

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Исследование проб от расплавления покрытых электродов дугой дугой косвенного действия»

Студент

В.Е. Красюков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Сидоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

М.М. Бажутина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« » 2018 г.

Тольятти, 2018

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа посвящена исследованию методов расплавления покрытого электрода дугой косвенного действия для получения химического состава наплавленного металла. В ходе анализа было установлено, что метод многослойной наплавки трудоемок, энергоемок и требует большого расхода электродов. Наиболее эффективными могут быть методы наплавки дугой косвенного действия. Все методы, рассмотренные в данной работе, имеют свои особенности. Актуальность этой работы обосновывается тем, что один из исследуемых методов можно будет использовать для проверки химического состава наплавленного электродом металла.

Целью бакалаврской работы заключается в исследовании возможности получения проб для анализа химического состава наплавленного металла, дугой косвенного действия. Данный метод может сократить затраты на сварочные материалы в процессе получения проб, а также снизить трудоемкость и энергоемкость работы.

В ходе бакалаврской работы автор выявил метод, который уменьшит затраты сварочных материалов и энергии в процессе получения проб, а также сократит время на их получение.

Результатом проведенного исследования является ранее не используемый метод получения проб от расплавления покрытых электродов дугой косвенного действия. Данный метод позволяет определять химический состав наплавленного металла, исключая перемешивание основного и наплавленного металлов, а также получать результаты химического анализа быстрее, сократив время наплавки. Содержит 97 стр., 27 рис., 21 табл., источников литературы 38, Приложения на 6 стр.

The title of the bachelor's thesis is «The investigation of samples from obtained while melting coated electrodes by an arc of indirect action».

The bachelor's thesis to the investigation of methods of melting the coated electrode by an arc of indirect action to obtain the chemical composition of the fused metal. During the analysis it was established that the multilayer surfacing method is labor-intensive, energy-consuming and requires a large consumption of electrodes. The most effective methods can be surfacing by an arc of indirect action. All the methods considered in this paper have their own peculiarities. The relevance of this work is justified by the fact that one of the methods under investigation can be used to test the chemical composition of the metal deposited by the electrode.

The aim of the bachelor's thesis is to increase the efficiency of sampling of samples from the melting of coated electrodes by an arc of indirect action to confirm the chemical composition of the electrode declared by the manufacturer. The tasks involved obtaining samples entering the electrode melting and conducting an analysis to obtain the chemical composition of the samples. The analysis of the results also obtained and the selection of the optimal method for obtaining samples.

In the course of the bachelor's thesis, the author has discover a method that will reduce the costs of welding materials and save energy in the process of obtaining samples, as well as shorten the time for obtaining them.

The result of the study is a previously unused method for obtaining samples from the melting of coated electrodes by an arc of indirect action. This method enables to determine the chemical composition of the fused metal excluding the mixing of the base and the fused metal. It also enables to get quicker results of chemical analysis faster, reducing the time for surfacing. Is contains 97 p., 27 figures, 21 tables, 38 sources and 6 appendices.

Содержание

Введение.....	6
1 Плавление основного и электродного металла при дуговой сварке покрытыми электродами (РДСПЭ)	9
1.1 Химический состав наплавленного металла и влияние на него покрытого электрода.....	9
1.2 Требования нормативных документов по контролю наплавленного металла	16
2 Возможности управления составом сварного шва при дуговой сварке	25
2.1 Образование химического состава сварного шва.....	25
2.2 Сварочная дуга	36
3 Методика и результаты экспериментов и исследований	41
3.1 Методика анализа химического состава проб	41
3.2 Технические характеристики оборудования для спектрального анализа	42
3.3 Описание условий проведения исследований	48
4 Технология наплавки дугой косвенного действия на медную пластину	61
4.1 Описание технологического процесса.....	61
4.2 Оборудование	63
5 Безопасность и экологичность технологии наплавки	67
5.1 Планировка участка	67
5.2 Технологический процесс	67
5.3 Анализ опасных и вредных факторов.....	67
5.4 Мероприятия по снижению влияния	69
Заключение по разделу безопасности и экологичности	70
6 Оценка экономической эффективности.....	71
6.1 Исходные данные для проведения экономического расчета	71

6.2 Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические операции.....	73
6.3 Общие капитальные вложения в оборудование	76
6.4 Затраты на материалы.....	78
6.5 Затраты на технологическую электроэнергию	80
6.6 Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования.....	81
6.7 Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных.....	83
приспособлений и рабочего инструмента	83
6.8 Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей	84
6.9 Затраты на заработную плату основных производственных	85
рабочих с отчислениями на социальные нужды.....	85
6.10 Технологическая себестоимость изготовления изделия.....	86
6.11 Цеховая себестоимость изготовления изделия	87
6.12 Производственная себестоимость	87
изготовления изделия	87
6.13 Полная себестоимость изготовления изделия	88
6.14 Составление калькуляции себестоимости изделия	88
6.15 Годовой экономический эффект.....	90
от внедрения нового технологического процесса	90
6.16 Расчет ожидаемой прибыли от снижения себестоимости	90
изготовления продукции	90
6.17 Расчет снижения трудоемкости и повышения производительности труда в проектном варианте изготовления изделия	90
Вывод по экономическому разделу	91
Заключение	92
Список используемой литературы	94
Приложения	98

Введение

На данный момент в России наибольший объем сварочных работ приходится на ручную дуговую сварку покрытым электродом (РДСПЭ). Согласно анализу, который провел руководитель аттестационного центра сварочных технологий г. Тольятти Смирнов И.В., порядка 65% аттестаций по способам сварки приходится на ручную дуговую сварку покрытым электродом [1]. В наиболее развитых промышленных странах доля ручной сварки значительно ниже, но также достаточно высока.

К недостаткам РДСПЭ относят низкую производительность, низкую стабильность качества сварных соединений, предъявляются высокие требования к квалификации персонала, но она имеет и ряд преимуществ над другими способами дуговой сварки. К ним можно отнести [2]:

1. Возможность сварки во всех пространственных положениях.
2. Возможность сварки в труднодоступных местах.
3. Относительную дешевизну оборудования.
4. Низкие затраты при сварке коротких швов и малой серийности свариваемых узлов и конструкций.
5. В большинстве случаев обеспечивается высокое качество наплавленного металла.

Из-за востребованности ручной дуговой сварки покрытыми электродами в России, особое внимание следует уделять их проверке на соответствие его свойств требованиям ГОСТ 9466-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия» [3], а также ГОСТ 9467-75, ГОСТ 10051-75 и ГОСТ 10052-75 на электроды разного назначения [4 - 6].

Актуальность работы заключается в том, что в нашей стране основным способом сварки является ручная дуговая сварка покрытым электродом. На рынке сварочных материалов большое количество производителей и поставщиков сварочных материалов, в том числе импортных, но качество

продукции не всегда соответствует стандартам. Поэтому следует проводить контроль сварочных электродов до начала работ. Особенное внимание контролю нужно уделять на предприятиях, на которых проводятся работы на объектах с повышенным уровнем опасности, подведомственных контролю со стороны Ростехнадзора. Эту функцию в настоящее время выполняет Национальная ассоциация контроля сварки (НАКС) – саморегулирующая организация. Аттестационные центры, входящие в нее есть практически в каждом субъекте РФ. Всего НАКС занимается контролем за сварочными работами по четырем направлениям: аттестация сварочного персонала, технологий, оборудования и сварочных материалов. Кроме того, НАКС занимается адаптацией международных стандартов в РФ и разработкой новых отечественных стандартов через комитет Росстандарта ТК-364.

Большое значение имеет контроль химического состава, наплавляемого покрытыми электродами металла. Химический состав сварного шва, как правило, отличается и от состава основного металла и от наплавляемого металла. Но качество шва во многом определяется именно химическим составом наплавленного металла. На состав основного металла мы повлиять не можем, так как он относится к исходным данным. Сварочный шов получается, как смесь основного металла с наплавляемым.

Точный химический состав наплавляемого металла необходимо знать по следующим причинам:

1. Определить, соответствует ли действительный состав наплавляемого металла требованиям технических условий на электроды.
2. Для расчета химического состава сварочного шва, возникающего в результате перемешивания при проектировании технологии сварки.
3. При подготовке производителями сертификатов на электроды, в которые входят данные по химическому составу наплавленного металла.

Известные стандартные способы получения проб наплавленного металла [3] требуют его больших затрат, трудоемки и энергоемки. Они были разработаны очень давно, когда использовался преимущественно определение химического состава с помощью химического анализа, а оборудование для спектрального анализа было доступно лишь крупным предприятиям. В настоящее время оборудование для определения химического состава путем спектрального анализа стало намного дешевле и доступнее, его могут иметь и небольшие предприятия, и монтажные организации. Образцы для спектрального анализа могут быть небольшого размера. Главной задачей получения проб является обеспечение идентичных условий с условиями сварки, отсутствие перемешивания металла наплавки с другими материалами и аналогичность поведения защитной атмосферы дуги. Представляется, что это может быть обеспечено с помощью наплавки дугой не прямого, а косвенного действия.

Цель данной работы заключается в исследовании возможности получения проб для анализа химического состава наплавленного металла, дугой косвенного действия. Данный метод может сократить затраты на сварочные материалы в процессе получения проб, а также снизить трудоемкость и энергоемкость работы.

1 Плавление основного и электродного металла при дуговой сварке покрытыми электродами (РДСПЭ)

1.1 Химический состав наплавленного металла и влияние на него покрытого электрода

Под химическим составом металла сварного шва понимают химические элементы, которые образуют сварной шов в процессе плавления основного металла и электрода. Их исчисляют в процентном соотношении к массе шва. Как было указано выше - качество сварного шва во многом определяет его химический состав.

Образование сварного соединения при РДСПЭ происходит по следующей схеме. В процессе расплавления металлического стержня сварочного электрода, металл в виде отдельных капель, покрытых шлаком, попадает в сварочную ванну. В сварочной ванне основной и электродный металл смешивается, образуя сварной шов (рис.1.1), а расплавленный шлак всплывает на поверхность [2]. Шлак от расплавления покрытия электродов выполняет несколько функций – защищает сварочную ванну от воздействия атмосферного воздуха, очищает от вредных примесей, участвует в легировании сварочной ванны.

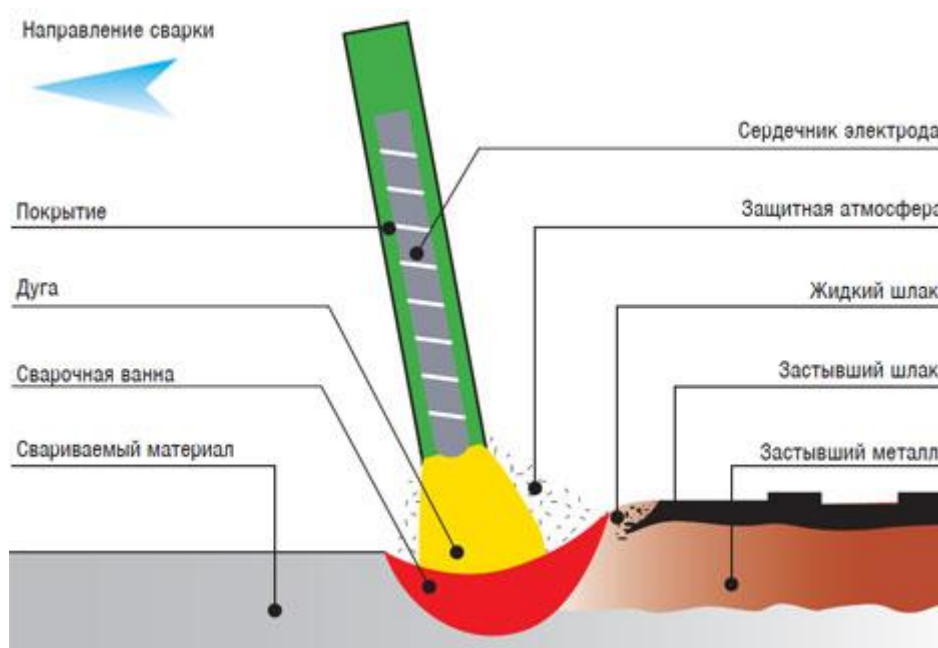


Рисунок 1.1 – Схема ручной дуговой сварки

При проведении любых сварочных работ главной целью является образование качественного сварного шва. Когда соединение получают с помощью ручной дуговой сварки, качество во многом зависит от правильного подбора покрытых электродов. На выбор электродов, также влияет свариваемость основного металла.

Свариваемость — это свойство металлов или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки неразъемное соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия [7].

Покрытый электрод (рис.1.2) для дуговой сварки представляет собой металлический стержень с покрытием, адгезионно связанное с металлом электрода.

Электродный стержень, максимальная длина которого может быть до 450 мм, изготавливают из сварочной проволоки, на поверхность которого нанесен слой покрытия. Один из концов электрода на длине до 20-30 мм освобожден от покрытия для зажатия его в электрододержателе для обеспечения электрического контакта. Торец другого конца очищен от

покрытия для упрощения возбуждения дуги путем касания электрода об изделия в начале процесса сварки [2]. В последнее время конец электрода, с которого зажигается дуга, покрывают медью, для улучшения зажигания дуги.

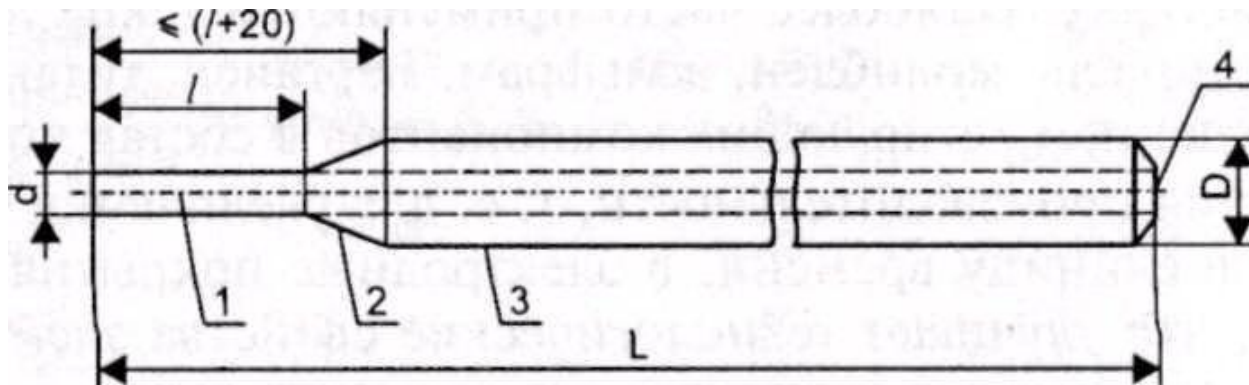


Рисунок 1.2 – Конструкция покрытого электрода

1- Оголенный участок, 2- переход от стержня к покрытию, 3 – покрытие, 4- зона зажигания дуги

В качестве металлического стержня используют сварочную проволоку. Согласно ГОСТ 2246 «Проволока стальная сварочная. Технические условия» предусматривается свыше 80 марок сварочных проволок с различным химическим составом. В зависимости от этого проволоку подразделяют на 3 группы: низкоуглеродистая (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2); легированная (Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ и т.п.) и высоколегированную (Св-12Х11НМФ, Св-10Х11НВМФ, Св-12Х13, Св-20Х13, Св-06Х14 и др.) [8].

По назначению проволока подразделяется на проволоку для сварки и наплавки и на проволоку, предназначенную для изготовления электродов, условно обозначение которой – Э. Для изготовления электродов используют проволоку диаметром от 1,6 мм до 8 мм.

Покрытие электрода, нанесенное на металлический стержень, служит для уменьшения взаимодействия расплавленного металла шва с атмосферой. Снижается окисление, азотирование и наводороживание сварочной ванны, а также ведется ее обработка расплавленным шлаком. Иногда для увеличения

производительности наплавляемого металла в покрытие добавляют металлический порошок [9, 40].

В состав покрытия входят следующие вещества:

- Стабилизирующие процесс зажигания и горения дуги в виде щелочных и щелочно-земельных металлов: калия, натрия, цезия, кальция.
- Газообразующие, создающие газовую защиту дуги и сварочной ванны в виде органических веществ: крахмала, древесной муки, декстрина и др.
- Шлакообразующие: полевой шпат, кремнезем, каолин, тальк, рутиловый концентрат, плавиковый шпат и др.
- Раскислители - вещества, способствующие восстановлению окиси железа, имеющие большее сродство с кислородом, чем железо. В качестве раскислителей используют ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.
- Легирующие элементы (марганец, хром, никель, молибден, ванадий и др.) для придания шву специальных свойств.
- Пластификаторы - слюда, целлюлоза, бентонит, каолин и др. для повышения пластичности обмазки.
- Рафинирующие компоненты (соединения марганца и окись кальция), выводящие из сварочной ванны серу и фосфор в шлак.
- Связующие вещества - натриевое, калиевое и натриево-калиевое жидкое стекло [10]

Также электродное покрытия по отечественной классификации разделяют на виды: кислые (А), основные (Б), целлюлозные (Ц), рутиловые (Р), смешанные и прочие (П) [3].

Электроды с кислым покрытием наиболее подходят для сварки металла, не защищенного от коррозии. Не имеют склонности к образованию пор при сварке длинной дугой и на форсированном режиме. Применяются в

производстве и ремонте ответственных конструкций из низкоуглеродистой стали. Наиболее эффективны при сварке в нижнем положении, но могут использоваться при сварке в вертикально и горизонтальном положении.

Электроды с основным покрытием необходимо подвергать обязательной прокалке перед сваркой. Применяются преимущественно к стали с повышенным содержанием примесей серы и фосфора. Обеспечивают, высокую чистоту наплавленного металла с повышенными пластическими свойствами и высокой прочностью. Применяются во всех пространственных положениях.

Целлюлозное покрытие обеспечивают качественный провар корневого шва из-за глубокого проплавления при сварке. При повышенном содержании серы и углерода, металл шва склонен к образованию горячих трещин. Так же в процессе сварки может происходить наводороживание металла шва.

Рутиловое покрытие зарекомендовали себя, как неприхотливые к неподготовленной поверхности. Формируют качественный шов в вертикальном и потолочном положении с легким отделением шлака. Отсутствие усталостных трещин при знакопеременных нагрузках из-за плавного перехода шва, к основному металлу. Разбрызгивание минимально. Применимы во всех пространственных положениях при средней и большой толщине покрытия. При особо толстом покрытии используется только в нижнем положении [2,9,10].

Химический анализ наплавленного электродами металла позволяет в производстве подтвердить марку электродов, планируемых для сварки. Также с помощью точного химического анализа можно проводить контроль электродов на соответствие требованиям стандартов, которые заявляют производители, например, при аттестации сварочных материалов по требованиям Национальной Ассоциации Контроля Сварки (НАКС) [11]. Химический состав наплавленного металла необходим для расчета химического состава шва при проектировании технологии сварки.

Сварочные электроды подразделяются на типы по ГОСТам: 9467-75; 10051-75 и 10052-75.

Согласно ГОСТ 9467-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы» - предусмотрено 9 типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей:

- Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ [4].

Следует обратить внимание, что в отличие от электродов для сварки конструкционных сталей, после буквы Э ставится дефис. Это дополнительно подчеркивает, что эти электроды предназначены для сварки специальной группы сталей. Аналогично обозначение типов электродов для сварки высоколегированных сталей и наплавки.

Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки легированных теплоустойчивых сталей, а также механические свойства наплавленного металла или металла шва должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 1.

Данные электроды применяются для сварки перлитных теплоустойчивых сталей, которые могут эксплуатироваться при температуре выше 500 °С [41]. Все приведенные электроды имеют основное покрытие. Процесс сварки проводится на постоянном токе при обратной полярности короткой дугой, так как при удлинении дуги повышается склонность к образованию пор в металле шва.

Таблица 1.1 – Химический состав наплавленного металла электродами, предназначенными для сварки легированных теплоустойчивых сталей

Тип	Марка	Химический состав наплавленного металла, %									
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Nb	S	P
Э-09М	УОНИ - 13/45М	0,06-0,12	0,15-0,35	0,4-0,9	-	-	0,35-0,65	-		≤0,030	≤0,030
Э-09МХ	ТМЛ-2	0,06-0,12	0,15-0,35	0,4-0,9	-	0,35-0,65	0,35-0,65	-	-	≤0,025	≤0,035
Э-09Х1М	ТМЛ-1У	0,06-0,12	0,15-0,40	0,5-0,9	-	0,80-1,20	0,40-0,70	-	-	≤0,025	≤0,035
Э-05Х2М	Н-10	0,03-0,08	0,15-0,45	0,5-1,0	-	1,70-2,20	0,40-0,70	-	-	≤0,020	≤0,030
Э-09Х2М1	ЦЛ-55	0,06-0,12	0,15-0,45	0,5-1,0	-	1,90-2,50	0,80-1,10	-	-	≤0,025	≤0,035
Э-09Х1МФ	ЦЛ-39	0,06-0,12	0,15-0,40	0,5-0,9	-	0,80-1,25	0,40-0,70	0,10-0,30	-	≤0,025	≤0,030
Э-10Х1М1НФБ	ЦЛ-36	0,07-0,12	0,15-0,40	0,6-0,9	0,6-0,9	1,00-1,40	0,70-1,00	0,15-0,35	0,07-0,2	≤0,025	≤0,030
Э-10Х3М1БФ	ЦЛ-26М	0,07-0,12	0,15-0,45	0,5-0,9	-	2,40-3,00	0,70-1,00	0,25-0,50	0,35-0,6	≤0,025	≤0,030
Э-10Х5МФ	ЦЛ-17	0,07-0,13	0,15-0,45	0,5-0,9	-	4,00-5,50	0,35-0,65	0,10-0,35	-	≤0,025	≤0,035

Проанализировав данную таблицу по основным легирующим элементам на относительное отклонение от среднего значения, результаты анализа имеют следующий вид: углерод $\Delta = 26,7\%$; кремний $\Delta = 11,1\%$; марганец $\Delta = 31\%$; хром $\Delta = 46,31\%$; молибден $\Delta = 31,86\%$. Наименьший относительный разброс наблюдается по кремнию, наибольший по хрому.

В данном случае основными легирующими элементами будем считать те, которые присутствуют во всех типах электродов. Также отнесем к основным легирующим элементам хром.

ГОСТ 10052-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы» устанавливает основные типы электродов, приведенные в Приложении А. Типы электродов обозначены через их химический состав, потому что он

определяет их основные свойства – коррозионную стойкость, жаростойкость, жаропрочность. Всего стандарт предусматривает 49 типов электродов. Каждый тип электрода может реализовываться от одной до нескольких марок электрода.

Согласно ГОСТ 10051-75 «Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы» устанавливает типы электродов, приведенные в Приложении Б. Для этих электродов также наиболее важным является химический состав наплавленного металла. Он определяет такие важные свойства, как твердость, коррозионная стойкость и др. Данный стандарт содержит 44 типа электродов.

К наплавленному металлу предъявляются требования по химическому составу, когда целью процесса сварки или наплавления является изменения механических, химических или технологических свойств металла шва путем внедрения в сварочную ванну легирующих элементов, входящих в состав расплавленного электродного металла.

1.2 Требования нормативных документов по контролю наплавленного металла

Аттестация сварочных материалов проводится с целью проверки соответствия фактических и технологических свойств и характеристик сварочных материалов свойствам и характеристикам, указанным в сопроводительной документации, и требованиям действующих стандартов, технических условий и других нормативных документов для сварочных материалов, а также для определения возможности применения аттестуемых сварочных материалов для проведения работ при изготовлении, реконструкции, монтаже и ремонте технических устройств путем проверки соответствия фактических свойств и характеристик сварочных материалов, свойств наплавленного металла и металла шва требованиям действующих для технических устройств нормативных документов [11].

При аттестации покрытых электродов, входящих в одну партию, они должны быть изготовлены на одинаковом оборудовании и по одному технологическому процессу с применением стальной проволоки одной марки. В ходе контроля особое внимание уделяют проверке соответствия химического состава наплавленного металла и механических свойств наплавленного металла.

Согласно ГОСТ 7122-81 «Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава» устанавливает правила, которые необходимо выполнять при отборе проб.

Требуемая длина наплавленного металла или сварного шва образцов и длина неиспользуемых участков для РДСПЭ отображена в табл. 1.2.

Проводить отбор проб исследуемого металла следует точением, строганием, фрезерованием или сверлением.

Таблица 1.2 – Требования к образцам

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

В ходе отбора проб инструмент должен быть чист и обезжирен. Для понижения температуры инструмента допускается использовать дистиллированную воду. Твердость инструмента, которым проводится отбор проб, должна превышать в 1,5 раза твердость исследуемого металла.

Скорость резания должна подбираться так, чтобы на стружке не было цвета побежалости.

Для проведения химического анализа сварного шва или наплавленного металла, отобранная стружка должна быть без примесей и находиться в таре, предупреждающей ее загрязнение. По возможности стружка должна быть короткой, равномерной, толщиной 0,3-0,4 мм.

Масса пробы для анализа химического состава должна быть согласно методике проведения исследования, а для спектрального анализа отображена в табл. 1.3.

При проведении спектрального анализа, исследуемая поверхность должна быть обработана точением, строганием или фрезерованием. После обработки на поверхности пробы она не должна иметь усадочных раковин, пор и включений. Шероховатость поверхности должна быть 80 мкм согласно ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики».

Таблица 1.3 – Требования к массе проб

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
Все металлы и сплавы	Установки с высокочастотным искровым разрядом	1,0
	Лазерные установки	0,2

Контроль химического состава наплавленного металла производится путем многослойной наплавки специальных образцов (НАКС). Это делается для того, чтобы избежать попадания основного металла в шов, что искажает результаты. Отбор проб с многослойной наплавки на химический анализ требуется выполнять по ГОСТ 9466-75 [3]. Для проверки химического состава наплавленного металла на пластине из стали марки СтЗсп по ГОСТ 380 “Сталь углеродистая обыкновенного качества” [12] или из стали, для сварки или наплавки которой предназначены электроды. Когда испытания производят для электродов по ГОСТ 10051 и ГОСТ 10052 [5,6], то пластины используют или из стали марок 08X18H10 или 12X18H9T по ГОСТ 5632 “Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные”. При этом выполняют восьмислойную наплавку (рис. 1.3) электродами контролируемой партии. Размеры пластины должны быть 120x80x20 мм (с предельным отклонением длины и ширины ± 5 мм, толщины ± 2 мм), площадь наплавки - не менее 80x40 мм. Для электродов диаметром до 5 мм толщина пластин может быть уменьшена, но не должна быть менее четырех диаметров электрода [3].

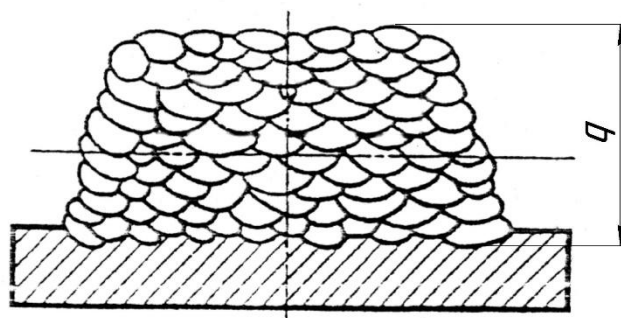


Рисунок 1.3 – Восьмислойная наплавка, $q \geq 8$ слоёв

При проверке электродов для наплавки поверхностных слоев с специфичными свойствами, обеспечивающих усредненную твердость наплавленного металла $HRC_{\Sigma} < 42$, разрешается изготовление пятислойной наплавки, согласно установленным стандартам или техническим условиям на электроды контролируемой марки.

Для химического и спектрального анализов наплавленного металла, пробы отбираются из верхних трех слоев восьмислойной наплавки или из верхних двух слоев пятислойной наплавки. Отбор стружки из наплавленного металла с содержанием углерода менее 0,040% производят соответственно дополнительным указаниям стандарта или техническим условиям на электроды контролируемой марки.

Химический состав наплавленного металла определяют по ГОСТ 12344 - ГОСТ 12365, ГОСТ 18895, ГОСТ 28473, ГОСТ 22536.0 - ГОСТ 22536.12 или с помощью других методов, которые обеспечивают точность определения, предусмотренную указанными стандартами.

Газовый анализ наплавленного металла разрешается проводить, если это допускается стандартами или техническими условиями на электроды контролируемой марки.

Перед отбором проб разрешается 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 $HRC_{\Sigma} < 42$, в предусмотренных стандартом или техническими условиями 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 контролируемыми электродами металла требованиям ГОСТ 10051” Электроды покрытые металлическими для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.” и стандарта или технических условий [ГОСТ 9466-75].

Также осуществление наплавки и отбора проб для определения химического состава наплавленного металла регламентируется международным стандартом ISO 6847 «Welding consumables — Deposition of a weld metal pad for chemical analysis» [13]. В данном стандарте рассмотрены виды осуществления наплавки, которые отображены на рис. 1.4.

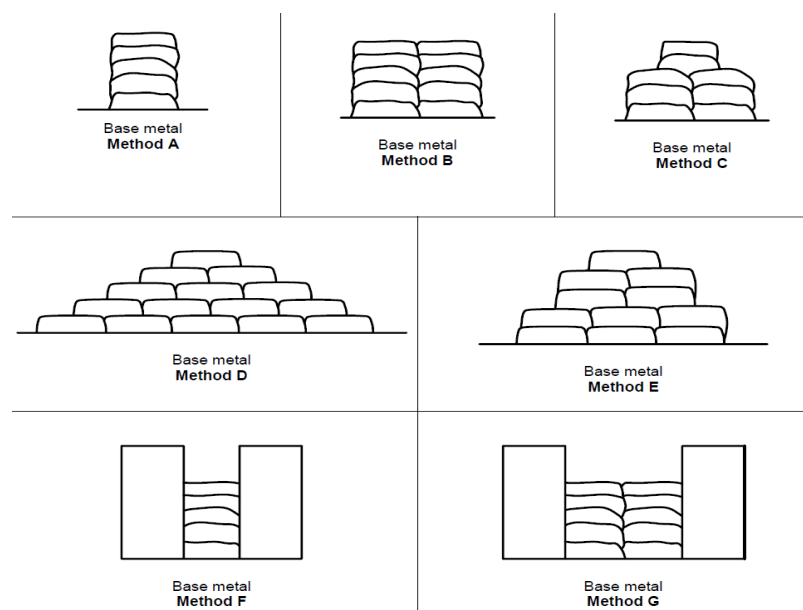


Рисунок 1.4 – Виды осуществления наплавки по ISO

После каждого наплавленного слоя, образец следует остужать в воде в течении 30 секунд, после чего образец нужно просушить. Следующий слой следует наплавлять в противоположном направлении. Шлак сбивается с каждого слоя.

Минимальные размеры металлической пластины для наплавки и размеры сварочных материалов указаны в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Размеры пластин для различных способов сварки

Вид сварки	Диаметр сварочных материалов, мм	Размер пластины	
		Длина	Толщина
РДСПЭ, Аргонодуговая сварка	1,6 – 4 мм	55 мм	10 мм
	4 – 8 мм	65 мм	
Сварка в среде защитного газа	0,6 – 2,5 мм	100 мм	10 мм
Автоматическая сварка	0,6 – 4 мм	100 мм	10 мм
Сварка сочетанием порошковых проволок под слоем флюса	1,2 – 4 мм	200 мм	15 мм
	4 – 6 мм	300 мм	

Согласно стандарту, наплавку следует проводить на том виде тока и полярности, которые указывает производитель. Однако, когда разрешается наплавлять металл как на постоянном, так и на переменном токе, то осуществлять наплавку следует на переменном токе.

В случае, когда сила тока не указывается в соответствующей документации наплавку следует осуществлять при силе тока равной 70 – 90% от максимально величины тока, указанной изготовителем.

Согласно ISO 6847 участок для отбора проб должен быть механически обработан и очищен от возможных загрязнений. Отбор проб следует осуществлять как минимум с 5 слоя. Размер участка для отбора проб указано в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Требования международного стандарта

Вид сварки	Диаметр сварочных материалов, мм	Участок отбора проб		Минимальное количество слоев
		Ширина, мм	Длина, мм	
РДСПЭ, Аргонодуговая сварка	1,6 – 8	12	30 - 55	5
Сварка в среде защитного газа	0,6 – 2,5	12	80	5
Автоматическая сварка	0,6 – 4	12	80	5
Сварка сочетанием порошковых проволок под слоем флюса	1,2 – 6,4	12	150	5

В ходе проведения отбора проб для получения химического анализа наплавленного металла по методу, описанному в ГОСТ 9466-75 можно указать на ряд проблем:

- Высокая трудоемкость при изготовлении многослойной наплавки, в том числе и из-за того, что после наплавления каждого слоя нужно понижать температуру наплавки до комнатной температуры;
- Большой расход сварочных материалов и основного металла;
- Высокие энергетические затраты при выполнении изготовления наплавки;

- При проведении спектрального анализа требуется достаточно трудоемкая подготовка образцов, отбор стружки на химический анализ также трудоемок. Сам химический анализ также достаточно трудоемкое и затратное мероприятие;

Все вышеперечисленные пункты имеют еще и такой отрицательный эффект, как ухудшение экологии, так как происходят выбросы вредных веществ. Высокая трудоемкость получения проб наплавленного металла приводит к тому, что ограничивают объем таких исследований, которые необходимы для разработки оптимальной технологии сварки или новых сварочных материалов.

Поэтому необходимо проводить поиск новых методов получения проб, которые непосредственно лишь при небольшой обработке можно использовать для проведения анализа. Предпочтительным выглядит использование спектрального анализа, но еще лучше было бы получить и пробы для анализа химическими методами. Для этого необходимо рассмотреть варианты, позволяющие уменьшить или совсем устранить попадание основного металла в сварной шов, чтобы наплавленный металл можно было непосредственно использовать в качестве пробы. Для этого рассмотрим основные свойства сварочной дуги и возможные методы снижения попадания основного металла в шов.

2 Возможности управления составом сварного шва при дуговой сварке

2.1 Образование химического состава сварного шва

Сварной шов при РДСПЭ образуется за счет перемешивания основного и электродного металла. В зоне сварки происходят химические реакции, поэтому содержание любого химического элемента в шве (Сш) можно найти по формуле

$$C_{ш} = C_o \Psi_o + \eta C_{э} (1 - \Psi_o), \quad (2.1)$$

где C_o – исходное содержание химического элемента в основном металле, %; $C_{э}$ – исходное содержание химического элемента в металле электрода, %; η – коэффициент перехода химического элемента из металла электрода в сварной шов; Ψ_o – доля участия основного металла в металле сварного шва. $\Psi_o \leq 1$ (рис 2.1).

Коэффициент перехода η используется потому, что при сварке происходят химические реакции шлака, образуемого от расплавления покрытия электрода и некоторые легирующие элементы добавляются в шов. Также происходит испарение и выгорание (окисление) некоторых элементов и их уменьшение в шве. Это очень сложные процессы, рассчитать которые весьма непросто, поэтому η определяют экспериментально.

Режим сварки, способ ввода легирующих элементов, окислительные условия в зоне сварки и др. Все эти факторы так или иначе влияют на коэффициент перехода, но считать их средством прогнозирования химического состава шва было бы не корректно. Эти факторы вернее назвать характеристикой металлургических условий.

При сварке данный коэффициент может изменяться в диапазоне (0,3 – 0,95) [14]. Значения коэффициентов перехода для некоторых случаев сварки приложены в табл. 2.1 по данным разных авторов [15].

Таблица 2.1 – Коэффициент перехода для различных защитных сред

Вид сварки	Коэффициент перехода по элементам			
	C	Mn	Si	Cr
Сварка на воздухе без защиты:				
проволокой Св-08А	0,3 – 0,4	0,39 – 0,56	-----	-----
проволокой Св-18ХГСА	0,29 – 0,34	0,63 – 0,69	0,5 – 0,87	0,90 – 0,95
Сварка в CO ₂ :				
Проволокой 12Х18Н9Т	-----	0,78	0,78	0,94
Проволокой Св-18ХГСА	0,79	0,80	0,81	0,94
Проволокой Св-10ГС	0,71	0,55	0,37	-----
Сварка в аргоне + 5%O ₂ :				
Проволокой Св-18ХГСА	0,60	0,69	0,71	0,92
Проволокой Св-10ГС	0,59	0,41	0,32	-----
Сварка электродами УОНИ 13/45	-----	0,45 – 0,55	0,14-0,27	-----

Переход легирующих элементов покрытия электрода будет происходить значительно меньше, нежели переход аналогичной концентрации элементов с электродного стержня.

Так как при поставке электродов, для которых их химический состав играет важное значение, приводят итоговое содержание легирующих элементов в наплавленном металле и в этом случае формулу (2.1) можно представить в виде

$$C_{ш} = C_0 \Psi_0 + C_n (1 - \Psi_0). \quad (2.2)$$

То есть вместо содержания элемента в электродном металле в (2.2) используется его содержание в металле «чистой» наплавки. Коэффициент η в этом случае может не использоваться, он имеет чисто научное значение. Именно поэтому точное определение химического состава наплавляемого

металла имеет такое важное значение. Металл, переходящий с электрода в сварочную ванну лучше называть именно «наплавляемым», потому что наплавленный металл – это уже металл, перешедший в шов и там его невозможно отличить от металла шва. Под «наплавленным» металлом будем понимать металл, получаемый при многослойной наплавке при получении проб, когда нет перемешивания основного и наплавляемого металла.

Так по [15, с. 74] когда наплавку проводят на медную форму, т.е. без участия основного металла, то состав такого металла покажет, какие изменения протекают как на торце, так и в ванне. Содержание элемента в шве можно найти по формуле (2.2). В действительности участие основного металла в реакциях в ванне может изменить конечные результаты. Однако влияние основного металла обычно невелико и расчеты по наплавленному металлу позволяют судить о возможном составе шва. Расчеты удобны тем, что значения C_n могут быть найдены сравнительно просто из опыта путем наплавки в медную форму; они, как правило, приводятся в ТУ и паспортах на электроды и порошковую проволоку.

При расчете химического состава сварного шва важна подготовка кромок под сварку (рис.2.1), так как от этого зависит доля основного металла в металле шва (Ψ_0).

