

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(институт)

Кафедра «Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы»  
(наименование кафедры полностью)

15.04.01. Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальность)

Технология и оборудование для пайки

(наименование профиля магистерской программы)

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему: «Исследование разбрызгивания электродной проволоки при механизации сварки изделий ОАО «ТЯЖМАШ»

Студент(ка)

Н.И. Щелкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

Г.М. Короткова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель магистерской  
программы д.т.н, профессор Б.Н. Перевезенцев

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

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

В.В. Ельцов

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

## АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена решению актуальных, недостаточно изученных вопросов механизированной сварки в защитном газе CO<sub>2</sub>. Значительное внимание уделено влиянию импульсного ввода тепла на разбрызгивание электродной проволоки. Обращено внимание на причины образования брызг при росте жидкой капли электродной проволоки. Предложены режимы механизированной сварки в защитной среде CO<sub>2</sub> для проволоки Св.08Г2С  $d_{пр}=1,2, 1,6$ , учитывающие влияние напряжения дуги, наклон вольтамерной характеристики и скорости нарастания короткого замыкания на качество формирования швов. Рассмотрена методика снижения разбрызгивания электродной проволоки за счет возможности превращения жидкой электродной в «пародуговую фазу». На основе этого разработаны режимы механизированной сварки в защитной среде CO<sub>2</sub> для проволоки Св.08Г2С  $d_{пр}=1,2, 1,6$ , обеспечивающие отсутствие брызг. Содержит 90 стр, рис.39, табл. 25, Библ. 36 назв.

## Содержание

Введение	5
1. Механизированная сварка плавящимся электродом на ОАО «Тяжмаш»	7
1.1 Обзор выпускаемого оборудования ОАО «Тяжмаш»	7
1.2 Описание конструкции мельницы	16
1.3 Свойства материала бутары мельницы	20
1.4 Выявление существенных недостатков процесса сварки на примере мельницы	22
1.5 Номенклатура оборудования для механизированной сварки плавящимся электродом и технологические свойства	25
1.6 Предложения по совершенствованию механизированной сваркой плавящимся электродом	33
2. Особенности дуги при сварке плавящимся электродом в среде защитного газа	37
2.1 Обоснование выбора защитного газа	43
3 Технологические исследования области параметров режима механизированной сварки, формирующих шов с минимальным разбрызгиванием	45
3.1. Методика проведения технологических испытаний	45
3.2. Результаты технологических исследований по определению области параметров механизированной сварки, обеспечивающей формирование полномерных швов с минимальным разбрызгиванием	53
3.2.1 Исследования влияния параметров сварки для проволоки диаметром 1,2 мм (серия образцов №63-91)	54
3.2.1 Исследования влияния параметров сварки для проволоки диаметром 1,6 мм (серия образцов № 119-138)	59
3.3. Влияние импульсного ввода тепла на формирование шва с минимальным разбрызгиванием	66
4. Эффективность сварочного процесса	77

4.1 Ручная электродуговая сварка	79
4.2 Механизированная сварка в среде углекислого газа	83
Заключение	86
Список используемой литературы	87

## Введение

Тема диссертационной работы «Исследование разбрызгивания электродной проволоки при механизации сварки изделий ОАО «ТЯЖМАШ» актуальна, соответствует современным требованиям науки и техники, учитывает реальные задачи народного хозяйства и конкретной отрасли машиностроения.

Особое внимание в машиностроении уделяется разработке эффективных технологических процессов, нового технологического оборудования. Повышение энергоэффективности промышленных предприятий, снижение потребления ими электроэнергии является приоритетной задачей в развитии науки и техники.

В настоящее время повышается технологический уровень машиностроения, механизации и автоматизации производственных процессов, а также повышение качества выпускаемой продукции и эффективность производства.

Сокращение времени на изготовление изделия, с уменьшением затрат на производство, с сохранением прочности конструкции, является главной задачей завода изготовителя, к тому же, это экономически и технически выгодно.

В настоящее время разработаны новые способы дуговой сварки, основанные на импульсном вводе тепла. Использование этого принципа на практике позволяет существенно снизить разбрызгивание электродного металла. По предварительным оценкам хорошее формирование сварных соединений с минимальным разбрызгиванием электродного металла возможно получить оптимизировав параметры процесса сварки.

В данной диссертационной работе рассмотрены возможности проведения эффективной модернизации оборудования, сложностях ее проведения, а так же методах ее решения.

В настоящее время ОАО «Тяжмаш» освоил выпуск таких изделий, как мельницы, ленточные конвейеры, мостовые краны кругового действия, стартовые комплексы, радиотелескопы и др. При изготовлении изделий

применяется ручная дуговая и механизированная сварка. Так например, сварка обечайки барабана мельницы МСЦ 3200×4500 производится механизированной сваркой в защитном газе CO<sub>2</sub> проволокой Св8Г2С, а в труднодоступных местах электродуговой сваркой электродом Э-42А УОНИ 13/45 ГОСТ 9467-75.

Известно, что эти способы сопровождаются большим разбрызгиванием электродного металла, особенно при механизированной сварке плавящимся электродом. Все это существенно отражается, на времени изготовлении изделий, затратах основных и вспомогательных материалов, потребления электроэнергии.

В данной работе рассматривается возможность сокращения до минимума разбрызгивания электродного металла на примере изготовления бутары барабана мельницы. Для того, чтобы обеспечить качество, сокращение разбрызгивания электродного металла, затрат на изготовление бутары, следует разработать технологические приёмы, подобрать оптимальные режимы процесса сварки, которые в лучшую сторону повлияют на технико-экономические показатели изготовления бутары.

Цель проекта - снизить разбрызгивание электродной проволоки при механизации сварки изделий ОАО «ТЯЖМАШ» на примере изготовления бутары мельницы МСЦ 3200×4500.

# 1. Механизированная сварка плавящимся электродом на ОАО «Тяжмаш»

## 1.1 Обзор выпускаемого оборудования ОАО «Тяжмаш»

ОАО «Тяжмаш» является одним из ведущих предприятий тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения.

Практически все ТЭС страны, работающие на твердом топливе, ГЭС и АЭС, крупнейшие горно-обогатительные комбинаты, перерабатывающие железные, медные, вольфрамомолибденовые, золото и алмазосодержащие руды, крупнейшие доменные печи, открытые карьеры и шахты, цементные и химические заводы, пусковые установки космодромов и ракетных войск и многие другие объекты укомплектованы продукцией ОАО "Тяжмаш".

Так ОАО "Тяжмаш уже много лет ведет изготовление роlikоопор для поддержания барабана вращающейся цементной печи (рис.1).

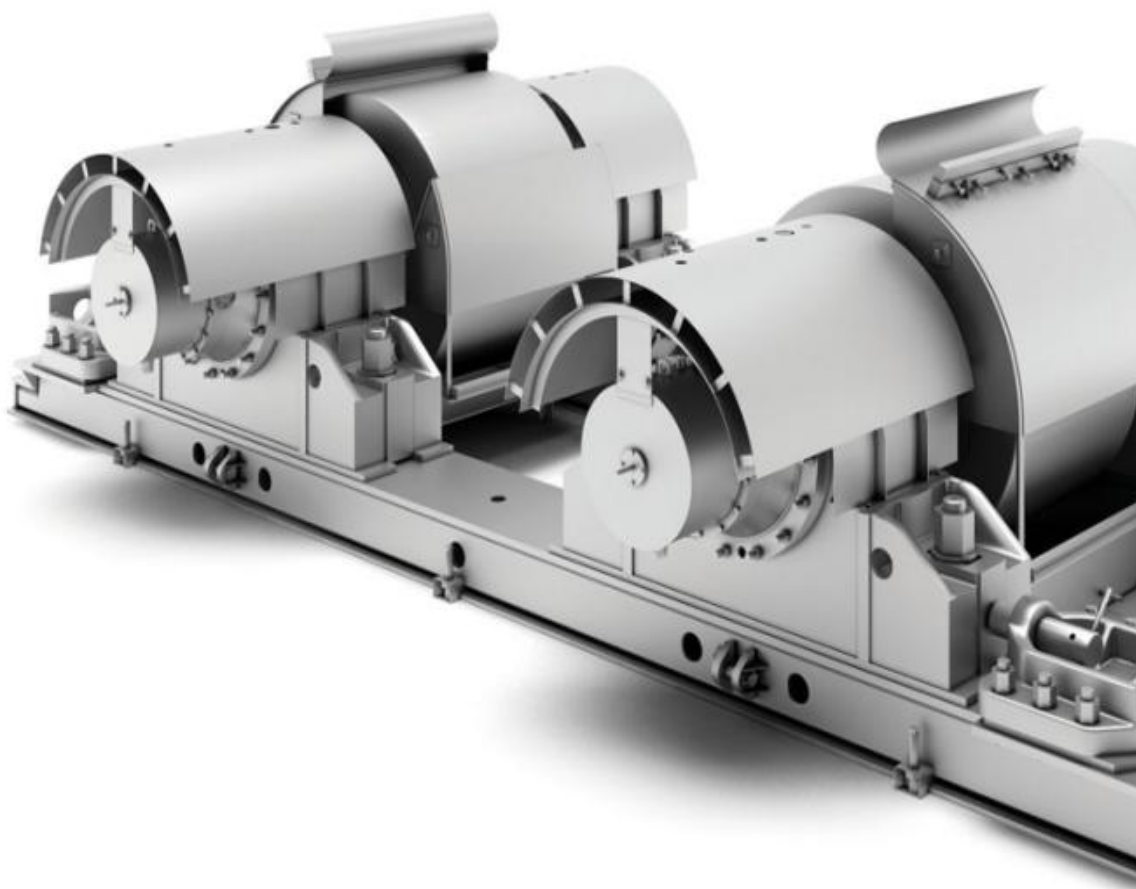


Рисунок 1 – Роlikоопоры цементной печи

Роликоопора предназначена для поддержки барабана вращающейся цементной печи. Роликоопора состоит из двух блоков опорных и общей рамы. Блок опорный, в свою очередь, состоит из непосредственно опорного ролика, напрессованного на вал, который устанавливается на две опоры качения, оснащенные подшипниками качения.

