)240-58-94

К заявке № 2015111741/02

(54) Способ механизированной наплавки дугой косвенного действия

Реферат

(57) Изобретение может быть использовано при наплавке двумя плавящимися электродами дугой косвенного действия на металлические изделия из сплавов с особыми свойствами. Используют электроды различающегося химического состава и диаметра. Электрод большего диаметра подключают к отрицательному полюсу источника питания, а меньшего диаметра – к положительному полюсу. Скорости подачи электродов выбирают в соответствии со скоростями их расплавления, которые предварительно определяют по формуле $V_{\text{э}} = (\alpha_p J) / \rho$, где α_p - коэффициент расплавления электрода в дуге соответственно прямой или обратной полярности при токе дуги косвенного действия, г/(А·с), J - плотность тока дуги в сечении электрода, А/см², ρ - плотность материала электрода, г/см³. Ток дуги, химический состав и диаметры электродов выбирают из условия получения одинаковой производительности и одинаковой скорости расплавления электродов. Способ позволяет в широких пределах регулировать производительность наплавки, объемное соотношение электродного металла в наплавке и химический состав. 2 з.п. ф-лы, 3 ил., 4 табл., 4 пр.

Референт Саленко Н.А.