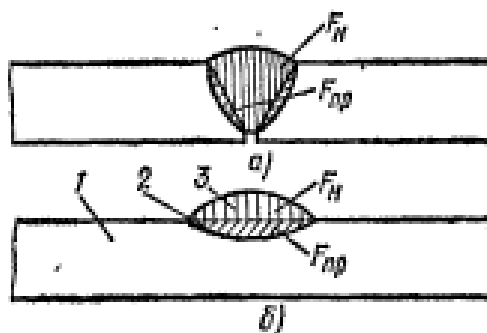


Рисунок 2.1 – Сварное соединение: а) с разделкой кромок; б) наплавка на пластину

Доля участия основного металла в металле шва определяется по формуле [16]:

$$\Psi_o = F_{пр}/(F_{пр}+F_n) = F_{пр}/F_{ш}, \quad (2.3)$$

где $F_{пр}$ – площадь поперечного сечения основного металла, см^2 ;

F_n – площадь поперечного сечения наплавленного металла, см^2 .

При РДСПЭ доля основного металла в шве составляет 0,15 – 0,4 при наплавке валиком, 0,25 – 0,5 при сварке корневых швов [14] (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Доля основного металла в сварном шве при разных вариантах сварки

Вид соединения	Сталь* ¹	Вид сварки			
		Покрытыми электродами	Под флюсом	Электрошлаковая	Наплавка ленточным электродом
Наплавка валиком	П	0,15-0,40	0,25-0,50	-----	0,08-0,20
	А	0,25-0,50	0,35-0,50		0,15-0,25
Стык без разделки кромок	П	0,30-0,50	0,35-0,55	0,2-0,4	-----
	А	-----		0,3-0,5	
Стык с разделкой кромок (однослойный шов)	П	0,20-0,40	0,25-0,50	-----	
	А	0,30-0,50	0,40-0,60		
Корневые швы стыковых многослойных соединений	П	0,25-0,50	0,35-0,60		
	А	0,35-0,50	0,40-0,70		
* ¹ П – перлитная; А – аустенитная.					

Предложен ряд способов для увеличения коэффициента наплавки и понижения доли основного металла в сварном шве.

1. Наплавка дугой косвенного действия без включения в схему изделия. При увеличении длины дуги, проплавление металла изделия не происходит.
2. Наплавка трехфазной дугой. Глубина проплавления металла изделия зависит от соотношения силы тока в дугах, которые горят между электродами и металлом изделия.
3. Наплавка комбинированной дугой. Питание дуги между электродами и металлом изделия осуществляется по средствам постоянного тока, в то время как дуги между электродами – переменным током.
4. Однофазная двухэлектродная наплавка осуществляется при помощи сварочного трансформатора, за счет которого основано питание электродов и металла изделия от концов и середины вторичной обмотки.
5. Наплавка при подачи присадочной проволоки в дугу, при этом проволока не входит в схему питания. Этот метод позволяет повысить коэффициент наплавки и уменьшить долю основного металла.

Все выше перечисленные способы позволяют повысить количество расплавляемой проволоки за единицу времени, при этом производительность расплавления электрода достигает 25 – 30 кг/час [17].

«К сожалению, все эти способы не приводят к надежному результату по формированию валика: часто встречаются непровары по краям, подвороты, бугры, а также местные несплавления. Во многом качество наплавки зависит от угла между электродами и длины дуги. Существующая на данный момент аппаратура не позволяет поддерживать эти параметры в постоянном состоянии, поэтому все эти способы показывают ненадежный результат и их производственное применение крайне мало» [17].

Наиболее надежным способом для уменьшения доли основного металла в металле наплавки является наплавка комбинированной дугой (рис. 2.2).

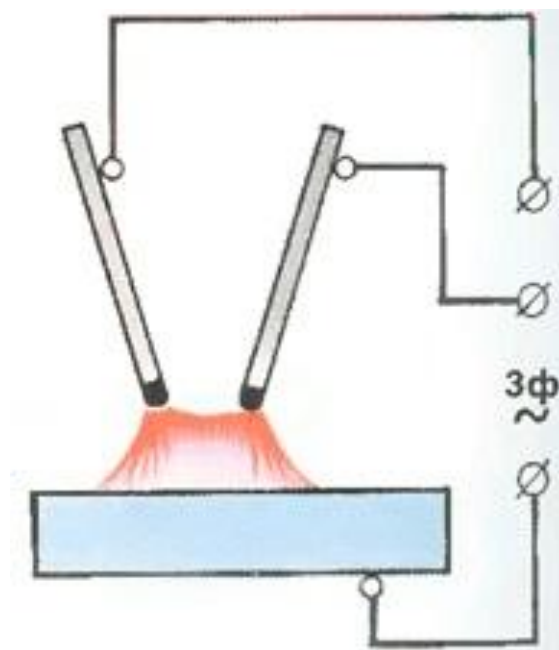


Рисунок 2.2 – Комбинированная дуга (трехфазная)

Данный способ основан на применении добавочного электрода, который подключается в схему питания параллельно основному металлу. Добавочный электрод должен подаваться под углом к наплавляемой поверхности, оптимальный угол не более 25° .

Манипулирование скоростью подачи добавочного электрода и скоростью перемещения основного электрода позволяют снизить долю основного металла до 0,1 – 0,15 не нарушая стабильность процесса. Производительность при наплавке комбинированной дугой достигает 15-20 кг/ч [17, 42].

При многослойной наплавки доля основного металла уменьшается от слоя к слою. Наличие химического элемента в любом слое можно по формуле

$$C_H = C_Э - C_{Э\gamma} \quad (2.4)$$

где C_H – содержание химического элемента R в металле электрода, %;
 $C_э$ – содержание химического элемента в наплавляемом металле, %;
 γ – доля основного металла в металле наплавки.

При $\gamma = 0,3$ в третьем слое содержание C_H в наплавке не отличается от его содержания в стержне электрода [17].

«Применять (2.4) можно только в том случае, когда химический элемент не окисляется и не восстанавливается в процессе наплавки, а попадает в металл только из электродной проволоки. Нам известно, что при РДСПЭ это не так. Однако данный подсчет показывает, что применение более чем трехслойной наплавки необоснованно» [17].

Принято указывать диапазон процентного содержания химического элемента в наплавленном металле, а не его содержания в электроде. Это обусловлено тем, что во время процесса сварки или наплавки покрытыми электродами происходит разбрызгивания и потеря металла на угар. Исходя из этого можно утверждать, что содержание химических элементов в покрытом электроде выше, чем в наплавленном металле.

Анализ формул (2.1) и (2.3) показывает, что увеличение содержания легирующего элемента в сварном шве возможно за счет увеличения его содержания в наплавляемом металле и за счет увеличения доли электродного металла в металле шва. Предпочтительнее выглядит второй путь, так как первый приводит к удорожанию стоимости сварочных электродов. Доля участия наплавленного металла в металле шва является обратной величиной от Ψ_0

$$\Psi_H = 1 / \Psi_0. \quad (2.5)$$

Значения Ψ_0 (Ψ_H) зависят от производительности расплавления электродного металла и производительности проплавления основного металла.

При сварке покрытыми электродами при расчете производительности используют коэффициенты расплавления и наплавки.

Коэффициент расплавления

$$\alpha_p = G_p / I_d \cdot t, \quad (2.6)$$

где α_p – коэффициент расплавления покрытого электрода, г/(А·ч); G_p – масса расплавленного электродного металла за время горения дуги, г; I_d – сила тока дуги, А; t – время горения дуги, ч [14].

Так же α_p можно представить в виде [18]:

$$\alpha_p = G_p / I_d \cdot t = F_3 L_3 \rho / I_d t = V_3 \rho / j \quad (2.7)$$

где F_3 – площадь поперечного сечения электрода, см²; L_3 – длина расплавленной части электрода, см; ρ – плотность металла, для стали 7,8 г/см³; V_3 – скорость расплавления электрода, см/с; j – плотность тока на электроде, А/см².

Коэффициент наплавки характеризует количество наплавленного электродного металла или скорость наплавки

$$\alpha_n = G_n / I_d t, \quad (2.8)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/(А·ч); G_n – масса наплавленного металла за время t , г (с учетом потерь)[14].

«Разница между α_p и α_n характеризуется коэффициентом потерь на угар, разбрызгивание металла и испарение Ψ_{Π} .

$$\Psi_{\Pi} = [(\alpha_p - \alpha_n) / \alpha_p] \cdot 100\%, \quad (2.9)$$

Коэффициенты α_p , α_n и Ψ_{Π} зависят от вида, способа, параметров и режимов сварки. При ручной дугой сварке, коэффициенты расплавления и наплавки находятся в диапазоне от 7 до 10 г/(А·ч) и могут возрасти до 17 г/(А·ч) и более, при увеличении плотности тока. Потери на угар, разбрызгивание и др. составляют от 1 – 15% в зависимости от способа сварки» [18].

Площадь поперечного сечения наплавленного металла F_n сравнительно легко определить с помощью уравнения [2,18].

$$F_{\text{н}} \cdot V_c = (1 - \Psi_{\text{п}}) F_{\text{э}} \cdot V_{\text{э}} \quad (2.10)$$

где V_c – скорость сварки, см/с, $V_{\text{э}}$ – скорость расплавления (подачи) электрода, см/с.

Отсюда

$$F_{\text{н}} = (1 - \Psi_{\text{п}}) F_{\text{э}} \cdot V_{\text{э}} / V_c \quad (2.11)$$

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами коэффициент потерь на угар и разбрызгивание составляет 0,03 – 0,1.

Вылетом электрода принято считать длину его стержня между точкой токоподвода и торцом, с которого горит сварочная дуга. При механизированной сварке длина вылета должна быть постоянной величиной. При РДСПЭ вылет уменьшается от максимума при зажигании дуги до минимума в конце его расплавления. Из-за наличия вылета электрод нагревается не только дугой, но и теплом Джоуля- Ленца. В начале процесса ручной сварки вылет не нагрет, в конце огарок разогревается максимально. Происходит ускорение расплавления электрода по мере его сгорания, которое зависит от плотности тока на электроде. Ускорение может достигать 30% от начальной скорости при зажигании дуги [16].

Отличие вылета проволоки при сварке в среде защитного газа заключается в том, что в данном случае вылетом является длина электродной проволоки от ее торца до места токоподвода.

С помощью баланса мощностей можно составить уравнение для нагрева электрода.

$$Q_{\text{э}} = U_{\text{э}} \cdot I_{\text{д}} = V_{\text{э}} F_{\text{э}} H_{\text{э}}, \quad (2.12)$$

где $Q_{\text{э}}$ - мощность, затрачиваемая на расплавление электрода, Вт; $H_{\text{э}}$ – теплосодержание жидкого электродного металла, Дж/см³.; $U_{\text{э}}$ – вольт-эквивалент мощности, расходуемой на плавление электродного металла [18].

Также $Q_{\text{э}}$ можно представить в следующем виде

$$Q_{\text{э}} = Q_i - Q_{\text{п}}, \quad (2.13)$$

Q_i – электрическая мощность, передаваемая стержню, Вт; Q_{Π} – мощность потерь на излучение с поверхности и испарение жидкого металла.

Электрическая мощность Q_i , состоит из 2-х слагаемых:

$$Q_i = Q_d + Q_v, \quad (2.14)$$

где Q_d – электрическая мощность передаваемая в электрод из приэлектродной области дуги (катодной или анодной); Q_v – мощность Джоуля – Ленца, выделяемая в вылете электрода, Вт.

Величина Q_d – зависит от полярности дуги, Q_v – от полярности дуги не зависит. Нэ – составляет порядка 1800 Дж/г (14000 Дж/см³), в то время как для расплавления железа до температуры плавления достаточно 1000 Дж/г [19].

Электродный металл сильно перегревается из-за стесненных условий распространения тепла в тонком стержне и относительно низких потерь мощности Q_{Π} .

Перегрев вылета покрытого электрода наблюдается при большом увеличении силы тока. Из-за этого ухудшается защита металла шва от атмосферы, создаваемая покрытием. Возможно отслаивание или осыпание покрытия со стержня. Повышается разбрызгивание металла и наблюдается не стабильность расплавления электрода.

Вылет электрода нагревается в большей или меньшей степени за счет сопротивления Ома, что ускоряет его плавление. Мощность, которая выделяется в вылете электрода можно рассчитать по формуле [18]

$$Q_v = I_d^2 R_v, \quad (2.15)$$

где R_v – сопротивление вылета, Ом.

$$R_v = \rho_m L_v / F_{\text{э}}, \quad (2.16)$$

где L_v – длина вылета, см; ρ_m – удельное электрическое сопротивление материала стержня, Ом/см.

Проблема заключается в том, что удельное сопротивление металла вылета ρ_m в большой степени зависит от температуры и определить R_v

непросто. Известна формула Б.Е. Патона, но ее применение вызывает затруднение [18].

Из-за того, что электрод при РДСПЭ плавится с ускорением, возникает такой эффект. Коэффициент расплавления больше в конце его расплавления. Это увеличивает долю участия наплавленного металла в металле шва, то есть химический состав шва будет изменяться по длине валика. Увеличение скорости сварки ничего не дает, так как в этом случае будет уменьшаться площадь проплавления основного металла. Это приводит к дополнительной химической неоднородности металла шва и является одним из недостатков РДСПЭ [20]. Решения этой проблемы пока нет. Если требуется повысить однородность химического состава шва, то сварку лучше вести на малых токах. При этом будет низкая производительность наплавки.

Можно отметить, что для уменьшения доли участия основного металла в металле наплавки лучше такую наплавку использовать от конечной стадии расплавления электрода, когда коэффициент наплавки больше.

В патенте [21] предложено использовать увеличенный ток дуги на начальном этапе после зажигания, а затем плавно снижать его по определенному закону. В этом случае можно получить равномерное расплавление электрода и выигрыш в производительности (7-10%), но снижение тока дуги приводит к уменьшению проплавления основного металла. Интересно также, что если расплавлять 0,5 длины электрода, используя по очереди два электрододержателя, то за счет повышения начального тока дуги также можно получить выигрыш в производительности расплавления [22]. Аналогичная цель достигается при использовании удлиненного электрода с оголенным участком для его подключения посередине [22].

С увеличением плотности тока коэффициент расплавления α_p изменяется незначительно, но при этом скорость сварки увеличивается. Это происходит из-за подогрева электродного стержня током.

Во многих случаях ускорение плавления электрода является нежелательным, так как нарушается соотношение расплавленного основного и наплавленного электродного металла, что приводит к нарушению формирования шва и является одним из факторов, который определяет силу тока дуги.

С увеличением силы тока увеличивается проплавление основного металла, но вместе с увеличением силы тока пропорционально увеличивается скорость расплавления электродного металла, что не позволяет регулировать химический состав с помощью режимов сварки, так как соотношение основного и наплавленного металла практически не изменяется.

2.2 Сварочная дуга

При ручной дуговой сварке покрытым электродом высокотемпературным источником энергии является электрическая дуга. В сварочной технике различают дугу прямого и косвенного действия, а также комбинированные дуги прямого и косвенного действия. Примером дуги комбинированного действия является трехфазная дуга. В дуге прямого действия одним из электродов дуги является обрабатываемое изделие. В дуге косвенного действия источник питания подключен только к плавящимся или неплавящимся электродам.

«Электрические дуги подразделяются на дуги постоянного или переменного тока. Постоянный ток получают за счет выпрямления переменного тока. Также важную роль занимает полярность дуги, что обуславливается ее строением» [19].

Дуга постоянного тока бывает прямой и обратной полярности. При прямой полярности к свариваемому изделию подключается плюс, и оно является анодом, а электроду подводится минус, и он будет катодом. В случае с обратной полярностью подвод производят в обратном порядке (рис. 2.3).

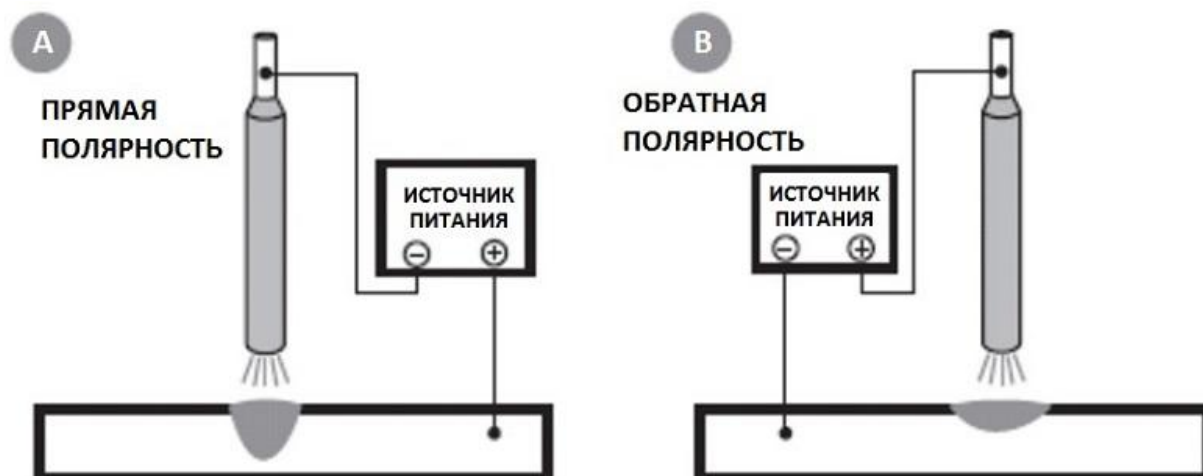


Рисунок 2.3 – Полярность сварочных дуг

Согласно рисунку 2.4 сварочную дугу можно разделить на 3 области: катодную, анодную и столб дуги.

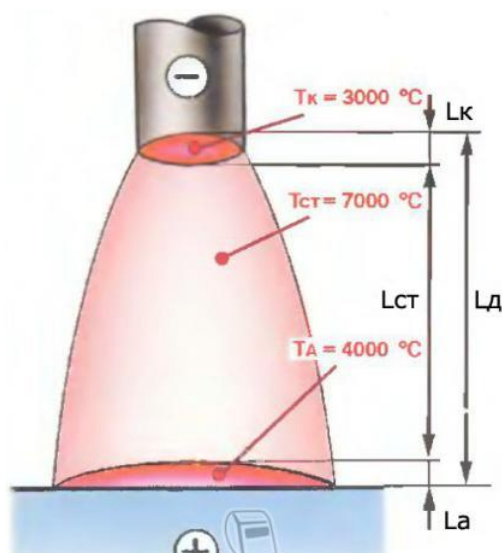


Рисунок 2.4 – Области сварочной дуги

Тепловую мощность, которая выделяется в дуге можно определить по формуле [23]:

$$P = U_d \cdot I_d, \quad (2.17)$$

где U_d , I_d – действующие значения напряжения и тока дуги.

При РДСПЭ напряжение дуги $U_d \approx 20 \dots 30$ В, а ток дуги находится в диапазоне $I_d = 40 \dots 500$ А.

Напряжение дуги можно представить в виде суммы напряжений всех областей дуги

$$U_d = U_a + U_k + U_c, \quad (2.18)$$

где U_a - падения напряжения в анодной области, В; U_k – падения напряжения катодной области, В; U_c – падение напряжения в столбе дуги, В.

Падение напряжения во всех трех областях имеют один порядок величин, в пределах от нескольких вольт до 20 В. Однако длины областей очень сильно отличаются. Самую малую длину имеет катодная область, $\approx 10^{-5}$ см. Длина анодной области примерно в 10 раз больше $L_a \approx 10^{-4}$ см. Отсюда следует, что катодная и анодная области имеют очень высокую напряженность электрического поля, достигающую сотен тысяч вольт на см. Именно это обеспечивает прохождение тока в газовом разряде при сравнительно низкой температуре этих областей [24].