Подшипники качения воспринимают радиальную нагрузку и часть осевой. Одна из цапф опорного ролика в сборе с валом в осевом направлении фиксируется в корпусе подшипника с помощью упорных подшипников. Смазка подшипников — жидкостная. Смазывание циркуляционное производится от индивидуальной смазочной системы. Допустима смазка от централизованной смазочной системы, либо консистентная закладная смазка. Охлаждение роликоопор — водяное циркуляционное.

Роликоопора – сварная конструкция. При ее изготовлении применяется ручная дуговая сварка и механизированная плавящимся электродом  $d_{пр}=1,2\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ .

На горно-обогатительные комбинаты страны АО «Тяжмаш» поставляет ленточные конвейеры (рис.2).

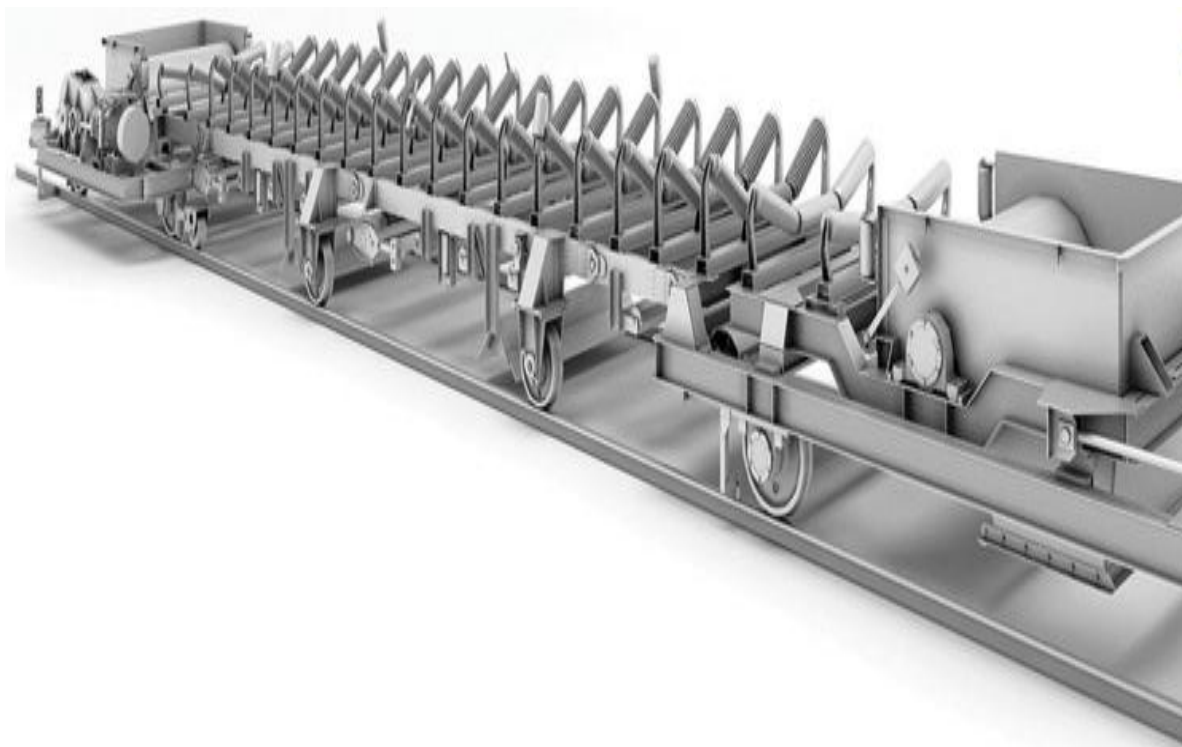


Рисунок 2 – Конвейер ленточный



Конвейеры обеспечивают производительность до 5 тыс. м<sup>3</sup>/час, коэффициент готовности от 0,98 до 0,99, ресурс роликов до 30000 часов, ресурс барабанов до 80000 часов. Общий срок службы конвейеров более 20 лет.

Основание ленточного конвейера и тележки – сварные конструкции. При изготовлении основания применяется в основном ручная дуговая сварка, а для изготовления тележек - механизированная плавящимся электродом  $d_{пр}=1,2\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ .

На атомные электростанции завод поставляет мостовые краны кругового действия.

Кран мостовой электрический кругового действия (полярный) устанавливается в здании реакторного отделения (рис.3).

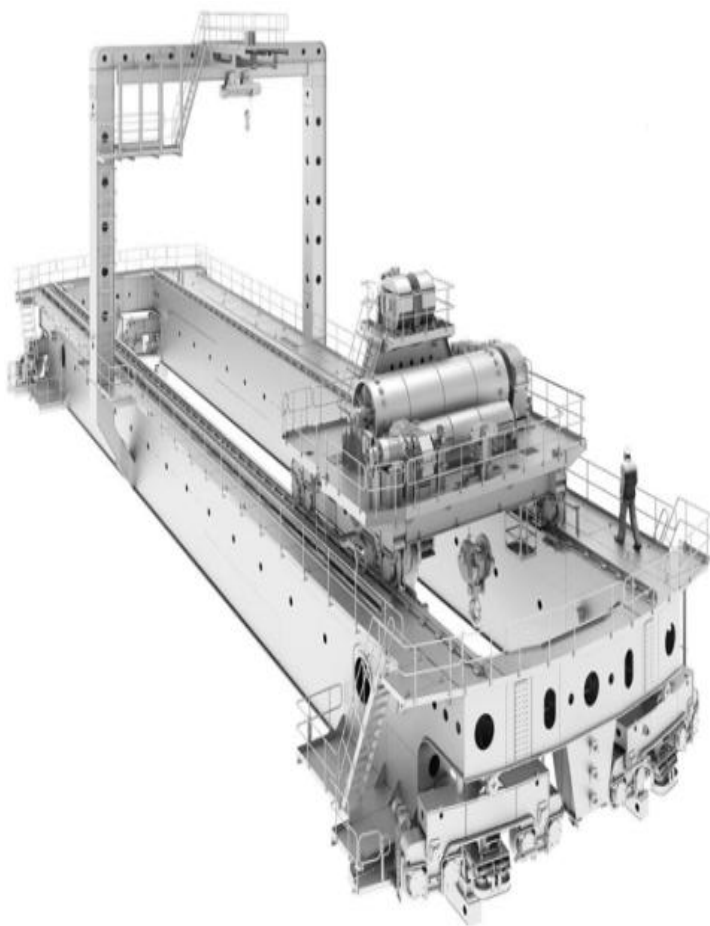


Рисунок 3 – Кран мостовой электрический кругового действия для атомных электростанций

Кран предназначен:

— для строительно-монтажных работ в период строительства АЭС;

— при эксплуатации АЭС, в период ППР и реконструкции — для выполнения транспортно-технологических операций со свежим и отработавшим топливом, радиоактивными отходами, элементами реакторной установки;

— при выходе из эксплуатации — для выполнения подъемно-транспортных операций по демонтажу оборудования герметичной зоны реакторного здания.

Мостовой кран кругового действия – сварная конструкция. Для изготовления барабана применяется сварка плавящимся электродом  $d_{пр}=3\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ . При изготовлении основания крана применяют механизированная сварка плавящимся электродом  $d_{пр}=1,2\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ . Ручная дуговая сварка используется в труднодоступных местах.

На АО «Тяжмаш» накоплен опыт поставок различного оборудования для ГЭС и ГАЭС, от производства отдельных комплектующих и агрегатов до выполнения проекта станции «под ключ» (рис.4).

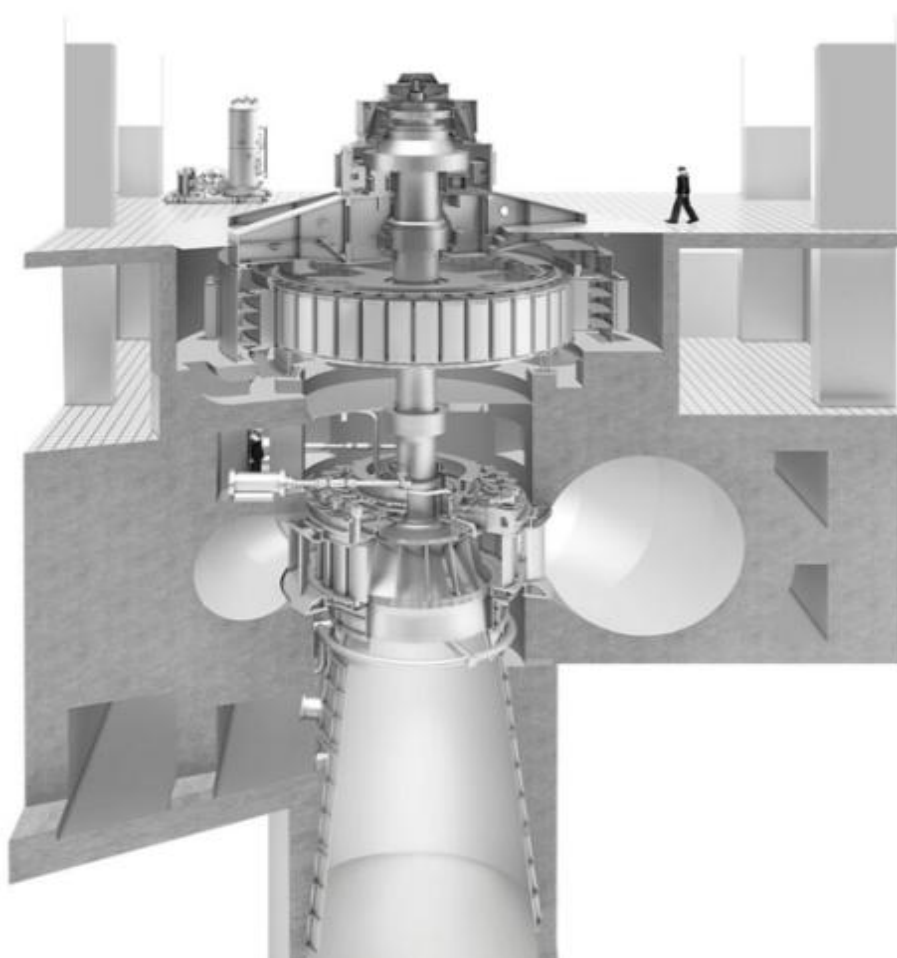


Рисунок 4 – Гидроэнергетическое и гидромеханическое оборудование

Гидроэлектростанция — комплекс сооружений, оборудования и аппаратуры, предназначенный для производства электроэнергии путем преобразования энергии потока воды с помощью гидротурбин и генераторов.