Количество теплоты, введенное за единицу времени в металл изделия и затраченное на его нагрев, называют эффективной мощностью дуги q и рассчитывают по формуле [15, 39]:

$$q = \eta_i \cdot P, \quad (2.19)$$

где η_i – эффективный КПД нагрева.

При РДСПЭ η_i находится в диапазоне 0,7 – 0,85 и будет зависеть от полярности дуги и силы тока.

Мощности, выделяемые в областях дуги, одного порядка, но в анодной и катодной областях они почти полностью передаются электродам (стержневому или изделию), а от столба дуги теряются в окружающую среду конвекцией и излучением. Поэтому с увеличением длины дуги эффективный КПД уменьшается [39].

Мощность, выделяемую в анодной области можно приближенно определить по формуле [23]:

$$P_a \approx I_d (U_a + U_b), \quad (2.20)$$

где U_b – напряжение, эквивалентное работе выхода электрона из металла электрода дуги, В.

Мощность, выделяемую в катодной области можно приближенно определить по формуле

$$P_a \approx I_d (U_k - U_v), \quad (2.21)$$

Приравняв формулы (2.20) и (2.21) получим условие, при котором мощности, выделяемые в анод и катод равны

$$U_k - U_a \geq 2U_v, \quad (2.22)$$

То есть, для того, чтобы на катоде выделялась большая мощность, нужно, чтобы выполнялось это условие. Тогда и плавление катода будет более интенсивное, чем анода. При ручной сварке, как установлено в [24] возможна ситуация для некоторых марок электродов, когда электрод-анод плавится с большей скоростью. Это наблюдается при малых токах. Поэтому говорить на какой полярности дуги интенсивнее плавится электрод нужно с осторожностью – это зависит от условий сварки.

В любом случае дуга прямого действия интенсивно расплавляет изделие, что приводит к существенному перемешиванию основного и электродного металла. Дуга косвенного действия практически не плавит изделие. Это свойство дуги косвенного действия и исследуется в настоящей работе для использования в получении проб наплавляемого металла. Можно предположить, что при наплавке дугой косвенного действия на изделие условия защиты сварочной ванны от воздуха и металлургические реакции будут проходить почти также, как и при наплавке дугой прямого действия. Для этого по-видимому необходимо, чтобы электроды дуги косвенного действия располагались достаточно близко к детали, на которую производится наплавка.

В данной работе рассматривается только дуга косвенного действия с покрытыми электродами. При использовании дуги косвенного действия возможны две схемы – когда оба электрода плавящиеся и когда один из них неплавящийся.

По дуге косвенного действия в специальной литературе сведений мало. Но можно утверждать, что по своим физическим свойствам она мало отличается от дуги прямого действия. Поэтому для нее действуют все приведенные в разделе 2.2. формулы.

На основе приведенных данных можно сформулировать следующие задачи работы.

1. Изучить особенности горения дуги косвенного действия с покрытыми электродами.
2. Опробовать варианты наплавки проб дугой косвенного действия на различные подложки и предложить оптимальный вариант.
3. Провести сравнительный анализ проб наплавленного металла по принятой технологии и дугой косвенного действия.
4. Определить перспективность продолжения работ.

3 Методика и результаты экспериментов и исследований

3.1 Методика анализа химического состава проб

В ходе проведения исследований использовалось 2 способа определения химического состава проб:

- Атомно-эмиссионный спектральный анализ
- Рентгенофлуоресцентный спектральный анализ

Данные методы позволяют определять содержание химических элементов в широком диапазоне.

Принцип атомно-эмиссионного спектрального анализа основан на измерении интенсивности излучения на определенной длине волны спектра эмиссионного излучения атомов анализируемых элементов. Излучение возбуждается искровым разрядом между вспомогательным электродом и анализируемым металлическим образцом. В процессе анализа аргон обтекает исследуемый объект, делая его более заметным для изучения. Эмиссионный спектрометр фиксирует интенсивность излучения и на основе получаемых данных анализирует состав металла. Содержание элементов в образце определяется по градуировочным зависимостям между интенсивностью эмиссионного излучения и содержанием элемента в образце [25].

Принципиальное отличие рентгенофлуоресцентного спектрального анализа заключается в том, что для возбуждения спектра использует рентгеновское излучение. В ходе облучения атомы, находящиеся в пробе, испускают флуоресцентное излучение. В каждом элементе атомы имеют свое характерное излучение, которое строго определено длиной волны и энергией.

Основными достоинствами данных методов являются:

- Широкий диапазон определяемых химических элементов
- Проведения анализа в короткие сроки
- Проведения как элементарного, так количественного анализа
- Получение результатов в цифровом варианте

Ряд перечисленных преимуществ указывает на перспективность данных методов в определении химического состава металла.

3.2 Технические характеристики оборудования для спектрального анализа

В ходе исследования химического состава проб применялось современное оборудование:

- Оптико-эмиссионный спектрометр PMI-MASTER Smart
- Оптико-эмиссионный спектрометр Q4 TASMAN
- Рентгенофлуоресцентный спектрометр SHIMADZU EDX8000
- Рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 5000

Спектрометр PMI-MASTER Smart (рис 3.1) от производителя OXFORD Instruments, (Великобритания) позволяет определять порядка 34 химических элементов на разных основах [26].



Рисунок 3.1 – Оптико-эмиссионный спектрометр PMI-MASTER Smart

Диапазон длин волн: 170 – 420 нм.

Прибор способен определять C, S и P в низких концентрациях (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Точность определения основных легирующих элементов

Определяемый элемент в сталях	Диапазон измерения массовой доли, %	Характеристика погрешности измерений Δ (P=0,95) (расширенная неопределенность), % (по ГОСТ Р 54153-2010)
Марганец	0,050 ... 2,0	$\pm (0,008 \dots 0,08)$
Медь	0,010 ... 1,00	$\pm (0,004 \dots 0,06)$
Молибден	0,010 ... 5,0	$\pm (0,004 \dots 0,12)$
Углерод	0,020 ... 2,0	$\pm (0,008 \dots 0,06)$
Кремний	0,050 ... 2,5	$\pm (0,012 \dots 0,08)$
Никель	0,010 ... 10,0	$\pm (0,004 \dots 0,16)$
Хром	0,010 ... 30,0	$\pm (0,003 \dots 0,25)$

Данный прибор позволяет получить результат химического анализа в течении одной минуты на одном участке. После проведения анализа на образце остаются следы искровой эрозии глубиной в несколько микрон. Минимальный шаг между участками замера составляет около 10 мм.

Возбуждение дуги происходит в среде аргона, чистота которого не ниже 99,998%.

Минимальный размер пробы для определения химического - 30 мм в диаметре.

Оптико-эмиссионный спектрометр Q4 TASMAN (рис.3.2) от производителя Bruker Elemental GmbH (Германия) позволяет определять порядка 42 химических элементов [27].



Рисунок 3.2 – Оптико-эмиссионный спектрометр Q4 TASMAR

Диапазон длин волн: 130 – 620 нм.

Таблица 3.2 – Диапазон измерения и пределы допускаемых значений погрешности измерения для ряда элементов в сталях

Определяемый элемент в сталях	Диапазон измерения массовой доли, %	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения массовой доли, %, для элементов
Углерод	0,005 ... 2,0	$\pm (0,002 \dots 0,06)$
Кремний	0,005 ... 2,0	$\pm (0,002 \dots 0,08)$
Марганец	0,051 ... 6,0	$\pm (0,008 \dots 0,12)$
Сера	0,002 ... 0,02	$\pm(0,002 \dots 0,016)$
Фосфор	0,002 ... 0,02	$\pm(0,002 \dots 0,012)$

Данный прибор позволяет получить результат химического анализа в течении одной минуты на одном участке. После проведения анализа на образце остаются следы искровой эрозии глубиной в несколько микрон.

Возбуждение дуги происходит в среде аргона, чистота которого не ниже 99,998%.

Минимальный размер пробы для определения химического состава - 30 мм в длину и 10 мм в ширину.

Сравнив таблицы 3.1 и 3.2 можно утверждать, что спектрометр Q4 TASMAL более чувствительный при меньшем размере пробы, в отличии от PMI – MASTER Smart.

Рентгенофлуоресцентный спектрометр EDX-8000 (рис. 3.3) от компании SHIMADZU (Япония). Данный прибор позволяет определять более 80 химических элементов в различных агрегатных состояниях, одним из наиболее эффективных методов анализа, позволяющих за минимальный период времени получить наиболее полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов независимо от их агрегатного состояния и происхождения [28].



Рисунок 3.3 – Рентгенофлуоресцентный спектрометр EDX-8000

Важным является возможность реализации без эталонного анализа, что исключает необходимость использования стандартных образцов, приготовление которых зачастую представляет сложную проблему аналитической химии особенно для микрограммовых количеств веществ [28].

Диапазон определяемых элементов указан на рис. 3.4.

EDX-7000: от $_{11}\text{Na}$ по $_{92}\text{U}$ EDX-8000: от $_{6}\text{C}$ по $_{92}\text{U}$																	
Предел обнаружения:																	
10%~ 0.5%~ 100ppm~ 10ppm~ 1ppm~ 0.1ppm~																	
1	1															2	
	H															He	
2	3	4															
	Li	Be															
3	11	12															
	Na	Mg															
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
6	55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
7	87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus
6	*	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
7	**	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Рисунок 3.4 – Диапазон определяемых элементов

Время, затраченное на проведения одного анализа и обработку данных, составляет около 10 минут.

Рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 5000 (рис. 3.5) от производителя OXFORD Instruments, (Великобритания) позволяет определять порядка 28 химических элементов от Ti до U на разных основах в концентрациях от 0 до 100% [29].

X-MET 5000 предназначен для осуществления входного контроля материалов, сортировки металлического лома, контроля качества готовых изделий [29].

Диапазон химических элементов, который может определить X-MET 5000 указан на рис. 3.6.

На анализ металлического сплава расходуется от 2-60 секунд.

Минимальный размер образца для анализа составляет около 5 мм.

3.3 Описание условий проведения исследований

Был рассмотрен ряд способов наплавки дугой косвенного действия. Одним из них является наплавка в графитовую колодку.

Под графитовой колодкой понимается контактная вставка (рис.3.7) для скользящего токосъема и предназначенная для городского электрического транспорта. Изделие выполнено в виде пластины длиной 87 мм толщиной 28 мм, с рабочей частью в виде желоба, соответствующего форме контактного провода с симметричными раструбами на торцах. На 70-80% от общей массы, вставка состоит из электродного графита, также в ее состав входит фенолоформальдегидная смола, уротропин. Еще в состав могут добавлять металлический порошок с размером частиц не более 150 мкм [30].



Рисунок 3.7 – Графитовая контактная вставка

Для проведения опыта на вставке высверливалось отверстие размерами 25x10x8 мм для придания получаемой пробе каплевидной формы. Использовались электроды марки КРАТОН J422 диаметром 2,5 мм, которые по химическому составу (табл.3.3) наплавленного металла близки к УОНИ – 13/45 и МР-3. Источником питания служил сварочный инвертор Blueweld Starmig 200. Полярность дуги прямая - рекомендована техническими условиями на электроды. В этом случае колодка служила анодом дуги и на ней выделяется максимальная мощность, как на неплавящемся электроде.

Таблица 3.3 – Химический состав наплавляемого металла, заявленный производителем

Элемент	C	Mn	Si	S	P
Содержание, %	Не более 0,12	0,3-0,6	Не более 0,25	Не более 0,035	Не более 0,04

В ходе исследования использовалось три сварочных тока: 100А, 80А и 60А. В ходе эксперимента было получено порядка 6 проб при затрате одного электрода на 3 пробы. В дальнейшем одна проба (рис.3.8) была отправлена на спектральный анализ. Размер самой малой пробы в диаметре составила 9,1 мм, самой большой 15,6 мм.

Спектральный анализ проводился на базе ТГУ на оптико-эмиссионном спектрометре Q4 TASMAN [27]. Результаты определения химического состава отображены в табл. 3.4. Проба после атомно-эмиссионного спектрального анализа показана на рис. 3.9.

Таблица 3.4 – Химический состав наплавленного металла, полученный в ходе спектрального анализа

Элемент	C	Mn	Si	S	P
Содержание, %	0,235	0,085	0,037	0,0071	0,02



Рисунок 3.8 – Наплавленные пробы



Рисунок 3.9 – Проба после атомно-эмиссионного спектрального анализа

В результате анализа было получено, что только по вредным примесям сере и фосфору полученные данные соответствуют требованиям на наплавленный металл. По-видимому, в процессе наплавки происходит химическое взаимодействие углерода колодки с воздухом и другими элементами.

Также в ходе исследования способа наплавки дугой косвенного действия был рассмотрен способ расплавления электрода на алюминиевую пластину (рис. 3.10) в качестве сварочного материала были использованы электроды марки ЦІ 11 диаметром 2,5 мм, которые используются для сварки коррозионно-стойких и хромоникелевых сталей. В качестве источника питания для сварки был использован сварочный выпрямитель ВДМ – 1202С.

Химический состав, наплавленного металла заявленный производителем представлен в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Химический состав наплавляемого металла, заявленный производителем

Элемент	C	Mn	Si	Ni	Cr	Nb	P	S
Содержание не более, %	0,10	1,8	0,53	9,8	20,8	0,99	0,02	0,011

Сущность данного способа заключается в получении проб за счёт разбрызгивания электродного металла над алюминиевым кругом, диаметр которого составляет 750 мм. Для повышения разбрызгивания, ток был увеличен примерно в 2 раза относительно рекомендации изготовителя и стал равен 107 А.



Рисунок 3.10 – Расплавление электрода дугой косвенного действия на алюминиевую пластину

Поддерживать стабильное горение дуги при наплавке данным способом непростая задача, даже для сварщика с большим стажем. При малейшем удлинении дуги в 1-2 мм, дуга гаснет, а повторное зажигание дуги осложнено расплавленным торцом электрода.

В данном случае проблема стабильного горения дуги незначительно повысит трудоемкость и никак не повлияет на процесс получения проб (рис.3.11).



Рисунок 3.11 – Пробы полученные в ходе расплавления электрода

Размер проб находится в диапазоне от 1 до 7 мм. Для определения химического состава проб, они были очищены от шлака.

В дальнейшем ходе исследования было выявлено, что определение химического состава пробы при помощи оптико-эмиссионного спектрометра невозможно из-за малых размер проб.

Для анализа был использован портативный рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 5000 [29]. Результаты определения химического состава указан в сводной табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Химический состав пробы, полученный в ходе расплавления металла электрода

Элемент	C	Mn	Si	Ni	Cr	Nb	P	S
Содержание, %	-----	1,3	0,93	7,9	22,0	1,0	0,01	-----
По стандарту не более, %	0,10	1,8	0,53	9,8	20,8	0,99	0,02	0,011

Марганец, никель, фосфор входят в диапазон, обозначенный изготовителем.

Процентное содержания ниобия в пробе превышает допустимый диапазон на 0,01%.

Кремний и хром выше допустимого содержания на 0,4% и 1,2% соответственно.

Определение углерода и серы невозможно, по техническим причинам.

Данный способ можно считать перспективным, так как 3 из 8 элементов входит в диапазон допустимого содержания и один элемент превышает этот диапазон всего на 0,01%, но определить химический состав другим методом технически невозможно из-за малого размера проб.

Результат исследования проб от расплавления электрода дугой косвенного действия на алюминиевый круг нельзя считать достаточным. В дальнейшем предложено заменить алюминий на медь и проводить процесс расплавления электрода в виде наплавки.

Была подобрана медная пластина толщиной 20 мм и длина 110 мм. В качестве сварочных материалов были взяты покрытые электроды марки ТМЛ-1У диаметром 3 мм. Данные электроды предназначены для сварки легированных теплоустойчивых сталей. Химический состав наплавленного металла заявленный производителем отображен в табл. 3.7. Согласно паспорту, электроды были прокалены при температуре 370°.

Таблица 3.7 – Химический состав наплавленного металла, заявленный производителем

Элемент	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P
Содержание, %	0,06- 0,12	0,5- 0,9	0,15- 0,40	0,8- 1,2	0,4- 0,7	Не более 0,025	0,020
Среднее значение	0,08	0,7	0,275	1,0	0,55		

Наплавка проводилась при помощи сварочного инвертора ФОРСАЖ – 315 АД. Для наплавки дугой косвенного действия использовался дополнительный электрододержатель. Для наплавки берутся два прокаленных электрода и для облегчения зажигания дуги, торец электрода зачищается от покрытия на 1-2 мм. Сила тока дуги $I = 100$ А. Из-за отсутствия возможности наплавки на переменном токе, она производилась на постоянном токе. При применении дуги косвенного действия подключение электродов к (-) или (+) влияет на скорость расплавления электродов. Так электрод, к которому подключен плюс источника расплавлялся быстрее, чем второй электрод. В ходе проведения замеров после наплавки длина огарков составила 110 мм при подключении к плюсу и 130 мм при подключении к минусу. В ходе проведения наплавки была получена проба (рис. 3.12). Длина пробы 31 мм, а ширина около 12 мм.



Рисунок 3.12 – Наплавленная проба

Качество наплавки данным способом напрямую зависит от квалификации сварщика, так как расплавлять электроды следует короткой дугой, при незначительном удлинении дуги она гаснет. Повторное зажигание дуги затруднительно из-за оплавления торцов электродов.

Полученная проба была зачищена шлифованием до металлического блеска. В отдельных случаях пробы малых размеров целесообразнее плющить при помощи прессовых машин.

Результат рентгенофлуоресцентного анализа указан в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Химический состав наплавленного косвенной дугой металла

Элемент	C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P	Ca	Cu
Содержание , %	-----	0,708	-----	1,101	0,445	0,036	-----	0,534	0,324
Среднее по стандарту	0,08	0,7	0,275	1,0	0,55	0,025	-----	-----	-----

Продолжение таблицы 3.8

Элемент	Ni	Fe
Содержание, %	0,082	96,77
Среднее по стандарту	-----	-----

Определить C, P, Si в малых количествах на рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-8000 без дополнительного оборудования невозможно [28].

Также сравнив таблицы (3.7) и (3.8) видно, что в ходе анализа был зафиксирован ряд элементов, которые не заявлены изготовителем. Си мог попасть в наплавку с медной пластины. Остальные элементы могли попасть в наплавку из-за плохой защиты от атмосферы, плохо очищенную медную пластину или в ходе подготовки пробы к проведению анализа.

К сожалению, на исследуемые электроды не имелось сертификата на состав от производителя. Тем не менее из табл.3.9 видно, что полученные значения по трем элементам находятся близко к средним значениям, задаваемым стандартом. Это свидетельствует в пользу того, что исследованный метод получения проб наплавкой дугой косвенного действия является весьма перспективным.

Также согласно ГОСТ 9466-75 были произведены 3 наплавки: в один, два и пять слоев. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа наплавленного металла указаны в табл. 3.10.

Таблица 3.9 – Химический состав шва

Элемент	Наплавка в 1 слой, %	Наплавка в 2 слоя, %	Наплавка в 5 слоев, %
Fe	96,909	97,108	97,088
Cr	0.836	0.985	1.030
	0,8- 1,0		
	+17,8 %		+4,6%

Продолжение таблицы 3.9

Mn	0.642	0.755	0.792
	0,5-0,7		
	+17,6%		+4,9%
Ca	0.656	0.316	0.394
	-51,8%		+19,8
Mo	0.351	0.417	0.430
	0,4-0,55		
	+18,8%		+3,1%
Cu	0.252	0.244	0.237
	-3,2%		+2,9
Ni	0.096	-----	-----
S	0.017	0.276	0.03
Si	0.242	-----	-----
C	-----	-----	-----

Наиболее важными элементами для данных электродов, обеспечивающими теплоустойчивость сварных швов, являются хром и молибден.

Можно отметить, что содержание всех элементов, которое определялось во всех наплавках, изменяется с увеличением слоев. В таблице приведен анализ такого изменения в процентах. Двухслойной наплавки по отношению к однослойной и пятислойной по отношению к двухслойной. Интересно, что для хрома, молибдена и марганца изменение процентного соотношения в шве совпадает с высокой точностью. Изменение состава в пятислойной наплавке по отношению к двухслойной в 6-7 раз меньше, чем в двухслойной по отношению к однослойной. Каждая из наплавки показывает, что ее содержание укладывается в диапазон допустимого изменения, задаваемого стандартом.

Проанализируем состав табл. 3.7 по каждому из основных элементов. В табл. 3.7. приведены данные по минимальному и среднему содержанию элементов.

Хром. Во всех трех швах действительное содержание превышает минимальное, задаваемое стандартом. Наплавка в 5 слоев практически совпадает со средним значением стандарта.

Марганец. Во всех трех швах действительное содержание превышает минимальное, задаваемое стандартом. Наплавки в 2 и 5 слоев превышает среднее значение стандарта.

Молибден. Единственный из трех элементов, для которого значение в однослойной наплавке меньше минимума, задаваемого стандартом. Значения в 2-х и 5 – слойной наплавках превышают минимум, но находятся ниже среднего значения.

Отсюда можно сделать вывод, что химический состав наплавленного металла спектральным методом вполне можно определять по двухслойной наплавке. При этом однозначно определится соответствие требованиям стандарта или сертификата по основным легирующим элементам.

Наплавка же с помощью дуги косвенного действия обеспечивает более точное значение содержания элементов в наплавленном металле, чем в 5-слойной наплавке.

Также наплавка дугой косвенного действия производилась в медную форму (рис. 3.13). Форма использовалась с целью получения проб определенных размеров, что должно обеспечить возможность проведения химического анализа на любом из спектрометров. Поэтому дно формы равно 30 мм в диаметре. Толщина стенки равна 2 мм.

В ходе проведения наплавки, стенки формы расплавились (рис. 3.14) и перемешались с наплавленным металлом. Получить химический состав расплавленного электродного металла невозможно.



Рисунок 3.13 – Медная форма



Рисунок 3.14 – Наплавка косвенной дугой в медную форму

В целом результаты работы следует расценить как положительные. При проведении дополнительных исследований способ наплавки дугой косвенного действия на медную пластину может стать основой стандарта на получение проб наплавленного металла.

В ходе проведенного исследования были опробованы возможные варианты получения проб при наплавки дугой косвенного действия. Выявлены их преимущества и недостатки.

К преимуществам можно отнести:

- Снижение трудоемкости на изготовление пробы.
- Снижение расходов на электроэнергию и сварочные материалы.
- Повышение производительности аттестации покрытых электродов.

К недостаткам отнесем:

- Получение не полного перечня химических элементов из-за отсутствия дополнительного оборудования.
- Не стабильное горение дуги, в том числе возможные обрывы дуги в ходе наплавления пробы.
- Включение в наплавленный металл химических элементов, данные о которых отсутствуют в документации на электроды.

4 Технология наплавки дугой косвенного действия на медную пластину

4.1 Описание технологического процесса

Наплавку следует проводить после обязательной прокалки электродов. Прокалка проводится в электропечи ЭСПЭ 40/400-01М (рис. 4.1) в диапазоне температур 360 – 400 °С в течении одного часа согласно паспорту. Для прокалки была выбрана температура 370 °С.



Рисунок 4.1 – Прокалка электродов в печи.

Подготовку к наплавке можно разделить на два этапа. Первый – это подключение второго электродного держателя, для проведения наплавки дугой косвенного действия. Второй – это очистка медной пластины (рис. 4.2) от загрязнений, для этого используется щетка с металлическим ворсом.



Рисунок 4.2 – Медная пластина

Наплавка проводится на сварочном инверторе ФОРСАЖ – 315 АД. Для наплавки берется два электрода марки ТМЛ – 1У диаметра 3 мм, диаметр должен одинаковым у обоих электродов. Для упрощения возбуждения дуги нужно зачистить концы электродов от обмазки на 1 – 2 мм. Желательно возбуждать дугу не сразу в зоне наплавки, а на дополнительной стальной пластине и потом переходить к наплавке на медной пластине. Наплавку следует проводить непрерывно, для формирования однородности пробы. Для последующего определения химического состава наплавленного металла при помощи спектрального анализа, размер пробы должен быть не менее 10 мм в ширину и 30 мм в длину.

После наплавки следует провести шлифования по нескольким причинам. Во-первых, для удаления шлака с поверхности пробы. Во-вторых, для последующего проведения спектрального анализа нужно зачистить пробу до металлического блеска. Шлифование проводится с помощью угловой шлифовальной машиной Makita 9558HN. Для шлифования проба фиксируется в тисках.

В конце нужно провести визуальный контроль. В наплавленном образце не должно быть пор и сквозных отверстий (рис. 4.3), так как из-за них провести спектральный анализ будет невозможно.



Рисунок 4.3 – Образец со множеством пор и сквозных отверстий.

В ходе проведения данной наплавки была получена проба длиной 31 мм и шириной 12 мм, что позволяет провести спектральный анализ наплавленного металла.

4.2 Оборудование

В качестве сварочного аппарата используется многофункциональный сварочный инвертор ФОРСАЖ – 315 АД (рис. 4.4). Данный аппарат предназначен для ручной электродуговой сварки штучными электродами диаметром 1,6 – 5,0 мм., а также для аргонодуговой сварки на постоянном токе [34].

РДСПЭ выполняется на постоянном токе, регулируемым в пределах от 20 до 315 А. Регулируемый импульсный режим облегчает осуществление сварки в различных пространственных положениях и сварку деталей малой толщины [34].



Рисунок 4.4 – Многофункциональный сварочный инвертор
ФОРСАЖ – 315 АД.

«Технические характеристики:

- Типы сварки: ручная дуговая сварка (ММА), аргонодуговая сварка (TIG);
- Сварочный ток (ММА): 20-315 А;
- Сварочный ток (TIG): 10-315 А;
- Количество фаз питания: 3;
- Напряжение холостого хода: 100 В;
- Тип выходного тока: постоянный;
- Мощность: 17 кВт·А;
- Продолжительность включения при максимальном токе: 60 %;
- Макс. сварочный ток при непрерывной работе: 250 А;
- Диаметр электрода: 1.60-5 мм;
- Температурный диапазон работы: от -20 до 40 °С;
- Габариты, ДхШхВ: 425х185х355 мм;
- Масса: 14 кг» [34].

Электрод печь Новэл ЭПСЭ 40/400-01М (рис. 4.1). Данная модель оборудована электронным блоком управления с цифровой индикацией, что позволяет контролировать текущую температуру и оставшееся время прокали [35].

«Технические характеристики:

- Напряжение, В: 220;
- Мощность, кВт/час: 3;
- Масса загр. электродов, кг: 40;
- Мах рабочая t, С: 400;
- Размеры, мм: 700х680х470;
- Масса, кг: 45.0» [35].

Угловая шлифовальная машина Makita 9558 HN (рис. 4.5) для выполнения отрезных и шлифовальных работ по металлу и камню. Оснащен двигателем мощностью 840 Вт, обеспечивающим надежную и длительную работу инструмента [36].



Рисунок 4.5 – Угловая шлифовальная машина Makita 9558 HN

«Технические характеристики:

- Частота холостого хода: 11000 об./мин.;
- Мощность: 840 Вт;
- Диаметр диска: 125 мм;
- Вес: 1,6 кг» [36].

«Электрододержатель ESAB CONFORT 200

Технические характеристики:

Сварочный ток: до 200А;

Процент нагрузки: 30%;

Диаметр электродов: от 2 до 4 мм» [37].

К вспомогательным инструментам следует отнести молоток, щетку с металлической щетиной и приспособление для фиксации.

К расходным материалам можно отнести сварочные покрытые электроды ТМЛ-1У диаметром 3 мм и лепестковый абразивный круг диаметром 125 мм.

5 Безопасность и экологичность технологии наплавки

Основной целью данного раздела является выявление основных опасных факторов и рисков в ходе проведения наплавки дугой косвенного действия покрытыми электродами. Также в разделе будут рассмотрены мероприятия по снижению опасных факторов и по соблюдении мер безопасности.

5.1 Планировка участка

Наплавка покрытыми электродами проводится на стационарном сварочном poste, который оборудуется всеми инструментами, устройствами и материалами, которые могут понадобиться в ходе сварки. Сварочный пост оборудуется аппаратом для сварки, который включает в себя источник питания, аппаратуру для пуска, провода и держатели электродов. Также важным является наличие вытяжки на сварочном посту, которая отводит пары аэрозолей, образующиеся за счет расплавления покрытий, из рабочей зоны сварщика.

5.2 Технологический процесс

Технологический процесс предложенный в выпускной квалификационной работе, имеет следующий вид. В начале прокаливаются электроды согласно сопутствующей документации. Затем проводят очистку медной пластины от возможных загрязнений и подключают дополнительный держатель электродов. Потом проводят наплавку косвенной дугой при минимальной длине дуги. После это наплавленному металлу дают остыть в течении 10 минут, после чего отчищают наплавку от шлака и зачищают до плоского состояния и металлического блеска. В заключении наплавку проверяют на отсутствие пор и сквозных отверстий.

5.3 Анализ опасных и вредных факторов

Опасные и вредные производственные факторы в процессе наплавки дугой косвенного действия могут оказывать вредное влияние на здоровье сварщика, а также привести к травмам. К опасным и вредным факторам

можно отнести высокое напряжение, высокую температуру, разбрызгивание электродного металла, наличие вредных паров, наличие движущихся деталей и т.д.

Подробно опасные и вредные факторы рассмотрим на следующих технологических операциях:

- Прокалка
- Наплавка
- Зачистка

Таблица 5.1 – Анализ опасных и вредных факторов

№ п/п	Операции	Источник опасности	Факторы
1	Прокалка электродов	Электропечь ЭСПЭ 40/400-01М [35]	Высокая температура
2	Наплавка дугой косвенного действия	Сварочный инвертор ФОРСАЖ – 301[34] Электроды ТМЛ-1У	Высокая температура наплавленного металла, высокое напряжение, повышенное инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, брызги расплавленного металла, высокая концентрация пыли и сварочных аэрозолей

Продолжение таблицы 5.1

3	Зачистка поверхности	Наплавленный металл Угловая шлифовальная машинка Makita 9558 HN [36]	искры от шлифовальной машинки, крутящейся диск шлифовальной машинки
---	----------------------	--	---

5.4 Мероприятия по снижению влияния

Анализ методов снижения влияния опасных факторов отображены в табл. 5.2

Таблица 5.2 – Анализ методов снижения влияния опасных факторов

№ п/п	Операции	Факторы	Мероприятия
1	Прокалка электродов	Высокая температура	Инструктаж, рукавицы
2	Наплавка дугой косвенного действия	1) Высокая температура поверхностей 2) Высокое напряжение 3) Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение 4) Брызги расплавленного металла 5) Высокая концентрация пыли и сварочных аэрозолей	1) Спецодежда, перчатки 2) Заземление, изоляция 3) Маска сварщика, спецодежда 4) Спецодежда 5) Вентиляция, респираторы
3	Зачистка поверхности	Искры от шлифовальной машинки Крутящиеся диск УШМ	Инструктаж, спецодежда, защитные очки

Также необходимо проведение регулярных инструктажей по технике безопасности на производстве. Основные рекомендации и требования отображены в ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности», а также в ПОТ Р М-020-2001 «Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах».

Заключение по разделу безопасности и экологичности

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы были выявлены вредные и опасные факторы, присутствующие на производстве, которые могут нести опасность жизни и здоровью рабочих.

Выполнен анализ возможности устранения опасных факторов или снижения их влияния. В результате были выбраны мероприятия, которые помогут повысить безопасность при наплавки дугой косвенного действия.

Благодаря данным мероприятиям, при условии соблюдения рабочими правил техники безопасности и технологического процесса, можно исключить риск получения травм и снизить влияние вредных веществ на организм.

6 Оценка экономической эффективности

6.1 Исходные данные для проведения экономического расчета

В выпускной квалификационной работе представлен разработанный технологический процесс осуществления наплавки дугой косвенного действия. Данные технологические мероприятия позволят повысить производительность труда и снизить расходы на электроэнергию и сварочные материалы. Осуществление базовой технологии многослойной наплавки приводит к значительным расходам как сварочных материалов, так и электроэнергии. Также из-за необходимости наплавки не меньше 8 слоев и остывания каждого слоя до комнатной температуры возрастает трудоемкость данного процесса. В проектом варианте предложено осуществлять наплавку дугой косвенного действия в один слой. Применение дуги косвенного действия позволит снизить долю участия основного металла в наплавленном металле до минимального значения и определение химического состава будет возможно из одного наплавленного слоя. Замена базовой технологии на проектную позволит получить снижение трудоемкости наплавки, а также снижение затрат на электроэнергию и сварочные материалы.

Таблица 6.1 – Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектный вариант
Наплавка покрытыми электродами. Наплавка осуществляется штучными электродами на пластину из металла марки Ст3сп. Согласно ГОСТу 9466-75 на пластину размером 120×80×20 мм (с предельным отклонением длины и ширины ±5 мм, толщины ±2 мм) наплавляется 8 слоёв, площадь наплавки - не менее 80×40 мм. После наплавления каждого слоя металл нужно остужать до комнатной температуры.	Наплавка осуществляется на медную пластину дугой косвенного действия; Минимальный размер наплавки должен быть 30x10 мм; Наплавка выполняется в один слой.

Таблица 6.2 – Исходные данные

№	Наименование показателей	Базовый вариант	Проектный вариант
1	Норма расхода основного металла на изделие, кг	1,5 кг.	1,7 кг.
2	Цена основного металла - Сталь марки Ст3сп, руб./кг - Медь марки М1, руб./кг	58,03 руб. -----	----- 517 руб.
3	Цена электродов ТМЛ-1У, руб./кг	206 руб.	206 руб.
4	Цена оборудования, руб: - Инвертор сварочный ФОРСАЖ-301 - Машина угловая шлифовальная Makita 9558HN - Электродпечь ЭПСЭ 40/400-01М - Электрододержатель ESAB CONFORT 200	43500 руб. 5810 руб. 15800 руб. 501 руб.	43500 руб. 5810 руб. 15800 руб. 1002 руб.
5	Цена на инструмент: - металлическая щетка и молоток	500 руб.	500 руб.
6	Цена на приспособление для фиксации сварочной конструкции:	950 руб.	950 руб.
7	Сила сварочного тока, А.	100 А	100 А
8	Напряжение на дуге, В	24 В	24 В
9	Коэффициент полезного действия сварочного оборудования	0,6	0,6
10	Коэффициент наплавки, г/А·ч.	10 г/А·ч.	10 г/А·ч.
11	Длина сварочного валика, м.	0,48 м.	0,1 м.
12	Годовая производственная программа выпуска изделий, шт	1000 шт.	1000 шт.
13	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	1,12	1,12
14	Коэффициент расхода сварочных материалов на 1 кг наплавленного металла	1,5	1,5
15	Цена за 1 кВт·ч электроэнергии, руб	2,69 руб.	2,69 руб.
16	Производственная площадь, занимаемая оборудованием, м ²	3 м ²	3 м ²
17	Часовая тарифная ставка сварщика руб./ч.	62,5	62,5

6.2 Расчет нормы штучного времени на выполняемые технологические операции

$$t_{шт} = t_{п-з} + t_o + t_v + t_{отл} + t_{обсл.} + t_{н.п.} \quad (6.1)$$

Базовый вариант:

$$t_{шт} = 0,02 + 42,04 + 10,51 + 2,10 + 3,36 + 1 = 59,03 \text{ мин.}$$

Проектный вариант:

$$t_{шт} = 0,0008 + 1,69 + 0,42 + 0,08 + 0,13 + 1 = 3,32 \text{ мин.}$$

«где $t_{п-з}$ – подготовительно – заключительное время, учитывается только в мелкосерийном и единичном производствах $t_{п-з} = 0,05 \%$ от t_o , в остальных типах производства величиной пренебрегают;

$t_o = t_M$ – основное (машинное) время. Для процесса сварки это время работы сварочного оборудования, то есть время горения дуги.

t_v – вспомогательное время $t_v = 5\text{--}25 \%$ от t_o , в зависимости от особенностей технологического процесса;

$t_{отл.}$ – время на отдых и личные надобности $t_{отл.} = 5 \%$ от t_o ;

$t_{обсл.}$ – время обслуживания рабочего места $t_{обсл.} = 8 \%$ от t_o ;

$t_{н.п.}$ – время неустраняемых перерывов, предусмотренных технологическим процессом, определяется по картам технологического процесса» [38].

для ручной сварки и наплавки:

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{напл.мет} \cdot L_v}{I_{св} \cdot \alpha_H} \quad (6.2)$$

Определим $t_{п-з}$, t_o , t_v , $t_{отл.}$, $t_{обсл.}$, $t_{н.п.}$.

Базовый вариант:

$$t_o = \frac{60 \cdot M_{напл.мет} \cdot L_{шт}}{I_{св.} \cdot \alpha_{напл}} = \frac{60 \cdot 1460 \cdot 0,48}{100 \cdot 10} = 42,04 \text{ мин.};$$

$$t_{п-з} = 0,0005 \cdot t_o = 0,0005 \cdot 42,04 = 0,02 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{с}} = 0,25 \cdot t_0 = 0,25 \cdot 42,04 = 10,51 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{отл}} = t_0 \cdot 0,05 = 42,04 \cdot 0,05 = 2,10 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{н.п}} = 1 \text{ мин.}$$

Проектный вариант:

$$t_0 = \frac{60 \cdot M_{\text{напл.мет}} \cdot L_{\text{ш}}}{I_{\text{св.}} \cdot \alpha_{\text{напл}}} = \frac{60 \cdot 283 \cdot 0,1}{100 \cdot 10} = 1,69 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{н-з}} = 0,0005 \cdot t_0 = 0,0005 \cdot 5 = 0,0008 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{с}} = 0,25 \cdot t_0 = 0,25 \cdot 1,69 = 0,42 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{отл}} = t_0 \cdot 0,05 = 1,69 \cdot 0,05 = 0,08 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{обсл}} = 0,08 \cdot t_0 = 0,08 \cdot 1,69 = 0,13 \text{ мин.};$$

$$t_{\text{н.п}} = 1 \text{ мин.}$$

«где: $M_{\text{напл.мет}}$ - масса наплавленного металла в изделии кг, (если нет данных в чертеже или технологической карте, рассчитывается по формуле 6.3);

$L_{\text{в}}$ - длина валиков в наплавке, м;

$I_{\text{св.}}$ - сила сварочного тока, А;

$\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент наплавки» [38].

$$M_{\text{напл.мет.}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} \quad (6.3)$$

Массу наплавленного металла определим по формуле:

Базовый вариант:

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} = 7,85 \cdot 186 \cdot 10^{-3} = 1,460 \text{ кг / м};$$

Проектный вариант:

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{н}} \cdot 10^{-3} = 7,85 \cdot 36 \cdot 10^{-3} = 0,283 \text{ кг / м}.$$

«Где ρ - плотность наплавленного металла, г/см³ (для теплоустойчивых сталей $\rho = 7,85$ г/см³)

F_H - площадь поперечного сечения наплавляемого валика, мм²;

Площадь поперечного сечения шва (наплавляемого валика) рассчитывается по следующим формулам:

Для однопроходных швов: $F_H = (8 \div 12) \cdot d_{эл.}$

Для многопроходных швов: $F_H = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$,

где $F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{эл.}$ – первый проход;

$F_n = (8 \div 12) \cdot d_{эл.}$ – последующие проходы» [38].