В настоящее время реализовано 310 проектов общей мощностью 23,3 ГВт и поставлено оборудование в 46 стран мира.

АО «Тяжмаш» - единственный производитель пусковых и стартовых установок космодромов и ракет.

Стартовая система предназначена для установки на нее ракеты-носителя, удержания ее при стоянке, подготовке к пуску и пуску, а также для размещения и подвода к ракете-носителю коммуникаций различного назначения (рис.5). Ракета-носитель устанавливается установщиком на верхние оголовки несущих стрел, которые соединяются между собой в верхний силовой пояс [5].



Рисунок 5 – Наземное оборудование стартовых комплексов космодромов

Секторы верхнего силового пояса ракеты удерживаются в горизонтальном положении опорными фермами. Нижняя часть ракеты-носителя удерживается нижними направляющими устройствами и нижними кабельными мачтами.

При пуске ракеты-носителя верхние оголовки несущих стрел освобождаются от нагрузки и под действием противовесов откидываются в положение, которое не мешает пуску.

Опорные фермы стартовых комплексов – сварные конструкции. Неразъемные соединения обеспечиваются ручной дуговой сваркой.

ОАО «ТЯЖМАШ» поручено изготовление конструктивно-механической части радиотелескопа «РТФ-32» (рис.6). Радиотелескоп предназначен для приема радиоизлучения космических источников естественного и искусственного происхождения в сантиметровом диапазоне волн для решения задач астрономии, геодезии, сейсмологии, космической навигации.



Рисунок 6 – Радиотелескоп «РТФ-32»

Механическая часть радиотелескопа – сварная конструкция, при изготовлении которой применяется как ручная дуговая сварка, так и механизированная плавящимся электродом  $d_{пр}=1,2\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ .

Мельницы мокрого самоизмельчения типа ММС предназначены для размола руд черных и цветных металлов, алмазо- и золотосодержащих руд, а также сырьевых материалов в промышленности и строительных материалов (рис.7).

Мельницы ММС используются, в основном, в первой стадии измельчения. Применение крупных мельниц позволяет исключить стадию дробления. При добавлении стальных шаров в барабан производительность увеличивается в 2–3 раза.

Барабан и основание мельницы – сварные конструкции, при изготовлении которых применяется ручная дуговая сварка, механизированная сварка плавящимся электродом  $d_{пр}=1,2\text{мм}$  в защитной среде  $\text{CO}_2$ , автоматическая сварка под флюсом  $d_{пр}=3\text{мм}$ .

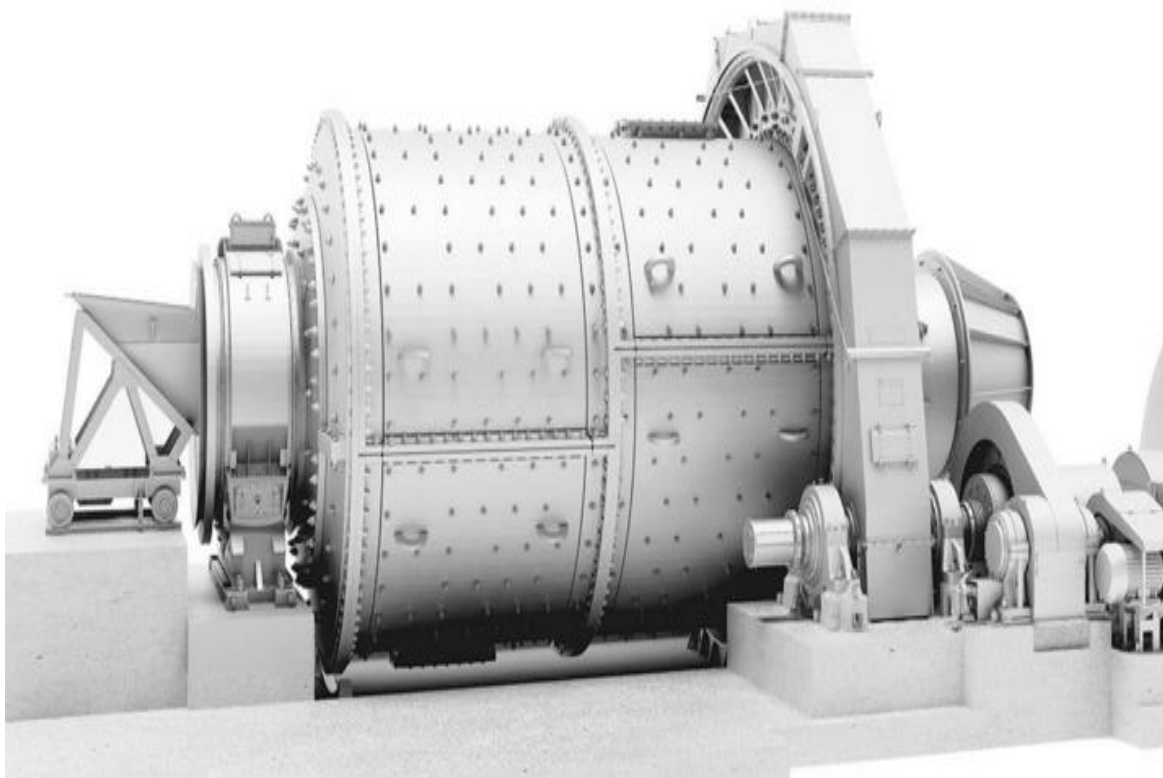


Рисунок 7 – Мельница мокрого самоизмельчения

С 2008 года в АО «ТЯЖМАШ» началась разработка мельниц типа МВС с динамическими сепараторами. Мельницы предназначены для размола до пылевидного состояния каменного угля, полуантрацитов, тощего, бурого угля (с предварительной сушкой) в системах топливоприготовления на тепловых электростанциях, а также сырьевых материалов в цементной промышленности. В энергетике мельницы типа МВС с динамическими сепараторами используются в качестве «ребёрнинговых» (рис.8). Тонкость готовой угольной пыли должна составлять  $R_{90} = 8\%$ . Была проведена работа по анализу существующего опыта в сфере испытаний динамических сепараторов и конструкций сепараторов производства иностранных фирм. На базе полученных сведений был разработан динамический сепаратор, который не уступает европейским аналогам.

Особенностью работы мельницы типа МВС (рис.8) с динамическим сепаратором является то, что после размола угольная пыль воздушным потоком выносится в сепаратор, где за счёт вращения ротора разделяется на мелкие и крупные фракции. Мелкие фракции выносятся к горелкам, а крупные возвращаются на домол в мельницу. Динамический сепаратор был разработан специалистами ОАО «ТЯЖМАШ» и НПО «ЦКТИ» (Санкт-Петербург)[18].

По согласованию с заказчиком ОАО «ТЯЖМАШ» имеет возможность спроектировать и изготовить любое рудоразмольное оборудование, отличающееся от типажного ряда.



Рисунок 8 – Мельница валковая среднеходная

Анализ конструкций выпускаемых АО «Тяжмаш» показал, что неразъемные соединения получены за счет применения РДС, механизированной сварки плавящимся электродом в среде  $\text{CO}_2$  и сварки под слоем флюса. Однако наибольший объем работ ложится на механизированную сварку плавящимся электродом  $d_{\text{пр}}=1,2\text{мм}$  в среде защитного газа, поэтому остановимся на проблемах механизированной сварке плавящимся электродом на примере изготовления мельницы.

## 1.2 Описание конструкции мельницы

Мельницы стержневые с центральной разгрузкой, широко применяются в горнорудной, металлургической и других отраслях промышленности для измельчения руд черных, цветных и редких металлов, известняков, доломитов и других материалов.

Работа мельниц осуществляется при непрерывной подаче в полость вращающегося барабана руды и воды. Условное обозначение мельниц состоит из указания ее типа, размеров и внутреннего диаметра (без футеровок), длины барабана в мм и исполнения по расположению привода. Например, мельница стержневая, диаметром барабана 3200мм, длиной 4500мм обозначается следующим образом: мельница МСЦ 3200×4500. Общий вид мельницы МСЦ 3200×4500 показан на рисунке 9.

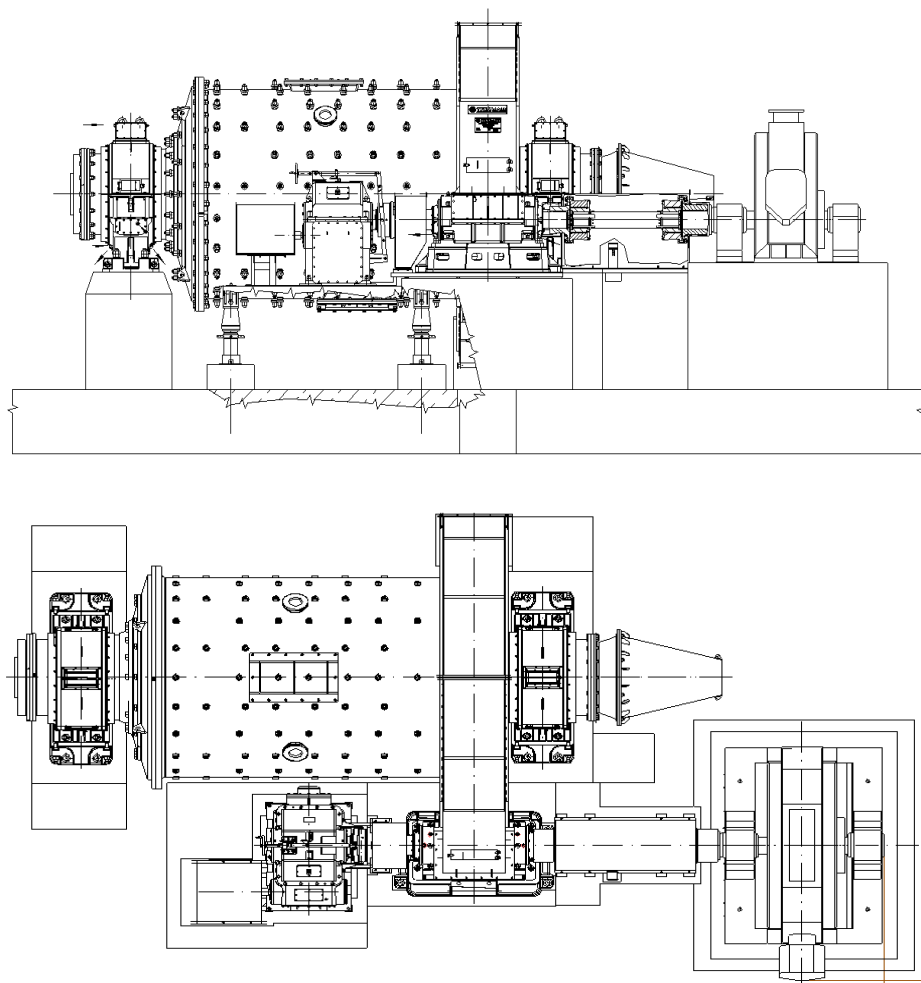


Рисунок 9 – Общий вид мельницы МСЦ3200x4500



Мелющими телами в стержневых мельницах являются металлические стержни диаметром 40...120 мм, заполняющие 3...50% объема барабана. Состав загрузки мелющих тел по их диаметрам и количеству зависит от крупности питания, его физико-механических свойств, необходимой тонкости помола конечного продукта и ряда факторов и подбирается в процессе эксплуатации мельницы[4].

Конусная обечайка (бутара) – разгрузочная часть барабана мельницы, в которой происходит разгрузка измельченного продукта (рис.10). Бутара – сварная конструкция, которая состоит из конусной обечайки, сваривается механизированной сваркой плавящимся электродом  $d_{\text{пр}} = 1,2\text{мм}$ , фланец приваривается к обечайке, а между ними ребра и уши. Длина сварных швов составляет 24,2м.

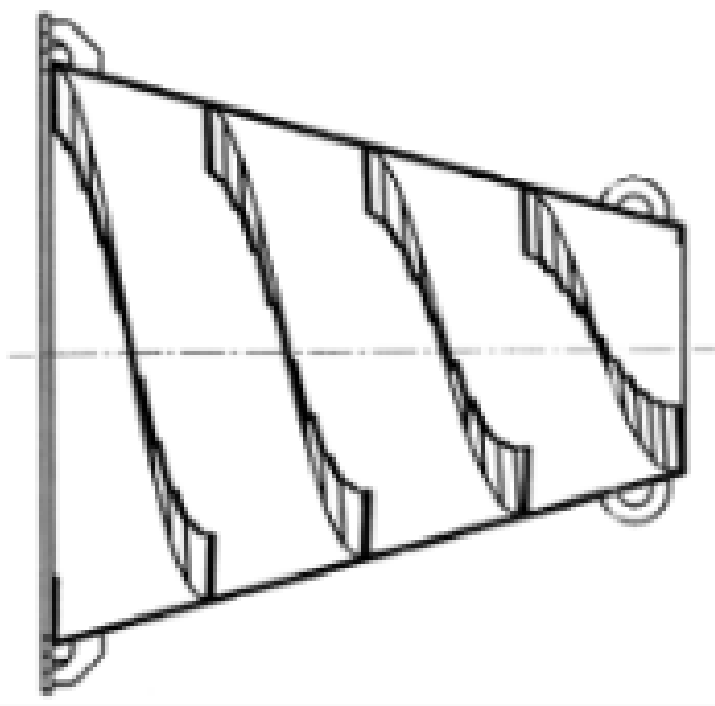


Рисунок 10 – Общий вид бутары мельницы

Большой диаметр бутары составляет 1300 мм, малый диаметр 600мм. Толщина стенки бутары 20 мм. Длина 1490 мм. Вес такой бутары составляет 572 кг.

Мельница представляет собой цилиндрический барабан, закрытый торцевыми стенками. Центральная часть барабана мельницы представляет собой сварной корпус с футеровкой и установленным в стенку загрузочным патрубком, называется загрузочной частью барабана. Корпус мельницы сваривается механизированной сваркой плавящимся электродом в защитном газе. Торцевая стенка со стороны загрузки материала, вместе с футеровкой и установленным в стенку загрузочным патрубком, называется загрузочной частью барабана. Торцевая стенка со стороны выхода измельченного материала, вместе с установленными на ней торцевой футеровкой, разгрузочной воронкой и горловиной воронки называется разгрузочной частью барабана мельницы.

Изнутри корпус барабана и торцевые стенки с целью предохранения их от износа защищены футеровочными бронеплитами, изготовленными из износостойких материалов, так как пульпа (измельчаемый материал в смеси с водой) абразива и поверхности деталей, соприкасающиеся с пульпой при работе мельницы, интенсивно изнашиваются. Укладка футеровки внутри барабана производится с учетом направления его вращения (острым концом основания плиты по направлению вращения) и на резиновых прокладках.

Барабан мельницы опирается на коренные подшипники. Один из подшипников (возле привода) выполняется фиксированным, второй – свободным с гарантированным зазором между буртом опорной шейки цапфы и торцом корпуса подшипника. Это обеспечивает возможность компенсации удлинения барабана работающей мельницы при нагреве его за счет энергии, выделяемой в процессе измельчения материала.

Для обеспечения возможности перемещения плит опорных по плитам фундаментным при установке барабана и регулировке зубчатого зацепления привода мельницы на фундаментных плитах предусмотрены регулировочные винты. Защита коренных подшипников от перегрева осуществляется аппаратурой температурной встроенной защиты и сигнализации.

Вращение барабана мельницы осуществляется с помощью привода. Привод мельницы состоит из тихоходного синхронного электродвигателя, упругой муфты с промежуточным валом и открытой зубчатой передачи.

Подлежащий измельчению материал и мелющие тела (стержни) загружаются в барабан мельницы. Подача измельчаемого материала и воды производится при работе мельницы не прерывно. Загрузка и догрузка стержней производится при остановке мельницы. Подлежащий измельчению материал загружается в барабан через течку и подается на шнеки загрузочного патрубка и затем поступает в барабан. Измельчение материала происходит за счет ударов мелющих тел (стержней), а так же раздавливания и истирания его между измельчающими телами и футеровкой при вращении барабана [15].

Мельница стержневая, диаметром барабана 3200мм, длиной 4500мм обозначается следующим образом: мельница МСЦ 3200×4500. Ее техническая характеристика приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика мельницы МСЦ3200х4500

1	Диаметр барабана внутренний (без футеровки), мм	3200
2	Длина измельчительной камеры (без футеровки), мм	4520
4	Степень заполнения барабана мелющими телами, % не более	35
5	Расчетная потребляемая мощность, кВт, не более	610
6	Крупность загружаемого материала (не более), мм	25
7	Номинальная частота вращения барабана, об/мин	14,46
10	Электродвигатель главного привода	ДСП 260/39-36 УХЛ
	Мощность, кВт	900
	Частота вращения, об/мин	167
	Напряжение, В	6000
	Габаритные размеры, мм:	14200х7300х5300

### 1.3 Свойства материала бугары мельницы

Данная мельница изготавливается из стали 09Г2С. Это - низколегированная конструкционная сталь, свариваемая без ограничений [15]. Первая цифра означает содержание углерода в процентах. Цифры после букв, соответствующих легирующим добавкам – их процентное количество в данной марке стали. Исходя из всего вышесказанного сталь 09Г2С содержит 0,09% углерода, 2% марганца и кремний не более 1%. Сталь марки 09Г2С широко используется для сварных конструкций. Сварка может производиться как без подогрева, так и с предварительным подогревом до 100-120 С°. Так как углерода в стали мало, то сварка ее довольно проста, причем сталь не закаливается и не перегревается в процессе сварки, благодаря чему не происходит снижения пластических свойств или увеличения ее зернистости. К плюсам применения этой стали можно отнести также, что она не склонна к отпускной хрупкости и ее вязкость не снижается после отпуска[7]. Вышеприведенными свойствами объясняется удобство использования 09Г2С от других сталей с большим содержанием углерода или присадок, которые хуже варятся и меняют свойства после термообработки. Химический состав стали приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 09Г2С

Si	Cu	As	Mn	Ni	P	Cr	N	S
0,5-0,8%	0,30%	0,08%	1,3-1,7%	0,30%	0,035%	0,30%	0,008%	0,040%

На основании данных по химическому составу определяем эквивалентное содержание углерода в шве по формуле из литературы [9]

$$C_3 = C + Mn/6 + Cr/5 + V/5 + Mo/4 + Ni/15 + Cu/13 + P/2, \quad (1)$$

где C, Mn, Cr, V, Mo и т. д. — процентное содержание легирующих элементов в металле шва. Медь и фосфор учитывают только в том случае, если концентрация меди больше 0,5%, а фосфора больше 0,05 %. Для определения химического состава металла шва можно воспользоваться правилом смешения.

$$C_3 = 0.3/5 + 0.3/15 + 0.3/13 + 0.035/2 = 0.12\%$$

При  $C_3 \leq 45\%$  сталь сваривается хорошо всеми способами сварки плавления. Следовательно, сталь 09Г2С имеет хорошую свариваемость. Механические свойства стали отражены в таблицах 3,4,5.