Площадь поперечного сечения наплавляемого валика определим по формуле:

Базовый вариант:

$F_H = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$ - для многопроходных швов;

$F_1 = (6 \div 8) \cdot d_{эл.} = 6 \cdot 3 = 18 \text{ мм}^2$ - первый проход;

$F_2 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$ - последующие проходы;

$F_3 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$;

$F_4 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$;

$F_5 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$;

$F_6 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$;

$F_7 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$;

$F_8 = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ мм}^2$.

$F_H = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_8 = 18 + 24 + 24 + 24 + 24 + 24 + 24 + 24 = 186 \text{ мм}^2$;

Проектный вариант:

$$F_H = (8 \div 12) \cdot d_{эл.} = 12 \cdot 3 = 36 \text{ мм}^2 - \text{для однопроводных швов.}$$

6.3 Общие капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{общ.}} = K_{\text{пр.}} \quad (6.4)$$

«где: $K_{\text{пр}}$ – прямые капитальные вложения в оборудование, руб.;

$K_{\text{соп}}$ – сопутствующие капитальные вложения в оборудование, руб.»

[38].

«Прямые капитальные вложения рассчитываем для двух сравниваемых вариантов (базового и проектного) по формуле:

$$K_{\text{пр.}} = n_{\text{об.}} \cdot \Pi_{\text{об.}} \cdot k_3 \quad (6.5)$$

где $n_{\text{об.}}$ - количество единиц оборудования, шт.;

$\Pi_{\text{об.}}$ - цена единицы оборудования, руб.;

k_3 - коэффициент загрузки оборудования» [38].

Коэффициент загрузки оборудования рассчитывается по формуле:

$$k_3 = \frac{n_{\text{об.расч}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (6.6)$$

«где $n_{\text{об.расч}}$ - расчетное количество единиц оборудования;

$n_{\text{об.прин}}$ - принятое количество единиц оборудования» [38].

$$n_{\text{об.расч}} = \frac{N_{\Gamma} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (6.7)$$

«где N_{Γ} – годовая производственная программа выпуска изделий, шт. (берется по данным предприятия или задается руководителем дипломного проекта)» [38].

$\Phi_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{\text{эф.}} = (D_{\text{раб.}} \cdot T_{\text{см.}} - D_{\text{пред.}} \cdot T_{\text{сокр.}}) \cdot S \cdot (1 - k_{\text{р.п.}}) \quad (6.8)$$

«где $D_{\text{раб.}}$ - количество рабочих дней в году (250);

$D_{\text{пред.}}$ - количество предпраздничных дней в году (8);

$T_{\text{см.}}$ - продолжительность рабочей смены, час (8);

$T_{\text{сокр.}}$ - сокращенная рабочая смена ($T_{\text{см.}} - 1$), час;

S - количество рабочих смен (2);

$k_{\text{р.п.}}$ - коэффициент потерь времени работы оборудования на ремонт и переналадку, принимаем = 0,06» [38].

Рассчитаем эффективный фонд времени работы оборудования по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = (250 \cdot 8 - 8 \cdot 7) \cdot 2 \cdot (1 - 0,06) = 3654 \text{ ч.}$$

По формуле (6.7) рассчитаем расчетное количество единиц оборудования:

Базовый вариант:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1000 \cdot 59,03}{3654 \cdot 60} = 0,26;$$

Проектный вариант:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{1000 \cdot 3,32}{3654 \cdot 60} = 0,01.$$

«Округляя $n_{\text{об.расч}}$ до ближайшего большего целого числа, получаем

$n_{\text{об.прин}}$, т.е. целое число единиц оборудования» [38].

По формуле (6.6) рассчитаем коэффициент загрузки оборудования:

Базовый вариант:

$$k_3 = \frac{0,26}{1} = 0,26;$$

Проектный вариант:

$$k_3 = \frac{0,01}{1} = 0,01.$$

По формуле (6.5) рассчитаем прямые капитальные вложения:

Базовый вариант:

$$K_{\text{пр}} = 65611 \cdot 0,26 = 17058,86 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$K_{\text{пр}} = 66112 \cdot 0,01 = 666,12 \text{ руб.}$$

$K_{\text{общ.}} = K_{\text{пр.}}$ - так как сварочные работы проходят на одном и том же оборудовании.

Базовый вариант:

$$K_{\text{общ.}} = 17058,86 \text{ руб.}$$

Проектный вариант:

$$K_{\text{общ.}} = 661,12 \text{ руб.}$$

«Удельные капитальные вложения в оборудование (капитальные вложения на одно изделие) рассчитываются для двух сравниваемых вариантов» [38]:

$$K_{\text{уд.}}^{\text{баз.}} = \frac{K_{\text{общ.}}^{\text{баз.}}}{N_{\Gamma}} \quad (6.9)$$

$$K_{\text{уд.}}^{\text{пр.}} = \frac{K_{\text{общ.}}^{\text{пр.}}}{N_{\Gamma}} \quad (6.10)$$

По формулам (6.9) и (6.10) рассчитываем удельное капитальное вложение в оборудование на одно изделие:

Базовый вариант:

$$K_{\text{уд}} = \frac{17058,86}{1000} = 17,05 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$K_{\text{уд}} = \frac{661,12}{1000} = 0,66 \text{ руб.}$$

6.4 Затраты на материалы

«Затраты на материалы (ЗМ), необходимые для изготовления сварной конструкции рассчитываются по формуле» [38]:

$$ЗМ = ЗМ_{осн.} + ЗМ_{св.} \quad (6.11)$$

«где $ЗМ_{осн.}$ - затраты на основной металл, руб.» [38];

Затраты на основной металл рассчитываются по формуле:

$$ЗМ_{осн.} = H_M \cdot Ц_M \cdot k_{т.з.} \quad (6.12)$$

«где H_M - норма расхода основного материала на одно изделие, кг.;

$Ц_M$ - цена одного кг основного материала, руб.;

$k_{т.з.}$ - коэффициент транспортно-заготовительных расходов» [38].

По формуле (6.12) рассчитываем затраты на основной металл:

Базовый вариант:

$$ЗМ_{осн} = H_M * Ц_M * k_{т.з.} = 1,5 \cdot 58,03 \cdot 1,12 = 97,49 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$ЗМ_{осн} = H_M * Ц_M * k_{т.з.} = 1,7 \cdot 517 \cdot 1,12 = 984,36 \text{ руб.}$$

« $ЗМ_{св.}$ - затраты на сварочные материалы, руб.» [38].

$$ЗМ_{св.} = З_{эл.} \quad (6.13)$$

«где $З_{эл.}$ – затраты на покрытые электроды для наплавки, руб.» [38].

Затраты на покрытые электроды рассчитываем по формуле:

$$ЗМ_{эл.} = H_{эл.} \cdot Ц_{эл.} \quad (6.14)$$

«где: $H_{эл.}$ – норма расхода электродов на одно изделие, кг;

$Ц_{эл.}$ – цена электродов, руб. за 1 кг» [38].

Норма расхода покрытых электродов на одно изделие рассчитывается по формуле:

$$H_{эл.} = Y \cdot L_B \quad (6.15)$$

«где: Y - удельная норма расхода сварочных материалов по длине шва, кг/м» [38];

$$Y = k_p \cdot M_{напл.мет.} \quad (6.16)$$

«где: k_p - коэффициент расхода сварочных материалов на 1 кг наплавленного металла, учитывающий потери электродного металла при наплавке» [38];

По формуле (6.16) рассчитываем удельную норму расхода сварочных материалов:

Базовый вариант:

$$U = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} = 1,5 \cdot 1,460 = 2,190 \text{ кг / м};$$

Проектный вариант:

$$U = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} = 1,5 \cdot 0,283 = 0,424 \text{ кг / м}.$$

По формуле (6.15) рассчитываем норму расхода покрытых электродов:

Базовый вариант:

$$H_{\text{эл.}} = U \cdot L_{\text{г}} = 2,190 \cdot 0,48 = 1,051 \text{ кг};$$

Проектный вариант:

$$H_{\text{эл.}} = U \cdot L_{\text{г}} = 0,424 \cdot 0,1 = 0,042 \text{ кг}.$$

Рассчитываем затраты на покрытые электроды по формуле (6.14)

Базовый вариант:

$$3M_{\text{эл.}} = H_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}} = 1,051 \cdot 206 = 216,54 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$3M_{\text{эл.}} = H_{\text{эл.}} \cdot C_{\text{эл.}} = 0,042 \cdot 206 = 8,73 \text{ руб.}$$

По формуле (6.11) рассчитываем затраты на материалы:

Базовый вариант:

$$3M = 3M_{\text{осн}} + 3M_{\text{всп}} = 97,49 + 216,54 = 314,03 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$3M = 3M_{\text{осн}} + 3M_{\text{всп}} = 984,36 + 8,73 = 993,09 \text{ руб.}$$

6.5 Затраты на технологическую электроэнергию

«Для дуговой сварки затраты на электроэнергию рассчитывают исходя из полезной мощности оборудования» [38]:

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} \quad (6.17)$$

«где $P_{об}$ - полезная мощность оборудования кВт;

η - коэффициент полезного действия оборудования;

$I_{св}$ - сила сварочного тока, А;

U_d - напряжение на дуге, В;

$Ц_{э-э}$ - цена за 1 кВт·ч электроэнергии» [38].

Рассчитываем полезную мощность оборудования по формуле:

$$P_{об} = I_{св} \cdot U_d \quad (6.18)$$

$$P_{об} = I_{св} \cdot U_d = 100 \cdot 24 = 2400 \text{ Вт} = 2,4 \text{ кВт.}$$

Рассчитываем затраты на электроэнергию по формуле (6.17):

Базовый вариант:

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} = \frac{2,4 \cdot 42,04}{0,6 \cdot 60} \cdot 2,69 = 7,53 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$З_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{\eta \cdot 60} \cdot Ц_{э-э} = \frac{2,4 \cdot 1,69}{0,6 \cdot 60} \cdot 2,69 = 0,30 \text{ руб.}$$

6.6 Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (6.19)$$

«где $A_{об}$ - амортизационные отчисления на оборудование, руб.;

$P_{т.р}$ - затраты на текущий ремонт оборудования, руб.» [38].

Амортизационные отчисления на оборудование:

$$A_{об} = \frac{\Sigma Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} \quad (6.20)$$

«где $Ц_{об}$ - цена единицы технологического оборудования, руб.;

H_a - норма амортизационных отчислений на технологическое оборудование (20%);

$k_{в.н}$ - коэффициент выполнения норм = 1,1» [38].

Рассчитаем амортизационные отчисления на оборудование по формуле (6.20)

Базовый вариант:

$$A_{об.} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{65611 \cdot 20 \cdot 59,03}{3654 \cdot 100 \cdot 1,1} = 231,25 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$A_{об.} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot k_{в.н}} = \frac{66112 \cdot 20 \cdot 3,36}{3654 \cdot 100 \cdot 1,1} = 10,92 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт оборудования рассчитываются по формуле:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} \quad (6.21)$$

«Где $H_{т.р}$. – норма отчислений на текущий ремонт оборудования, (24%)» [38];

По формуле (6.21) рассчитываем затраты на текущий ремонт оборудования:

Базовый вариант:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} = \frac{65611 \cdot 24 \cdot 0,26}{3654 \cdot 100} = 1,12 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$P_{т.р} = \frac{\Sigma \Pi_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} = \frac{66112 \cdot 24 \cdot 0,01}{3654 \cdot 100} = 0,04 \text{ руб.}$$

Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования рассчитаем по формуле (6.19):

Базовый вариант:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 231,25 + 1,12 = 232,37 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} = 10,92 + 0,04 = 10,96 \text{ руб.}$$

6.7 Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений и рабочего инструмента

«Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений как элемента основных фондов предприятия рассчитываем только в том случае, если срок их службы составляет не менее 1 года» [38].

$$З_{присп.} = \frac{Ц_{присп} \cdot N_{а присп} \cdot k_3}{100 \cdot T_{присп} \cdot N_{г}} \quad (6.22)$$

«где: $Ц_{присп}$ - цена используемых сборочно-сварочных приспособлений, руб.;

$N_{а присп.}$ - норма амортизационных отчислений на приспособления, % (12%);

$T_{присп}$ - срок службы приспособлений, лет, (5 лет)» [38].

Рассчитаем затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений:

Базовый вариант:

$$З_{присп} = \frac{Ц_{присп} \cdot N_{а присп} \cdot k_3}{100 \cdot T_{присп} \cdot N_{г}} = \frac{950 \cdot 12 \cdot 0,26}{100 \cdot 5 \cdot 1000} = 0,005 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$З_{присп} = \frac{Ц_{присп} \cdot N_{а присп} \cdot k_3}{100 \cdot T_{присп} \cdot N_{г}} = \frac{950 \cdot 12 \cdot 0,01}{100 \cdot 5 \cdot 1000} = 0,0002 \text{ руб.}$$

«Затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента как элемента основных фондов предприятия рассчитываем только в том случае, если срок его службы составляет не менее 1 года» [38].

$$З_{инстр.} = \frac{Ц_{инстр} \cdot N_{а инстр} \cdot t_{шт}}{100 \cdot T_{инстр} \cdot \Phi_{эф} \cdot 60} \quad (6.23)$$

«где $Ц_{инстр}$ - суммарная цена используемого инструмента, руб.;

$N_{\text{а instr.}}$ - норма амортизационных отчислений на рабочий инструмент, % (15%);

$T_{\text{инстр}}$ - срок службы инструмента, лет (2 года)» [38].

Рассчитаем затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента.

Базовый вариант:

$$Z_{\text{инстр}} = \frac{C_{\text{инстр}} \cdot N_{\text{а instr.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot T_{\text{инстр}} \cdot \Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{500 \cdot 15 \cdot 59,03}{100 \cdot 2 \cdot 3654 \cdot 60} = 0,01 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{инстр}} = \frac{C_{\text{инстр}} \cdot N_{\text{а instr.}} \cdot t_{\text{шт}}}{100 \cdot T_{\text{инстр}} \cdot \Phi_{\text{эф}} \cdot 60} = \frac{500 \cdot 15 \cdot 3,32}{100 \cdot 2 \cdot 3654 \cdot 60} = 0,0005 \text{ руб.}$$

6.8 Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{S_{\text{плоч}} \cdot C_{\text{плоч}} \cdot N_{\text{а плоч}} \cdot k_{\text{д.пл}} \cdot k_z}{100 \cdot N_{\Gamma}} \quad (6.24)$$

«где $S_{\text{плоч}}$ - производственная площадь, занимаемая оборудованием, м^2 ;

$C_{\text{плоч}}$ - цена 1 м^2 занимаемой производственной площади, руб. (4500 руб.);

$N_{\text{а плоч}}$ - норма амортизационных отчислений на производственные площади %, (2%);

$k_{\text{доп.пл.}}$ - коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь (4,5)» [38].

Рассчитаем затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей.

Базовый вариант:

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{3 \cdot 4500 \cdot 3 \cdot 4,5 \cdot 0,26}{100 \cdot 1000} = 0,47 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$Z_{\text{плоч}} = \frac{3 \cdot 4500 \cdot 3 \cdot 4,5 \cdot 0,01}{100 \cdot 1000} = 0,01 \text{ руб.}$$

6.9 Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды

«Фонд заработной платы основных производственных рабочих состоит из основной и дополнительной заработной платы» [38].

$$\Phi ЗП = ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}} \quad (6.25)$$

Основная заработная плата определяется по формуле:

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}} \quad (6.26)$$

«где $C_{\text{ч}}$ - часовая тарифная ставка рабочего, руб./час;

$k_{\text{зпл}}$ - коэффициент начислений на основную заработную плату» [38].

$$k_{\text{зпл}} = k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{в.н}} \cdot k_{\text{у}} \cdot k_{\text{пф}} \cdot k_{\text{н}} \quad (6.27)$$

«где $k_{\text{пр}} = 1,25$ – коэффициент премирования;

$k_{\text{в.н}} = 1,1$ – коэффициент выполнения норм;

$k_{\text{у}} = 1,1$ – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{\text{пф}} = 1,067$ – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{\text{н}} = 1,133$ – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены» [38].

Рассчитаем коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{\text{зпл}} = k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{в.н}} \cdot k_{\text{у}} \cdot k_{\text{пф}} \cdot k_{\text{н}} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,067 \cdot 1,133 = 1,82;$$

По формуле (6.26) рассчитаем основную заработную плату.

Базовый вариант:

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}} = 62,5 \cdot 0,98 \cdot 1,82 = 111,47 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$ЗП_{\text{осн}} = C_{\text{ч}} \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_{\text{зпл}} = 62,5 \cdot 0,05 \cdot 1,82 = 5,68 \text{ руб.}$$

«Дополнительная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле» [38]:

$$ЗП_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{д}}}{100} \cdot ЗП_{\text{осн}} \quad (6.28)$$

«где k_d – коэффициент соотношения между основной и дополнительной заработной платой, % (10%)» [38].

Рассчитаем дополнительную заработную плату.

Базовый вариант:

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_d}{100} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = \frac{10}{100} \cdot 111,47 = 11,14 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$ЗПЛ_{\text{доп}} = \frac{k_d}{100} \cdot ЗПЛ_{\text{осн}} = \frac{10}{100} \cdot 5,68 = 0,56 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы рассчитаем по формуле (6.25).

Базовый вариант:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}} = 111,47 + 11,14 = 122,61 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{\text{осн}} + ЗПЛ_{\text{доп}} = 5,68 + 0,56 = 6,24 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$O_{\text{с.н}} = \frac{H_{\text{соц}} \cdot \Phi ЗП}{100} \quad (6.29)$$

«где $H_{\text{соц}}$ – норма отчислений на социальные нужды, % (36,6%)» [38].

Рассчитаем отчисления на социальные нужды.