Таблица 3 – Механические свойства при повышенных температурах

t испытания, °С	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\varphi$ %
Нормализация 930-950 °С				
20	300	460	31	63
300	220	420	25	56
475	180	360	34	67

Таблица 4 – Температура критических точек

Критическая точка	°С
Ac1	725
Ac3	860
Ar3	780
Ar1	625

Таблица 5 – Предел выносливости

$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа
235	475

Физические свойства стали представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физические свойства

Температура испытания, °С	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500
Коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ , $10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ )	11,4	12,2	12,6	13,2	13,8

## 1.4 Выявление существенных недостатков процесса сварки на примере мельницы

Изготовление бутары, и всей мельницы в целом, процесс трудоемкий и требует высокого контроля соблюдения технологического процесса на всех этапах производства.

Бутара барабана изготовлена с продольными и поперечными сварными швами. Количество продольных и поперечных сварных швов определяется диаметром и длиной барабана.

Изготовление бутары начинается с разметки листа под вырезку заготовок, выполняется с помощью линейки, циркуля, керна и молотка. Разметка применяется для определения контура вырезаемой или обрабатываемой детали, для определения мест и размеров внутренних вырезов, расположения центров отверстий, размеров фасок, место гибки и границ механической обработки, а в некоторых случаях для указания базовых плоскостей деталей.

При разметке необходимо учитывать припуски на линейные укорочения от сварки и они указаны в технологической документации.

Бутару изготавливают вальцовкой стальных листов на гибочных вальцах или его штамповкой с последующей сборкой и сваркой в обечайку.

Сварные швы подвергаются ультразвуковому контролю (УЗК) по ГОСТ 14782-86 в объеме 100%. Допускаются без исправления, до 8 дефектов на любые 100 мм длины шва. Дефекты, превышающие норму, подлежат исправлению с последующим УЗК.

Маркировка мельницы и сборочных единиц должна быть выполнена на видном месте и способом, обеспечивающим ее сохранность на весь срок службы изделия до списания.

На каждой мельнице должна быть прикреплена табличка по ГОСТ 12970 или ГОСТ 12971, содержащая;

- товарный знак или наименование предприятия изготовителя;
- условное обозначение мельницы;

- дату выпуска.

Сборочные единицы мельниц должны иметь маркировку в местах, указанных в рабочих чертежах.

Сварка бутары производится механизированной сваркой в среде углекислого газа. Продольный стык конуса сваривается швом С17 (ГОСТ 14771-80),  $S=10$  мм, длина шва - 1,5 м, фланец к конусу приваривается швом Т2 (ГОСТ 23518-80),  $S=10$  мм, длина шва - 5,0 м, сектора привариваются по спирали внутри конуса швами по ГОСТ 14771-80 - Т3 Δ5, длина шва 1,2 м и Т2 (ГОСТ 23518-80),  $S=10$  мм, длина шва 13,2 м, ребра между фланцем и конусом привариваются швом Т3 Δ5 (ГОСТ 14771-80), длина швов - 2,5 м, ушки между фланцем и конусом привариваются швом Т8 S20 по ГОСТ 14771-80, длина швов - 0,8 м. Длина сварочных швов данной бутары составляет 24,2 метров, толщина металла 10; 20 мм. Сварку ведут сварочной проволокой диаметром 1,2 мм Св.08Г2С [32,5]. Режим сварки бутары приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Режим механизированной сварки бутары мельницы

S, мм	Соединение	Лш, м	dпр, мм	Id, А	Uд, В	Qco <sub>2</sub> , л/мин	Vпр, м/ч	Примечание
10	С17	1,5	1,2	180-250	23-32	14-16,5	16-20	Проволока Св.08Г2С, омедненная, ΔU <sub>xx</sub> =2,0В
10	Т2	18,2						
10	Т3Δ5	3,7						
20	Т8	0,8						

Регулирование величины тока и напряжения дискретное. Регулирование подачи присадочной проволоки – плавное, если комплект оборудования состоит из источника питания типа ВС или ВД и механизма подачи проволоки типа ВДГ, то возможности влиять на разбрызгивание металла ограничены.

Процесс механизированной сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, обладая рядом преимуществ, имеет и недостатки. [8]

Механизированная сварка в углекислом газе позволяет осуществлять сварочные работы под любым углом в пространстве и на весу, эффективнее ручной сварки в 2-3 раза. Механизированная сварка, в отличие от автоматической, маневреннее и легче, что дает сварщику свободу при перемещении между узлами конструкций[18].

Сварка плавящимся электродом в углекислом газе дает большое разбрызгивание металла на токах 200-400 А, что требует дальнейшей зачистки шва и поверхности изделия. Внешне шов хуже смотрится, чем при сварке под флюсом[29]. Сварочный шов не устойчив к деформации и внутреннему давлению. Недостатком является большое выделение газа на месте сварки. К недостаткам следует отнести отсутствие многообразия при выборе режима, т.к. завод в основном приобретает проволоку одного диаметра  $d_{пр}=1,2\text{мм}$ .



## 1.5 Номенклатура оборудования для механизированной сварки плавящимся электродом и технологические свойства

В настоящее время на заводе ОАО «Тяжмаш» сварка практически любой металлоконструкции осуществляется механизированной сваркой плавящимся электродом  $d_{пр} = 1,2\text{мм}$  в защитном газе, которая имеет высокий коэффициент разбрызгивания металла  $K_{разбр}$ , отсюда вытекает необходимость поиска решения по снижению  $K_{разбр}$ .

Оборудование и оснастка для выполнения производственного процесса сборки, сварки обечайки барабана мельницы, являются одним из основных элементов. Поэтому при разработке проекта необходимо установить рациональный состав оборудования и оснастки.

Основными критериями для окончательного выбора рациональных типов оборудования должны служить следующие признаки: техническая характеристика, наиболее отвечающая всем требованиям; наибольшая эксплуатационная надежности и относительная простота обслуживания; наибольший КПД и наименьшее потребление энергии при эксплуатации; наименьшие габаритные размеры оборудования, обуславливающие минимальную необходимую площадь для размещения его в цехе; наименьшая сумма первоначальных затрат на приобретение и монтаж в цехе данного оборудования. При выборе способа сварки основными критериями, по которым ведётся анализ возможности, и рациональности применения конкретного способа сварки являются: химическая активность материала сварной конструкции; толщина материала; протяжённость, конфигурация и положение швов в пространстве; соответствие степени механизации способа сварки условиям производства сварной конструкции; сокращение энергопотребления.

В состав стали 09Г2С не входят элементы склонные к активному окислению при сварке. Поэтому для сварки такой стали, могут быть применены практически все известные способы сварки: сварку плавящимся электродом в инертных газах, сварку плавящимся электродом в активных газах, сварка под

флюсом, электрошлаковая сварка, электронно-лучевая сварка, лазерная сварка, контактная сварка, сварка давлением.

Сварные швы изделия прямолинейные, поэтому целесообразнее использовать сварку: сварку под флюсом, сварку плавящимся электродом в инертных газах, сварку плавящимся электродом в активных газах, сварку плавящимся электродом в смеси активных и инертных газов, электрошлаковую сварку. Сварку давлением производить технологически трудно из-за больших габаритов изделия и относительно габаритов маленькой толщины стенки (при давлении большая возможность коробления изделия).

Продукция производится в заводских условиях. Выбираем способы сварки: автоматическую сварку под флюсом, полуавтоматическую сварку плавящимся электродом в смеси активных и инертных газов, электрошлаковую сварку.

Сварка под флюсом, обладает весомым недостатком – большая жидкотекучесть, поэтому приходится проектировать дополнительные приспособления для сварки горизонтальных, вертикальных, потолочных швов в пространстве.

Основным недостатками электрошлаковой сварки является производство сварки только в вертикальном или близко к вертикальному положениях. Минимальная толщина деталей, образующих стыковое соединение при электрошлаковой сварке без технологических затруднений, находится в пределах 25-30мм. Экономически целесообразнее использовать электрошлаковую сварку при изготовлении толстостенных конструкций.

Известно, что  $K_{разб}$  зависит от формы внешней ВАХ источника питания, причем каждому диаметру проволоки соответствует определенный наклон внешней ВАХ источника питания. В таблице 8 приведена номенклатура оборудования завода ОАО «ТяжМаш», применяемого для сварки плавящимся электродом.

Таблица 8 – Номенклатура оборудования завода «ТяжМаш» для сварки плавящимся электродом.

Оборудование	Модель	Дата изготовления
1	2	3
Трактор сварочный	A2T MultitracSAW LAF 1001	01.07.2013
Установка дуговой п/авт сварки	KEMPPi	01.01.1989-2011
Установка дуговой п/авт сварки	FRONIUS	01.01.2006-2015
Установка дуговой п/авт сварки	FRONIUS VR-5000	01.01.2006
Установка дуговой п/авт сварки	KEMPPi PS-3500	01.01.1986,89
Установка дуговой п/авт сварки	KEMPPi FitWeld 300	01.01.2014
Установка дуговой п/авт сварки	KEMPPi PS-4000	01.01.2006
Установка дуговой п/авт сварки	KEMPPi PS-5000 ФУ-30	01.01.1990
Аппарат сварочный	TransPocket 2500	01.01.2015
Аппарат сварочный	TransPocket 2500/3500	01.01.2015
Полуавтомат	A-1197Г	01.01.1991
Автомат	A-1416	01.01.1987
Трактор сварочный	A2	01.01.2007
Автомат сварочный	A-535 с ТПС-1000	01.01.2007
Полуавтомат сварочный	A-547	01.01.1990
Выпрямитель сварочный	ВДГ-303	01.01.1987
Выпрямитель сварочный	ВДГ-601	01.01.1990
Выпрямитель сварочный	ВДМ-1001	01.01.1985-1994
Выпрямитель сварочный	ВДМ-1201	01.01.1993
Выпрямитель сварочный	ВДМ-1202С	01.01.2012
Выпрямитель сварочный	ВДМ-1601	01.01.1971
Выпрямитель сварочный	ВДМ-3001	01.01.1968, 1973
Выпрямитель сварочный	ВДМ-6303	01.12.2010, 2011, 2014
Выпрямитель сварочный	ВДН-1201	01.01.1994
Выпрямитель сварочный	ВДУ-1000	01.02.2014
Выпрямитель сварочный	ВДУ-1201	01.01.1985-1988
Выпрямитель сварочный	ВДУ-1202	01.01.1985-2014

Выпрямитель сварочный	ВДУ-1250	01.02.2009
Выпрямитель сварочный	ВДУ-504	01.01.1982, 1985
Выпрямитель сварочный	ВДУ-505	01.01.1985-1993
Выпрямитель сварочный	ВДУ-506	01.01.1986-1993
Выпрямитель сварочный	ВД-301	01.01.1972, 1977
Выпрямитель сварочный	ВД-401	01.01.1976
Выпрямитель сварочный	ВД-402	01.01.1989, 1990
Выпрямитель сварочный	ВКСМ-1000	01.01.1968-1975
Выпрямитель сварочный	ВМГ-5000	01.01.1977, 1989
Выпрямитель сварочный	ВС-300Б	01.01.1990
Выпрямитель сварочный	ВС-300Б1	01.01.1990
Выпрямитель сварочный	ВС-600	01.01.1972-2014
Выпрямитель сварочный	ВС-632	01.01.1991
Установка дуговой п/авт.сварки	Кемпомат-180Р	01.01.1990
Полуавтомат выпрямитель	ПДГО-510 ВДУ-601	01.01.2005
Полуавтомат с источником питания	ПДГО-601 с ВДУ-601	01.01.2008
Полуавтомат свар. с выпрямител.	ПДГО-603 с ВС-600С	01.10.2008, 2011, 2012
Полуавтомат	ПДГ-508	01.01.1989, 1991, 2005
Полуавтомат выпрямитель	ПДГ-508 КИГ-601	01.01.2005
Полуавтомат	ПДГ-525	01.01.1994
Преобразователь	ПД-501	01.01.1977
Преобразователь	ПСГ-500	01.01.1983
Преобразователь	ПС-1002	01.01.1969
Трактор сварочный	ТС-16	01.02.2009
Полуавтомат сварочный	УДГУ-501	01.01.2007

Анализ характеристик источников питания завода показал, что сварочные выпрямители типа ВС-300Б, ВС-300Б1, ВС-600, ВС-632, ВД-301,401,402 имеют жесткую внешнюю вольтамперную характеристику (ВАХ) и рекомендуются для сварки  $d_{пр} < 1,0\text{мм}$  (рис.11).

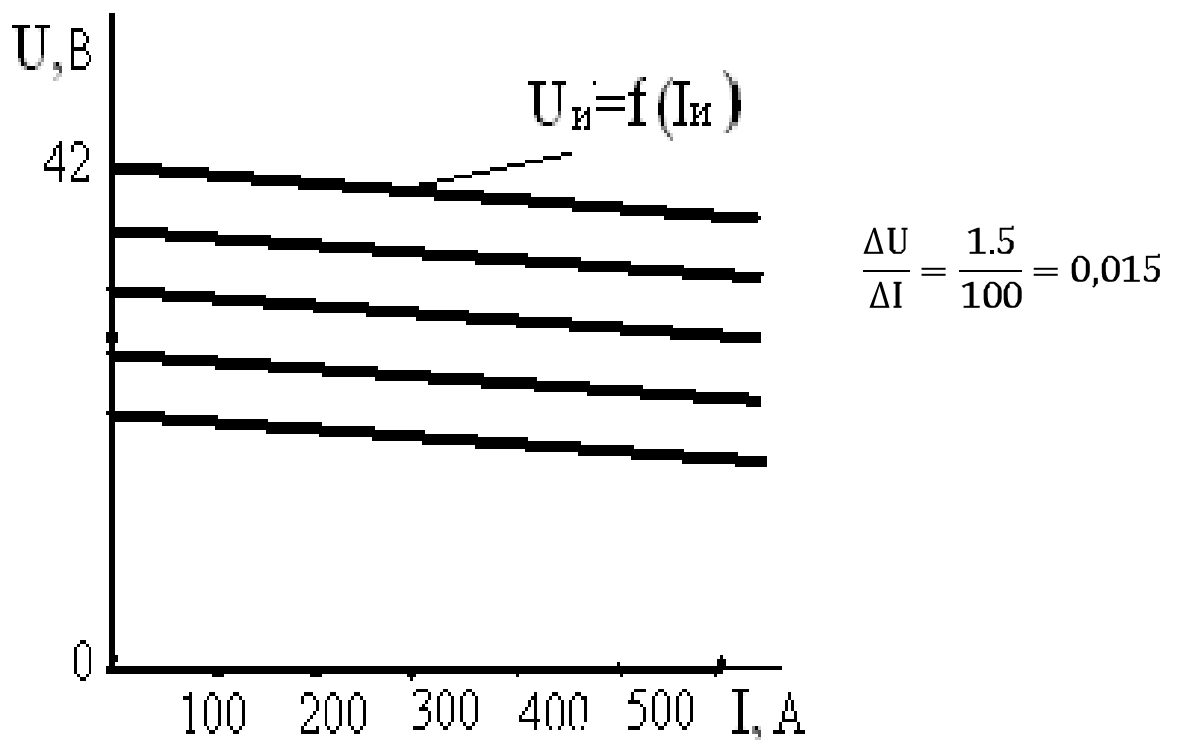
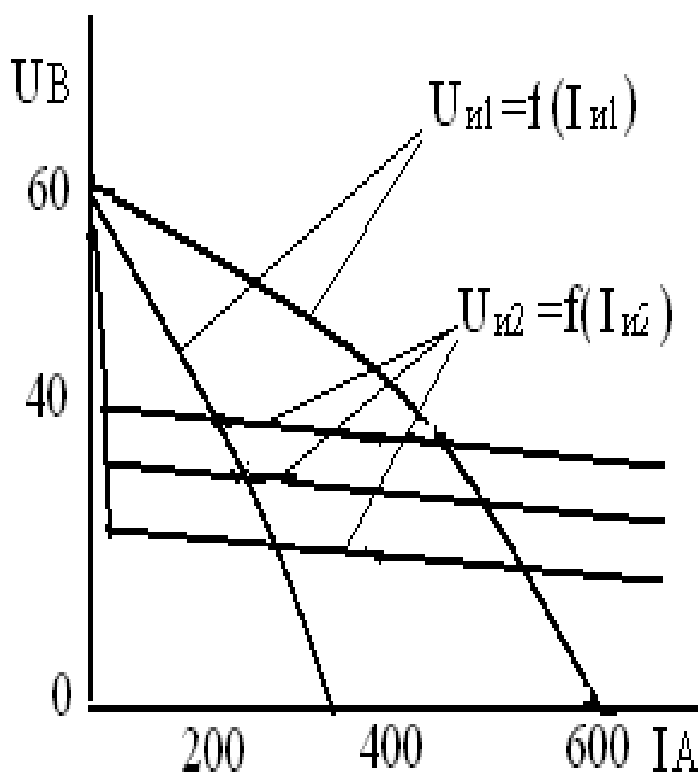


Рисунок 11 – Внешние ВАХ сварочных выпрямителей типа ВС и ВД

На рисунке 11 приведены внешние ВАХ сварочных выпрямителей типа ВС и ВД, которые обладают жесткими вольтамперными характеристиками с наклоном  $\frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{1.5}{100} = 0,015\text{В/А}$  и рекомендуются при сварке плавящейся электродной проволокой диаметром до 1,2 мм. В этом случае удастся обеспечить минимальное разбрызгивание проволоки[24].

Завод располагает проволокой  $d_{пр}=1,2\text{мм}$ , поэтому подобрать режим с минимальным коэффициентом разбрызгивания ( $K_{разбр}$ ) сложно.

Сварочные выпрямители типа ВДУ-504, 505, 506 имеют пологопадающую внешнюю ВАХ и рекомендуются для сварки  $d_{пр}=1,2-2$  мм.



$$\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = \frac{4}{100} = 0,04 \frac{В}{А} \text{ - для пологопадающей;}$$

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2} = \frac{16,6}{100} = 0,17 \frac{В}{А} \text{ - для падающей;}$$

Рисунок 12- Внешние ВАХ сварочных выпрямителей типа ВДУ

На рисунке 12 приведены внешние ВАХ универсальных сварочных выпрямителей типа ВДУ, которые обладают как пологопадающими вольтамперными характеристиками, так и падающими. Этот тип источника питания рекомендуются при сварке плавящейся электродной проволокой диаметром от 1,2 мм и покрытыми электродами [30]. Для механизированной сварки плавящимся электродом при этом наклоне внешней ВАХ удастся обеспечить минимальное разбрызгивание проволоки при наклоне ВАХ  $\partial U / \partial I > 0,06$  В/А для  $d_{пр}=1,6-2,0$  мм.

Все многопостовые сварочные выпрямители выпускаются с жесткими внешними ВАХ. Для того чтобы их использовать при механизированной сварке плавящимся электродом придется ставить дополнительно балластные сопротивления, которые создадут падающие внешние ВАХ на сварочном посту.