Базовый вариант:

$$O_{\text{с.н}} = \frac{H_{\text{соц}} \cdot \Phi ЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 122,61}{100} = 44,87 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$O_{\text{с.н}} = \frac{H_{\text{соц}} \cdot \Phi ЗП}{100} = \frac{36,6 \cdot 6,24}{100} = 2,28 \text{ руб.}$$

6.10 Технологическая себестоимость изготовления изделия

$$C_{\text{тех}} = ЗМ + З_{\text{э-э}} + З_{\text{об}} + З_{\text{плоч}} + \Phi ЗП + O_{\text{с.н}} \quad (6.30)$$

Базовый вариант:

$$C_{\text{тех}} = 314,03 + 7,53 + 232,37 + 0,47 + 112,61 + 44,87 = 711,88 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{тех}} = 993,09 + 0,3 + 10,96 + 0,01 + 6,24 + 2,28 = 1012,18 \text{ руб.}$$

6.11 Цеховая себестоимость изготовления изделия

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} \quad (6.31)$$

«где $P_{\text{цех}}$ - общепроизводственные (цеховые) расходы, руб.» [38];

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн}} \quad (6.32)$$

«где $k_{\text{цех}}$ - коэффициент общепроизводственных расходов, (2,5)» [38].

Базовый вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн.}} = 2,5 \cdot 111,47 = 278,67 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{цех}} = k_{\text{цех}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн.}} = 2,5 \cdot 5,68 = 14,20 \text{ руб.}$$

По формуле (6.31) рассчитаем цеховую себестоимость изготовления изделия.

Базовый вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 711,88 + 278,67 = 990,55 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + P_{\text{цех}} = 1012,18 + 14,20 = 1026,38 \text{ руб.}$$

6.12 Производственная себестоимость

изготовления изделия

$$C_{\text{произв}} = C_{\text{цех}} + P_{\text{произв}} \quad (6.33)$$

«где $P_{\text{произв}}$ - общехозяйственные расходы, руб.» [38];

$$P_{\text{произв.}} = k_{\text{произв}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн}} \quad (6.34)$$

Базовый вариант:

$$P_{\text{произв}} = k_{\text{произв}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 111,47 = 200,64 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$P_{\text{произв}} = k_{\text{произв}} \cdot 3\text{ПЛ}_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 5,68 = 10,22 \text{ руб.}$$

По формуле (6.33) рассчитаем производственную себестоимость изготовления изделия.

Базовый вариант:

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав} = 990,55 + 200,64 = 1191,18 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$C_{зав} = C_{цех} + P_{зав} = 1026,38 + 10,22 = 1036,60 \text{ руб.}$$

6.13 Полная себестоимость изготовления изделия

$$C_{полн} = C_{произв} + P_{вн} \quad (6.35)$$

«где $P_{вн}$ - сумма внепроизводственных расходов, руб.» [38]

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{произв} \quad (6.36)$$

«где $k_{вн}$ - коэффициент внепроизводственных расходов, (0,05)» [38].

Базовый вариант:

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{зав} = 0,05 \cdot 1191,18 = 59,55 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$P_{вн} = k_{вн} \cdot C_{зав} = 0,05 \cdot 1036,60 = 51,83 \text{ руб.}$$

По формуле (6.35) рассчитаем полную себестоимость изготовления изделия.

Базовый вариант:

$$C_{полн} = C_{зав} + P_{вн} = 1191,18 + 59,55 = 1250,73 \text{ руб.};$$

Проектный вариант:

$$C_{полн} = C_{зав} + P_{вн} = 1036,60 + 51,83 = 1088,43 \text{ руб.}$$

6.14 Составление калькуляции себестоимости изделия

$$\Delta C_{полн} = \frac{C_{полн}^{баз} - C_{полн}^{пр}}{C_{полн}^{баз}} \cdot 100\% \quad (6.37)$$

«где $C_{полн}^{баз}$ - полная себестоимость изделия по базовому варианту, руб.;

$C_{полн}^{пр}$ - полная себестоимость изделия по проектному варианту, руб.» [38]

«На основании произведенных расчетов составляем калькуляцию себестоимости изготовления рассматриваемого изделия и определяем снижение его себестоимости по формуле» [38]:

$$\Delta C_{\text{полн}} = \frac{C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}}}{C_{\text{полн}}^{\text{баз}}} \cdot 100\% = \frac{1250,73 - 1088,43}{1250,73} \cdot 100\% = 12,97\%$$

Таблица 6.3 – Калькуляция себестоимости изготовления наплавки.

Статьи затрат	Условные обозначения	Базовый вариант	Проектный вариант
1. Затраты на материалы	ЗМ	314,03 руб.	993,09 руб.
2. Затраты на электрическую энергию	З _{э-э}	7,53 руб.	0,30 руб.
3. Затраты на содержание и эксплуатацию технологического оборудования	З _{об}	232,37 руб.	10,96 руб.
4. Затраты на содержание и эксплуатацию сборочно-сварочных приспособлений	З _{присп}	0,05 руб.	0,0002 руб.
5. Затраты на содержание и эксплуатацию рабочего инструмента	З _{инстр}	0,01 руб.	0,0005 руб.
6. Затраты на содержание и эксплуатацию производственных площадей	З _{площ}	0,47 руб.	0,01 руб.
7. Затраты на заработную плату основных производственных рабочих (ФЗП)	ФЗП	122,61 руб.	6,24 руб.
8. Отчисления на социальные нужды	О _{с.н}	44,87 руб.	2,28 руб.
Технологическая себестоимость	С _{тех}	711,88 руб.	1012,18 руб.
Общепроизводственные (цеховые) расходы	Р _{цех}	278,67 руб.	14,20 руб.
Цеховая себестоимость	С _{цех}	990,55 руб.	1026,38 руб.
Общехозяйственные (общезаводские) расходы	Р _{произв}	200,64 руб.	10,22 руб.
Производственная себестоимость	С _{произв}	1191,18 руб.	1036,60 руб.
Внепроизводственные расходы	Р _{вн}	59,55 руб.	51,83 руб.
Полная себестоимость	С _{полн}	1250,73 руб.	1088,43 руб.

6.15 Годовой экономический эффект

от внедрения нового технологического процесса

$$\Theta_{\Gamma} = \left[\left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{баз}} \right) - \left(C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр.}} \right) \right] \cdot N_{\Gamma} \quad (6.38)$$

«где $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности. В сварочном производстве $E_{\text{н}} = 0,33$ » [38];

В проектном варианте, берется одна медная пластина на изготовление всех наплавов. В этом случае представим формулу (6.38) в следующем виде:

$$\Theta_{\Gamma} = \left[\left(\left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{баз}} \right) \cdot N_{\Gamma} \right) - \left(\left(C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} - 3M_{\text{осн}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр.}} \right) \cdot (N_{\Gamma} - 1) \right) - \left(\left(C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр.}} \right) \cdot 1 \right) \right]$$

$$\Theta_{\Gamma} = [((1250,73 + 0,33 \cdot 17,05) \cdot 1000) - ((1088,43 - 984,36 + 0,33 \cdot 0,66) \cdot 999) - ((1088,43 + 0,33 \cdot 0,66) \cdot 1)] = 1151092,34 \text{ руб.}$$

6.16 Расчет ожидаемой прибыли от снижения себестоимости изготовления продукции

«Ожидаемая прибыль от снижения себестоимости продукции (условно-годовая экономия) рассчитывается по формуле» [38]:

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = \Theta_{\text{у.г}} = \left(C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} \right) \cdot N_{\Gamma} \quad (6.39)$$

Так как в проектном варианте на изготовление наплавов используется одна медная пластина, представим формулу (6.39) в следующем виде:

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = \Theta_{\text{у.г}} = C_{\text{полн}}^{\text{баз}} \cdot N_{\Gamma} - C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} \cdot 1 - \left(\left(C_{\text{полн}}^{\text{пр.}} - 3M_{\text{осн}} \right) \cdot (N_{\Gamma} - 1) \right)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \Theta_{\text{у.г.}} = 1250,64 \cdot 1000 - 1088,43 \cdot 1 - 104,07 \cdot 999 = 1145675,64 \text{ руб.}$$

6.17 Расчет снижения трудоемкости и повышения производительности труда в проектном варианте изготовления изделия

Расчет производим по формуле:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{шт}^{баз} - t_{шт}^{пр}}{t_{шт}^{баз}} \cdot 100\% \quad (6.40)$$

«где $t_{шт}^{баз}$ – штучное время изготовления изделия по базовому варианту, мин;
 $t_{шт}^{пр}$ – штучное время изготовления изделия по проектному варианту, мин.»
 [38]

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{шт}^{баз} - t_{шт}^{проектн}}{t_{шт}^{баз}} \cdot 100 = \frac{59,03 - 3,32}{59,03} \cdot 100 = 94,37\%.$$

«Исходя из значения величины снижения трудоемкости изготовления изделия, рассчитываем повышение производительности труда ($\Delta ПТ$)» [38]:

$$\Delta ПТ = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (6.41)$$

$$\Delta ПТ = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} = \frac{100 \cdot 94,37}{100 - 94,37} = 1676,19\%$$

Вывод по экономическому разделу

В экономическом разделе выпускной работе произведены расчеты с целью определения повышения производительности и снижения трудоемкости, а также снижение расхода на сварочные материалы и затрат электроэнергию.

Определенно, что в ходе внедрения проектной наплавки позволяет снизить расход сварочных материалов на 1,009 кг при изготовлении одной наплавки. Также снизить затраты на электроэнергию до 0,30 рублей в ходе изготовления одной наплавки.

Снижение трудоемкости проектного варианта в сравнении с базовым составляет 94,37%. При этом производительность проектного варианта возрастает до 1679,19%. Годовой экономический эффект составит 1151092,34 рублей.

На основании всего выше перечисленного, можно утверждать, что наплавка дугой косвенного действия обладает экономической эффективностью.

Заключение

Цель данной выпускной квалификационной работы заключается в исследовании возможности получения проб для анализа химического состава наплавленного металла, дугой косвенного действия. Данный метод может сократить затраты на сварочные материалы в процессе получения проб, а также снизить трудоемкость и энергоемкость работы.

В ходе проведенного исследования были опробованы следующие варианты получения проб:

- Наплавка на алюминиевую пластину дугой косвенного действия;
- Наплавка на графитовую колодку;
- Наплавка на медную пластину;
- Наплавка в медную форму.

Были выявлены их преимущества и недостатки наплавки дугой косвенного действия.

К преимуществам можно отнести:

- Снижение трудоемкости на изготовление пробы.
- Снижение расходов на электроэнергию и сварочные материалы.
- Повышение производительности аттестации покрытых электродов.

К недостаткам отнесем:

- Получение не полного перечня химических элементов из-за отсутствия дополнительного оборудования.
- Не стабильное горение дуги, в том числе возможные обрывы дуги в ходе наплавления пробы.
- Включение в наплавленный металл химических элементов, данные о которых отсутствуют в документации на электроды.

Наиболее перспективным является способ наплавки дугой косвенного действия на медную пластину. При проведении дополнительных исследований данного способа может стать основой стандарта на получение

проб наплавленного металла. Был предложен технологический процесс наплавки дугой косвенного действия.

На основе предложенного технологического процесса наплавки дугой косвенного действия, были определены вредоносные факторы. Был предложен ряд мероприятий, которые позволят снизить влияние вредных веществ на организм.

В ходе оценки экономической эффективности, было выявлено, что при внедрении проектного варианта трудоемкость снизится на 94,37%, а производительность возрастет до 1679,19%. Также расход сварочных материалов снизится на 1,009 кг, а затраты на электроэнергию, в проектном варианте, составит 0,30 рублей.

Вышесказанное свидетельствует, что цель данной выпускной квалификационной работы была достигнута.

Список используемой литературы

1. Смирнов, И. В. Реализация национальной системы аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства в Средневолжском регионе / И.В. Смирнов, В.П. Сидоров, В.А. Печенкина // В сб. Сварка XXI век – «Теория и методика, повышение качества профессионального образования и аттестация специалистов сварочного производства». Труды Всероссийской конференции. Тольятти: ТГУ. 2002 – С.94-98.???
2. Технология и оборудования сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков и др./ Под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с. ил.
3. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки и наплавки. Классификация и общие требования. Росстандарт. М.: 1992.
4. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые для ручной сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. - 6 с.
5. ГОСТ 10051-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы. М.: Издательство стандартов, 1993. - 12 с.
6. ГОСТ 10052-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы. М.: Издательство стандартов, 1993. - 12 с.
7. ГОСТ 29273-92. Свариваемость. Определение. М.: Издательство стандартов, 1992. – 2 с.
8. ГОСТ 2246-70. Проволока стальная сварочная. Технические условия. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 1973. – 17 с.
9. Сварка в судостроении / З. Б. Дрейзеншток. - Л. : Судостроение, 1983. - 189 с. : ил

10. Электродные покрытия [Электронный ресурс]: <http://osvarke.info/50-yelektrodnye-pokrytiya.html> (Дата обращения 10.05.2018)
11. Порядок применения сварочных материалов при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств опасных производственных объектов. РД 03-613-03. М.: ПИО ОБТ, 2003.
12. ГОСТ 380-2005, Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки [Текст] / ГОСТ 380-2005М.: Стандартиформ. 2009.- 8 с
13. ISO 6847-2000. Welding consumables — Deposition of a weld metal pad for chemical analysis. [Электронный ресурс]: <http://allaboutmetallurgy.com/wp/wp-content/uploads/2016/12/ISO-6847.pdf> (Дата обращения 24.05.2018)
14. Стеклов О.И. Основы сварочного производства: Учеб. Пособие для техн. училищ. М.: Высш. школа, 1981. – 160 с.
15. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1 / Под ред. Н.А. Ольшанского. 1978. 504 с., ил.
16. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1978 – Т.2 / Под ред. А.И. Акулова. 1978. 462 с., ил.
17. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. М.: Металлургиздат, 1961. 422 с.
18. Сидоров В.П. Теория и технология сварочных процессов: сборник задач для студентов специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства» Тольятти: Изд-во ТГУ, 2009.Изд. 2-е исправл. - 228 с.
19. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / М. Машиностроение,1973.- 448с.
20. Сидоров, В.П. Влияние рода и полярности тока на плавление электродного и основного металла при сварке под флюсом / В.П. Сидоров // Сварка и диагностика. 2013.- № 3.- С. 20-23.

21. Способ определения скорости расплавления покрытого электрода /В.П. Сидоров, В.А. Федякин // Патент РФ на изобретение № 2582170 от 19.11.2014.
22. Способ дуговой сварки штучными покрытыми электродами / В.П. Сидоров, С.В. Абрамова // Заявка РФ на изобретение № 201/20/(000477) от 11.01.2016 г.
23. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга – М.: Машиностроение, 1977. – 335 с.
24. Абрамова С.В. Исследование скорости расплавления электродов / С.В. Абрамова // Магистерская диссертация. Тольятти, ТГУ. - 2016.- 114 с.
25. Оптико-эмиссионный спектральный анализ металлов [Электронный ресурс]: <https://studfiles.net/preview/4001631> (Дата обращения 29.05.2018)
26. PMI – MASTER SMART [Электронный ресурс]: <http://analyzator.ru/file/device/pmi-master-uvp-pro.pdf> (Дата обращения 29.05.2018)
27. Q4 TASMAN [Электронный ресурс]: <https://www.melytec.ru/production/analysis/opt-emis-spect/detail/q4tasman> (Дата обращения 29.05.2018)
28. Рентгенофлуоресцентный спектрометр EDX-8000 [Электронный ресурс]: https://www.shimadzu.ru/sites/default/files/edx-7000-8000-c142e037a_rus.pdf (Дата обращения 29.05.2018)
29. Рентгенофлуоресцентный анализатор X-MET 5000 [Электронный ресурс]: http://xrs-ndt.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=41&Itemid=164 (Дата обращения 29.05.2018)
30. Ивин К.В., Трофимов А.Н., Энгельс Г.Г. Токосъем городского наземного транспорта. - М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. — 262 с.
31. Электроды для сварки КРАТОН J422 [Электронный ресурс]: <http://www.220-volt.ru/catalog-486283> (Дата обращения 8.10.2017)

32. Электроды для сварки ЦЛ – 11 [Электронный ресурс]: http://www.welding.su/catalog/electrode/electrody_162.html (Дата обращения 10.03.2017)
33. Электроды для сварки ТМЛ – 1У [Электронный ресурс]: http://www.welding.su/catalog/electrode/electrody_75.html (Дата обращения 14.04.2018)
34. ФОРСАЖ 315АД [Электронный ресурс]: <http://grpz.ru/production/civil/welding/item/svarochnyi-invertor-tig-mma-Forsag-315AD> (Дата обращения 29.05.2018)
35. Новэл ЭПСЭ 40/400-01М [Электронный ресурс]: <http://www.zaonovel.ru/shop/63/desc/ehlektropechi-ehpseh-40-400-01m> (Дата обращения 29.05.2018)
36. УШМ Makita 9558 HN [Электронный ресурс]: <http://www.220-volt.ru/catalog-20469/#ui-tabs-description> (Дата обращения 29.05.2018)
37. ESAB CONFORT 200 [Электронный ресурс]: <https://www.kuvalda.ru/catalog/5654/59428> (Дата обращения 29.05.2018)
38. Краснопевцева И.В. Методическое пособие по выполнению экономической части дипломного проекта производственно-технологического характера для студентов специальности 150700.02.65 и направления подготовки 15.03.01. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. Изд. - 22 с.
39. Nemchinsky V.A. Heat transfer in an electrode during arc welding with consumable electrode // Journal of Physics D: Applied Physics. 1998. № 6. С. 730-736.
40. Il'yashchenko D.P., Zernin E.A., Shadskii S.V. Chemical composition of welding aerosol in manual coated electrode arc welding // Welding International. 2011. № 9. С. 719-721.
41. Panek J., Budniok A. Production and electrochemical characterization of Ni-based composite coatings containing titanium, vanadium or molybdenum powders // Surface and Coatings Technology. 2007. № 14. С. 6478-6483.
42. Makarov A.N., Shimko M.B. Efficiency factor influence on power consumption of DC and AC three-phase arc steel-smelting furnaces // Электротехника. 2002. № 7. С. 55-59.