На рисунке 11 приведены внешние ВАХ многопостовых сварочных выпрямителей типа ВДМ, ВКСМ, ВМГ, которые позволят создать на каждом отдельном посту падающие или полого падающие вольтамперные характеристиками и могут быть рекомендованы при сварке плавящейся электродной проволокой диаметром 2,1 мм и более. В этом случае удастся обеспечить минимальное разбрызгивание проволоки. Многопостовые сварочные выпрямители применяются, как для ручной сварки покрытыми электродами, так и для механизированной сварки. Наклон внешней ВАХ удастся поддерживать в диапазоне от 0,09 до 0,2В/А.

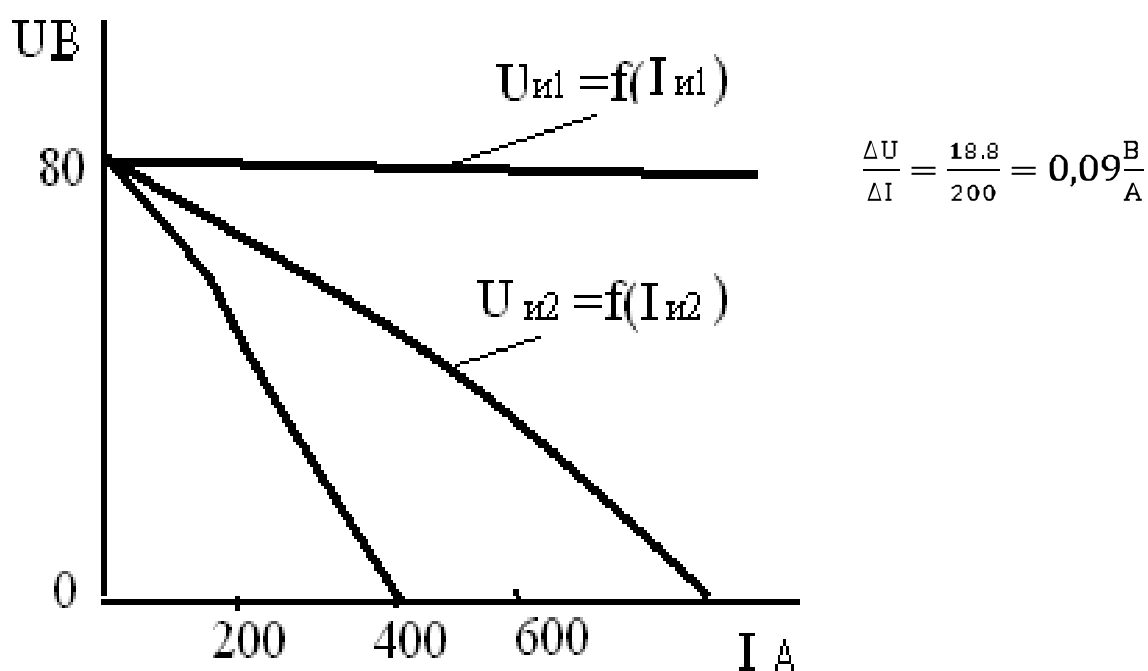


Рисунок 13 – Внешние ВАХ многопостовых сварочных выпрямителей типа ВДМ, ВКСМ, ВМГ

Современное развитие элементной базы электроники позволяет, по сравнению с трансформаторными, тиристорными и первыми инверторными сварочными аппаратами, сформировать вольтамперную характеристику практически любого вида [36]. Определение влияния параметров внешней вольтамперной характеристики на сварочно-технологические свойства процесса сварки представляет определенные сложности, связанные с учетом воздействия на процесс многих параметров, индивидуальных особенностей сварщика и др.

В последние годы завод приобрел установки фирмы KEMPP, FRONIUS, которые включают в себя инверторы и обладают «ломаными» внешними ВАХ. Сварочные свойства инверторов не достаточно изучены.

На рисунке 14 приведены внешние ВАХ инверторов для механизированной сварки фирм KEMPP, FRONIUS и Рязанского приборного завода, которые обладают «ломаными» вольтамперными характеристиками и рекомендуются при сварке плавящейся электродной проволокой диаметром от 0,8 до 2,1мм. В этом случае минимального разбрызгивания проволоки можно достичь путем изменения наклона ВАХ и определения оптимальных параметров режима сварки для каждого диаметра электродной проволоки.

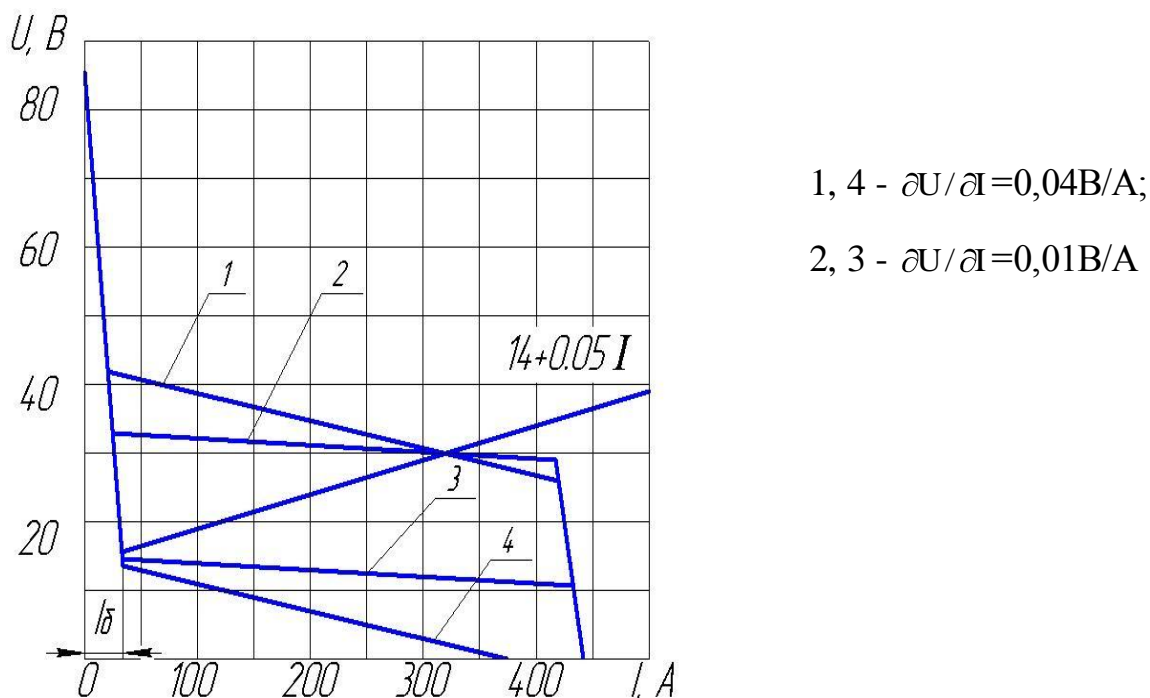


Рисунок 14 - Внешние ВАХ сварочных инверторов для механизированной сварки фирм KEMPP, FRONIUS и Рязанского приборного завода

Механизированная сварка в углекислом газе выполняется серийно выпускаемыми полуавтоматами и автоматами, которыми комплектуются сварочные источники питания: автоматы – АДГ-502; полуавтоматы – ПДГ-305, ПДГ-308, ПДГ-312, ПДГ-502, ПДГ-508, ПДГ-512, ПДГ-516, ПДГ-603, А-765; сварочные источники тока – ВДГ-303, ВДГ-601, ВДУ-305, ВДУ-504, ВДУ-505,



ВДУ-506, ВДУ-601, ВДУ-1201. Широкое применение сварки в углекислом газе обусловлено высокой производительностью процесса, удовлетворительным качеством сварного шва, низкой стоимостью CO<sub>2</sub> и возможностью сварки во всех пространственных положениях, за счет чего происходит вытеснение ручной дуговой сварки листов толщиной от 1 до 3 мм. Производительность сварки в углекислом газе выше производительности сварки под флюсом при плавлении сварочной проволоки диаметром до 2 мм. Источник питания в комплекте с механизированной подачей присадочной проволоки должны обеспечить технологические свойства сборки.

К показателям сварочных свойств оборудования относятся: 1) стабильность процесса сварки; 2) разбрызгивание металла; 3) качество формирования шва. Возможность регулировать параметры ИП и механизированной подачи проволоки позволят определить область параметров сварки, обеспечивающих минимальный Кр.

## 1.6 Предложения по совершенствованию механизированной сваркой плавящимся электродом

С учетом постоянно растущих требований к качеству изготовления продукции производственные мощности завода необходимо постоянно обновлять. С целью сокращения производственного цикла, исключения влияния человеческого фактора на производственный процесс, улучшения качества изготавливаемой продукции и обеспечения экологической безопасности, парк оборудования непрерывно проходит модернизацию.

Снижение производственных затрат при одновременном достижении высокой производительности, качества и надежности выпускаемых изделий – главные требования, предъявляемые к технологическому процессу производства сварных конструкций.

Успешное решение данной проблемы в значительной степени определяется оснащенностью сварочного производства, причем при выборе варианта оснащения в каждом конкретном случае следует учитывать не только техническую возможность выполнения запроектированных операций, но и экономическую целесообразность.

Одним из самых распространенных способов сварки является сварка плавящимся электродом из-за простоты осуществления процесса, универсальности и меньших затрат на вспомогательные операции и оборудование. Однако, наряду с известными достоинствами, этот процесс характеризуется нестабильностью и повышенным разбрызгиванием электродного металла, что снижает эффективность его применения. В связи с этим в исследованиях наибольшее внимание уделяется изучению теплофизических характеристик дуги, стабильности процесса сварки, переносу электродного металла и управлению им, разработке новых конструкций источников питания, токопровода, подающих механизмов и т.д.