Приложения

Приложение А

Химический состав наплавленного металла и механические свойства металла шва и наплавленного металла электродами для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами

Тип электрода	Химический состав наплавленного металла, %										Механические свойства металла шва и наплавленного металла			
	углерод	кремний	марганец	хром	никель	молибден	ниобий	ванадий	прочие элементы	серы	фосфор	временное сопротивление разрыву σ_b , кгс/мм ²	относительное удлинение δ_5 , %	ударная вязкость α_K , кгс·м/см ²
												не более		не менее
Э-12Х13 Э-06Х13Н Э-10Х17Т	0,08—0,16 До 0,08 До 0,14	0,30—1,00 До 0,40 До 1,00	0,50—1,50 0,20—0,60 До 1,20	11,00—14,00 11,50—14,50 15,00—18,00	До 0,60 1,00—1,50 До 0,60	— — —	— — —	— — —	— — Титан 0,05—0,20	0,030 0,030 0,030	0,035 0,035 0,040	60 65 65	16 14 —	5 5 —
Э-12Х11НМФ Э-12Х11НВМФ	0,09—0,15 0,09—0,15	0,30—0,70 0,30—0,70	0,50—1,10 0,50—1,10	10,00—12,00 10,00—12,00	0,60—0,90 0,60—0,90	0,60—0,90 0,60—0,90	— —	0,20—0,40 0,20—0,40	— Вольфрам 0,80—1,30	0,030 0,030	0,035 0,035	70 75	15 14	5 5
Э-14Х11НВМФ	0,11—0,16	До 0,50	0,30—0,80	10,00—12,00	0,80—1,10	0,90—1,25	—	0,20—0,40	Вольфрам 0,90—1,40	0,030	0,035	75	12	4
Э-10Х16Н4Б Э-08Х24Н6ТАФМ	0,05—0,13 До 0,10	До 0,70 До 0,70	До 0,80 До 1,20	14,00—17,00 22,00—26,00	3,00—4,50 5,00—6,50	— 0,05—0,10	0,02—0,12 —	— 0,05—0,15	— Титан 0,02—0,08 Азот до 0,20	0,030 0,020	0,035 0,035	100 70	8 15	4 5
Э-04Х20Н9 Э-07Х20Н9	До 0,06 До 0,09	0,30—1,20 0,30—1,20	1,00—2,00 1,00—2,00	18,00—22,50 18,00—21,50	7,50—10,00 7,50—10,00	— —	— —	— —	— —	0,018 0,020	0,030 0,030	55 55	30 30	10 10
Э-02Х21Н10Г2 Э-06Х22Н9	до 0,03 До 0,08	До 1,10 0,20—0,70	1,00—2,50 1,20—2,00	18,00—24,00 20,50—23,50	9,00—11,50 7,50—9,60	— —	— —	— —	— —	0,020 0,020	0,025 0,030	55 65	30 20	10 —
Э-08Х16Н8М2 Э-08Х17Н8М2	0,05—0,12 0,05—0,12	До 0,60 До 1,10	1,00—2,00 0,80—2,00	14,60—17,50 15,50—19,50	7,20—9,00 7,20—10,00	1,40—2,00 1,40—2,50	— —	— —	— —	0,020 0,020	0,030 0,030	55 55	30 30	10 9
Э-06Х19Н11Г2М2 Э-02Х20Н14Г2М2	До 0,08 До 0,03	До 0,80 До 1,00	1,20—2,50 1,00—2,50	16,50—20,00 17,50—22,50	9,00—12,00 13,00—15,50	1,20—3,00 1,80—3,20	— —	— —	— —	0,020 0,020	0,030 0,025	50 55	25 25	9 10
Э-02Х19Н9Б Э-08Х19Н10Г2Б	До 0,04 0,05—0,12	До 0,60 До 1,30	0,80—2,00 1,00—2,50	17,00—20,00 18,00—20,50	8,00—10,50 8,50—10,50	— —	0,35—0,70 0,70—1,30, но не менее 8 С	— —	— —	0,020 0,020	0,030 0,030	55 55	30 24	12 8

Тип электрода	Химический состав наплавленного металла, %											Механические свойства металла шва и наплавленного металла		
	углерод	кремний	марганец	хром	никель	молибден	ниобий	ванадий	прочие элементы	сера	фосфор	временное сопротивление разрыву σ_b , кгс/мм ²	относительное удлинение δ , %	ударная вязкость α_k , кгс-м/см
												не более	не менее	
Э-08Х20Н9Г2Б	0,05—0,12	До 1,30	1,00—2,50	18,00—22,00	8,00—10,50	—	0,70—1,30, но не менее 8 С	—	—	0,020	0,030	55	22	8
Э-10Х17Н13С4	До 0,14	3,50—5,50	0,80—2,00	15,50—20,00	11,00—15,0	—	—	—	—	0,030	0,040	60	15	4
Э-08Х19Н10Г2МБ	0,05—0,12	0,25—0,70	1,60—2,50	17,50—20,50	8,50—10,50	0,40—1,00	0,70—1,30, но не менее 8 С	—	—	0,025	0,035	60	24	7
Э-09Х19Н10Г2М2Б	До 0,12	До 1,20	1,00—2,50	17,00—20,00	8,50—12,00	1,80—3,00	0,70—1,30, но не менее 8 С	—	—	0,020	0,030	60	22	7
Э-08Х19Н9Ф2С2	До 0,10	1,00—2,00	1,00—2,00	17,50—20,50	7,50—10,0	—	—	1,50—2,30	—	0,030	0,035	60	25	8
Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ	До 0,10	0,70—1,50	1,00—2,50	17,00—20,50	7,50—10,00	0,20—0,60	—	2,00—2,60	—	0,030	0,035	60	22	8
Э-09Х16Н8Г3М3Ф	0,05—0,13	До 1,30	2,00—3,20	15,00—17,50	7,00—9,00	2,40—3,20	—	0,40—0,65	—	0,020	0,030	65	28	6
Э-09Х19Н11Г3М2Ф	0,06—0,12	До 0,50	2,80—4,00	17,50—20,00	9,50—12,00	1,80—2,70	—	0,35—0,60	—	0,020	0,030	58	22	5
Э-07Х19Н11М3Г2Ф	До 0,09	До 0,60	1,50—3,00	17,00—20,00	9,50—12,00	2,00—3,50	—	0,35—0,75	—	0,020	0,030	55	25	8
Э-08Х24Н12Г3СТ	0,05—0,11	0,70—1,30	2,20—3,80	22,00—26,00	10,50—13,00	—	—	—	Титан до 0,30	0,025	0,035	55	25	9
Э-10Х25Н13Г2	До 0,12	До 1,00	1,00—2,50	22,50—27,00	11,50—14,00	—	—	—	—	0,020	0,030	55	25	9
Э-12Х24Н14С2	До 0,14	1,20—2,20	1,00—2,00	22,00—25,00	13,00—15,00	—	—	—	—	0,020	0,030	60	24	6
Э-10Х25Н13Г2Б	До 0,12	0,40—1,20	1,20—2,50	21,50—26,50	11,50—14,00	—	0,70—1,30, но не менее 8 С	—	—	0,020	0,030	60	25	7
Э-10Х28Н12Г2	До 0,12	До 1,00	1,50—3,00	25,00—30,00	11,00—14,00	—	—	—	—	0,020	0,030	65	15	5
Э-03Х15Н9АГ4	До 0,05	До 0,40	3,00—5,50	14,50—16,50	8,50—10,00	—	—	—	Азот 0,12—0,20	0,020	0,025	60	30	12

Тип электрода	Химический состав наплавленного металла, %											Механические свойства металла шва и наплавленного металла		
	углерод	кремний	марганец	хром	никель	молибден	ниобий	ванадий	прочие элементы	сера	фосфор	временное сопротивление разрыву σ_B , кгс/мм ²	относительное удлинение δ_5 , %	ударная вязкость α_H , кгс-м/см ²
												не более	не менее	
Э-10Х20Н9Г6С	До 0,13	0,50—1,20	4,80—7,00	18,50—21,50	8,50—11,00	—	—	—	—	0,020	0,040	55	25	9
Э-28Х24Н16Г6	0,22—0,35	До 0,50	5,00—7,50	22,50—26,00	14,50—17,00	—	—	—	—	0,020	0,035	60	25	10
Э-02Х19Н15Г4АМЗВ2	До 0,04	До 0,30	3,00—5,50	17,50—20,50	14,50—16,50	2,00—3,20	—	—	Вольфрам 1,50—2,30 Азот 0,15—0,25	0,015	0,025	65	30	12
Э-02Х19Н18Г5АМЗ	До 0,04	До 0,50	4,00—7,00	17,00—20,50	16,50—19,00	2,50—4,20	—	—	Азот 0,15—0,25	0,025	0,030	60	30	12
Э-11Х15Н25М6АГ2	0,08—0,14	До 0,70	1,00—2,30	13,50—17,00	23,00—27,00	4,50—7,00	—	—	Азот до 0,20	0,020	0,030	60	30	10
Э-09Х15Н25М6Г2Ф	0,06—0,12	До 0,70	1,50—3,00	13,50—17,00	23,00—27,00	4,50—7,00	—	0,90—1,60	—	0,020	0,020	65	30	10
Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	0,22—0,32	До 0,70	1,50—2,50	13,50—16,00	33,00—36,50	—	1,70—2,50	—	Вольфрам 2,40—3,50 Титан 0,05—0,25	0,018	0,030	65	20	5
Э-04Х16Н35Г6М7Б	До 0,06	До 0,60	5,00—6,50	14,00—17,00	34,00—36,00	6,00—7,50	0,80—1,20	—	—	0,020	0,020	60	25	8
Э-06Х25Н40М7Г2	До 0,08	До 0,50	1,50—2,50	23,00—26,00	38,00—41,00	6,20—8,50	—	—	Титан до 0,05	0,015	0,025	60	30	12
Э-08Н60Г7М7Т	До 0,10	До 0,30	6,50—8,00	—	58,00—62,00	5,80—7,50	—	—	Титан 0,02—0,12	0,020	0,025	45	20	10
Э-08Х25Н60М10Г2	До 0,10	До 0,35	1,50—2,50	23,00—26,00	Основа	8,50—11,00	—	—	Титан до 0,05	0,015	0,020	65	24	12
Э-02Х20Н60М15В3	До 0,04	До 0,80	До 1,00	17,00—22,00	»	13,50—16,50	—	—	Вольфрам 2,50—4,20 Железо до 3,00	0,020	0,025	70	15	7
Э-04Х10Н60М24	До 0,06	До 0,40	До 1,00	8,50—13,00	»	21,00—26,00	—	—	—	0,025	0,025	60	15	—
Э-08Х14Н65М15В4Г2	До 0,10	До 0,50	1,50—2,50	12,50—15,50	»	13,50—16,00	—	—	Вольфрам 3,50—4,50	0,018	0,020	55	20	10

Тип электрода	Химический состав наплавленного металла, %											Механические свойства металла шва и наплавленного металла		
	углерод	кремний	марганец	хром	никель	молибден	ниобий	ванадий	прочие элементы	серы	фосфор	временное сопротивление разрыву σ_B , кгс/мм ²	относительное удлинение δ^5 , %	ударная вязкость α_K , кгс·м/см ²
										не более		не менее		
Э-10Х20Н70Г2М2В	До 0,14	До 0,80	1,20—2,50	18,00—22,00	Основа	1,20—2,70	—	—	Вольфрам 0,10—0,30	0,015	0,020	—	—	—
Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	До 0,14	До 1,00	1,20—2,50	18,00—22,00	*	1,20—2,70	1,50—3,00	—	Вольфрам 0,10—0,30	0,015	0,020	65	25	—

Приложение Б

Химический состав наплавленного металла покрытыми электродами для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами и его твердость при нормальной температуре

Тип электродов	Химический состав, %											Твердость, НРС		
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Вольфрам	Ванадий	Титан	Прочие элементы	Сера	Фосфор	без термической обработки после наплавки	после термической обработки
											Не более			
Э-10Г2	0,08—0,12	До 0,15	2,0—3,3	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	22,0—30,0	—
Э-11Г3	0,08—0,13	До 0,15	2,8—4,0	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	29,5—37,0	—
Э-12Г4	0,09—0,14	До 0,15	3,6—4,5	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	36,5—42,0	—
Э-15Г5	0,12—0,18	До 0,15	4,1—5,2	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	41,5—45,5	—
Э-16Г2ХМ	0,12—0,20	0,8—1,3	1,2—2,0	0,9—1,3	—	0,7—0,9	—	—	—	—	0,030	0,035	36,5—41,0	—
Э-30Г2ХМ	0,22—0,38	До 0,15	1,5—2,0	0,5—1,0	—	0,3—0,7	—	—	—	—	0,030	0,040	32,5—42,5	—
Э-35Г6	0,25—0,45	До 0,60	5,5—6,5	—	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	51,0—58,5	—
Э-37Х9С2	0,25—0,50	1,40—2,80	0,4—1,0	8,0—11,0	—	—	—	—	—	—	0,030	0,035	53,0—59,0	—
Э-70Х3СМТ	0,50—0,90	0,80—1,20	0,4—1,0	2,3—3,2	—	0,3—0,7	—	—	До 0,30	—	0,030	0,035	—	53,0—61,0
Э-80Х4С	0,70—0,90	1,00—1,5	0,5—1,0	3,5—4,2	—	—	—	—	—	—	0,030	0,035	57,0—63,0	—
Э-95Х7Г5С	0,80—1,10	1,20—1,80	4,0—5,0	6,0—8,0	—	—	—	—	—	—	0,030	0,040	27,0—34,0	—
Э-65Х11Н3	0,50—0,80	До 0,30	До 0,7	10,0—12,0	2,5—3,5	—	—	—	—	—	0,030	0,035	27,0—35,0	—
Э-24Х12	0,18—0,30	До 0,30	0,4—1,0	10,5—13,0	—	—	—	—	—	—	0,030	0,035	41,5—49,5	—
Э-20Х13	0,15—0,25	До 0,70	До 0,8	12,0—14,0	До 0,6	—	—	0,5—1,0	—	—	0,030	0,035	—	34,5—49,5
Э-35Х12Г2С2	0,25—0,45	1,50—2,50	1,6—2,4	10,5—13,5	—	—	—	—	—	—	0,030	0,035	—	55,0—63,0

Тип электродов	Химический состав, %												Твердость, НРС,	
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Вольфрам	Ванадий	Титан	Прочие элементы	Сера	Фосфор	без термической обработки после наплавки	после термической обработки
											Не более			
Э-35Х12В3СФ	0,25—0,45	1,00—1,60	До 0,5	10,5—13,5	—	—	2,5—3,5	0,5—1,0	—	—	0,030	0,035	—	51,0—59,0
Э-100Х12М	0,85—1,15	До 0,50	До 0,5	11,0—13,0	—	0,4—0,6	—	—	—	—	0,030	0,035	—	54,0—61,0
Э-120Х12Г2СФ	1,00—1,40	1,00—1,70	1,6—2,4	10,5—13,5	—	—	—	1,0—1,5	—	—	0,030	0,035	—	55,0—63,0
Э-300Х28Н4С4	2,50—3,40	2,80—4,20	До 1,0	25,0—31,0	3,0—5,0	—	—	—	—	—	0,035	0,040	49,0—55,5	—
Э-320Х23С2ГТР	2,90—3,50	2,00—2,50	1,0—1,5	22,0—24,0	—	—	—	—	0,5—1,5	Бор 0,5—1,5	0,035	0,040	56,0—63,0	—
Э-320Х25С2ГР	2,90—3,50	2,00—2,50	1,0—1,5	22,0—27,0	—	—	—	—	—	Бор 0,5—1,5	0,035	0,040	58,0—64,0	—
Э-350Х26Г2Р2СТ	3,10—3,90	0,60—1,20	1,5—2,5	23,0—29,0	—	—	—	—	0,2—0,4	Бор 1,8—2,5	0,035	0,040	59,0—64,0	—
Э-225Х10Г10С	2,00—2,50	0,50—1,50	8,0—12,0	8,0—12,0	—	—	—	—	—	—	0,035	0,040	41,5—51,5	—
Э-08Х17Н8С6Г	0,05—0,12	4,80—6,40	1,0—2,0	15,0—18,4	7,0—9,0	—	—	—	—	—	0,025	0,030	—	29,5—39,0
Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	0,06—0,12	4,50—5,30	1,6—2,4	15,0—16,8	8,4—9,2	1,8—2,3	—	0,5—0,9	0,1—0,3	—	0,030	0,035	—	30,5—36,0
Э-09Х31Н8АМ2	0,06—0,12	До 0,50	До 0,5	30,0—33,0	7,0—9,0	1,8—2,4	—	—	—	Азот 0,3—0,4	0,030	0,035	—	41,5—49,5
Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	0,08—0,18	3,80—5,20	3,0—5,0	14,0—19,0	6,5—10,5	3,5—7,0	—	—	—	Нитробий 0,5—1,2	0,025	0,030	—	39,5—51,5
Э-15Х15Н10С5М3Г	0,10—0,20	4,80—5,80	1,0—2,0	13,0—17,0	9,0—11,0	2,3—4,5	—	—	—	—	0,030	0,035	36,5—46,5	—
Э-15Х28Н10С3ГТ	0,10—0,20	2,80—3,80	1,0—2,0	25,0—30,0	9,0—11,0	—	—	—	0,1—0,6	—	0,030	0,035	—	36,5—42,0
Э-15Х28Н10С3М2ГТ	0,10—0,20	2,50—3,50	1,0—2,0	25,0—30,0	9,0—11,0	1,0—2,5	—	—	0,1—0,3	—	0,030	0,035	—	41,5—46,5

Тип электродов	Химический состав, %												Твердость, НРС ₁	
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Вольфрам	Ванадий	Титан	Прочие элементы	Сера	Фосфор	без термической обработки после наплавки	после термической обработки
											Не более			
Э-200Х29Н6Г2	1,60—2,40	0,30—0,60	1,5—3,0	26,0—32,0	5,0—8,0	—	—	—	—	—	0,035	0,040	41,5—51,5	—
Э-30В8Х3	0,20—0,40	До 0,30	До 0,4	2,0—3,5	—	—	7,0—9,0	—	—	—	0,035	0,040	—	41,5—51,5
Э-80В18Х4Ф	0,70—0,90	До 0,50	До 0,8	3,8—4,5	—	—	17,0—19,5	1,0—1,4	—	—	0,035	0,040	—	58,0—63,0
Э-90В10Х5Ф2	0,80—1,00	До 0,40	До 0,4	4,0—5,0	—	—	8,5—10,5	2,0—2,6	—	—	0,035	0,040	—	58,0—63,0
Э-30Х5В2Г2СМ	0,20—0,40	1,00—1,50	1,3—1,8	4,5—5,5	—	0,4—0,6	1,5—2,5	—	—	—	0,030	0,035	51,0—61,0	—
Э-65Х25Г13Н3	0,50—0,80	До 0,80	11,0—14,0	22,0—28,5	2,0—3,5	—	—	—	—	—	0,035	0,040	25,0—37,0	—
Э-105В6Х5М3Ф3	0,90—1,20	До 0,40	До 0,5	4,0—5,5	—	2,5—4,0	5,0—6,5	2,0—3,0	—	—	0,035	0,040	—	61,0—65,0
Э-90Х4М4ВФ	0,60—1,20	До 0,80	До 0,7	2,8—4,3	—	2,4—4,6	0,9—1,7	0,6—1,3	—	—	0,030	0,035	—	59,0—64,0
Э-10М9Н8К8Х2СФ	0,08—0,12	1,20—1,80	0,6—1,2	2,0—2,6	6,5—9,5	7,0—11,0	—	0,3—0,7	—	Кобальт 6,5—9,5	0,030	0,035	—	56,0—61,0
Э-10К15В7М5Х3СФ	0,08—0,12	0,80—1,60	0,3—0,7	2,0—4,2	—	3,8—6,2	5,0—8,0	0,5—1,1	—	Кобальт 12,7—16,3	0,030	0,035	—	53,0—59,0
Э-10К18В11М10Х3СФ	0,08—0,12	0,80—1,60	0,3—0,7	1,8—3,2	—	7,8—11,2	8,8—12,2	0,4—0,8	—	Кобальт 15,7—19,3	0,030	0,035	—	63,0—67,0
Э-110Х14В13Ф2	0,90—1,30	0,30—0,60	0,5—0,8	12,0—16,0	—	—	11,0—15,0	1,4—2,0	—	—	0,035	0,040	51,0—56,5	—
Э-175В8Х6СТ	1,60—1,90	0,70—1,50	0,6—1,2	5,0—6,0	—	—	—	—	До 0,4	Ниобий 7,0—8,0	0,030	0,035	53,0—58,5	—
Э-190К62Х29В5С2	1,60—2,20	1,50—2,60	—	26,0—32,0	—	—	4,0—5,0	—	—	Кобальт 59,0—65,0	0,035	0,040	41,5—51,5	—