Анализ научно – технической литературы проведен по журналам «Сварочное производство», ОАО Электромеханики «75 лет инноваций», публикациям статей в «Студенческие дни науки в ТГУ».

Еще в 70-е годы остро стояла проблема снижения разбрызгивания металла при сварке плавящимся электродом. За короткий промежуток времени была создана серия источников питания «ВСП-160И» для сварки плавящимся электродом, в которых ток изменяется по программе с частотой от 10 до 100 Гц. Однако была выпущена только экспериментальная партия. Коэффициент разбрызгивания металла при импульсно – дуговой сварке резко уменьшился, но серийного выпуска этого оборудования не произошло. Технологическое исследование созданного оборудования провели в лаборатории города Ржев ОАО «Электромеханика» сотрудниками ОКБ. [4]

Исследованы существующие способы сварки, направленные на уменьшение разбрызгивания электродного материала.

При выборе присадочного металла при сварке необходимо учитывать химический состав сварочной проволоки для получения качественного сварного соединения.

Перенос металла с электрода на изделие является одной из важнейших характеристик сварки плавящимся электродом в защитной среде газа CO<sub>2</sub>, он определяет технологические характеристики и области применения процессов сварки. Перенос металла может происходить в виде жидких капель различных размеров и пара.

Предложения по улучшению базового технологического процесса сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Варианты улучшения базового технологического процесса

Недостатки процесса сварки	Предложения по улучшению процесса сварки
Разбрызгивание металла на токах 200-400А	Определить область оптимальных параметров режима механизированной сварки проволокой диаметром 1,2мм

Сварочный шов не устойчив к деформации и внутреннему давлению	Применить импульсный ввод тепла при сварке плавящимся электродом
---	--

Таким образом, сформулируем задачи ВКР.

1. Выявить особенности сварки плавящимся электродом в  $\text{CO}_2$
2. Определить область оптимальных параметров механизированной сварки, обеспечивающие минимальное разбрызгивание электродной проволоки.
3. Разработать рекомендации по снижению Кр за счет импульсного тепла

## 2 Особенности дуги при сварке плавящимся электродом в среде защитного газа

Сварка плавящимся электродом один из самых производительных способов, который позволяет обеспечивать скорость сварки до 120м/ч. Наибольшая скорость сварки обеспечивается при обратной полярности, когда «+» подается на электродную проволоку, обеспечивая высокую скорость расплавления электрода (рис.15).

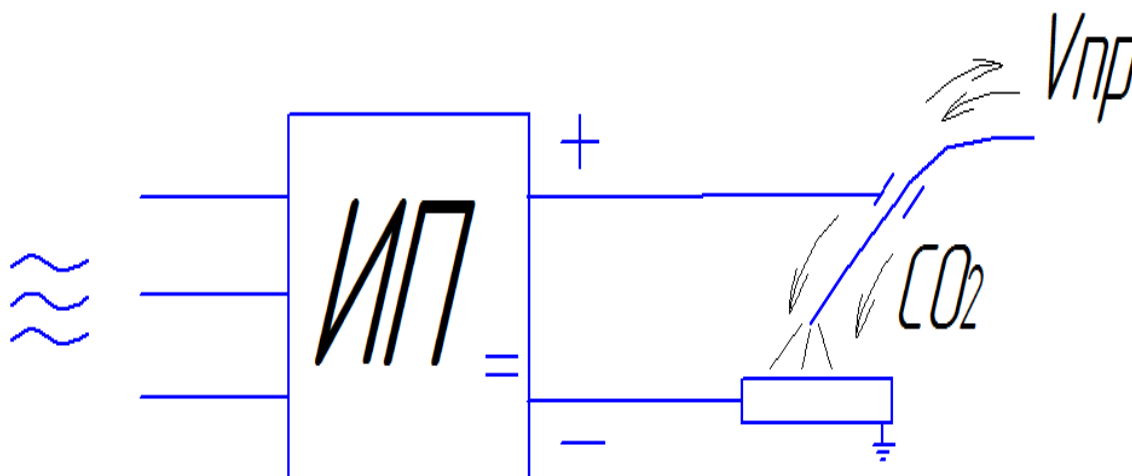


Рисунок 15 – Схема включения сварочного выпрямителя

Известно, что статическая ВАХ дуги при сварке плавящимся электродом – возрастающая (рис.16) [18]

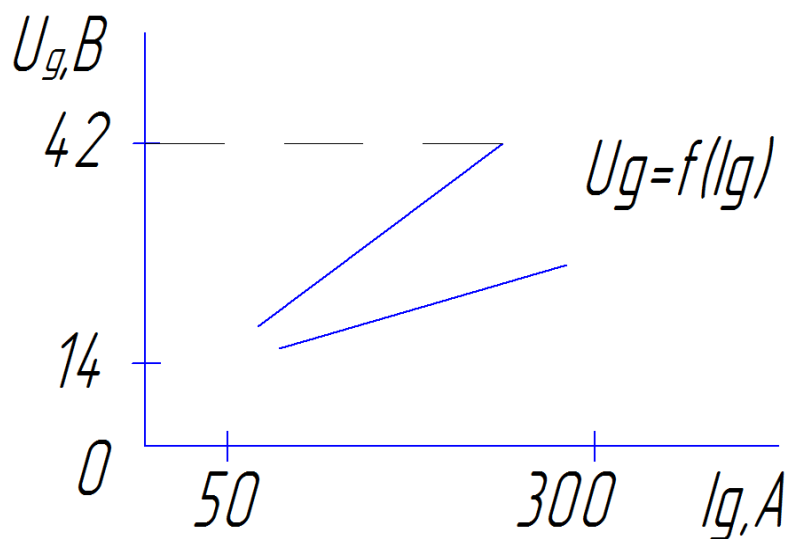


Рисунок 16 – Статическая ВАХ дуги при сварке плавящимся электродом

Характер статической ВАХ зависит от скорости ее подачи, защитной среды, тока дуги [21].

Процесс сварки плавящимся электродом протекает с короткими замыканиями дугового промежутка или без коротких замыканий (КЗ) [13]. Характер процесса разбрызгивания электродного металла зависит от материала присадочной проволоки, защитного газа, плотности сварочного тока, которая определяется по формуле (2)

$$j = \frac{I_{max}}{S_{пр}}, \frac{А}{мм^2}, \quad (2)$$

где  $S_{пр}$  – сечение присадочной проволоки,  $мм^2$ .

Процесс сварки с КЗ сопровождается разбрызгиванием металла, которое может достигать 10% [11]. Механизм разбрызгивания электродной проволоки и осциллограмма тока показана на рисунке 17.

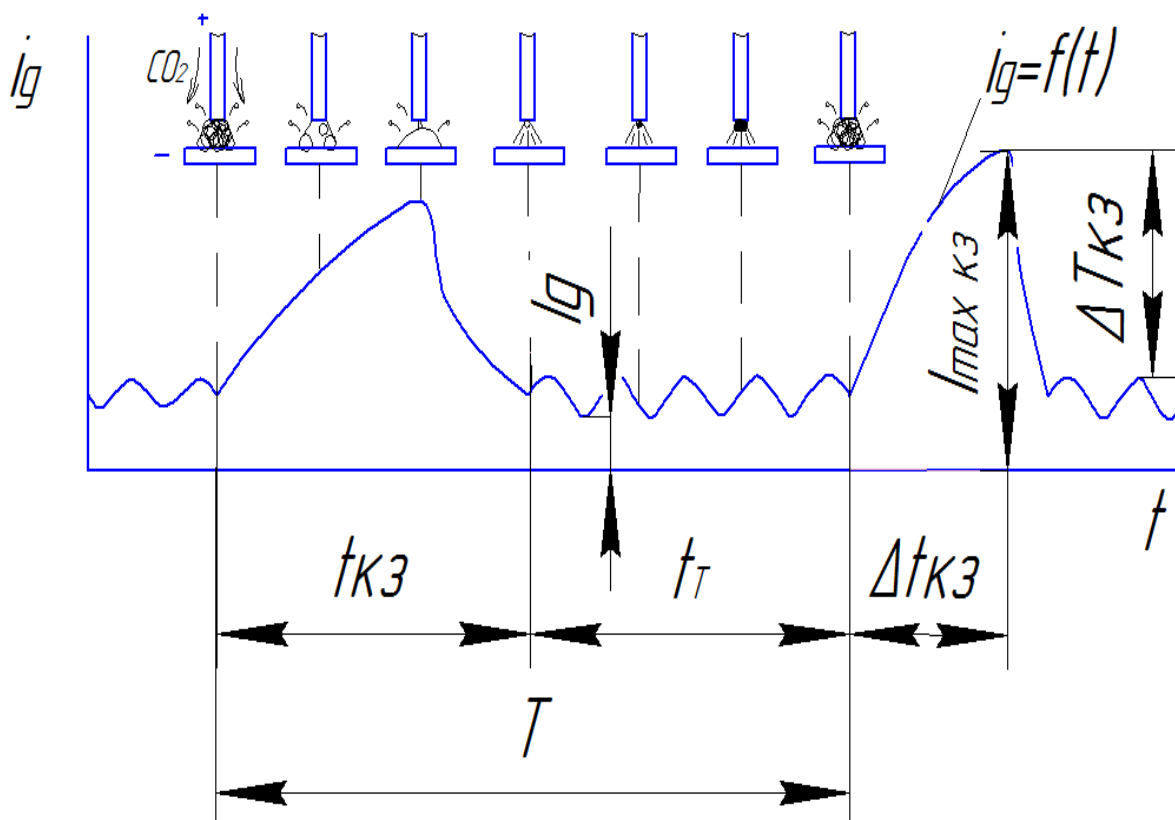


Рисунок 17 – Механизм разбрызгивания электродной проволоки и зависимость  $i_d = f(t)$

Из осциллограммы видно, что в процессе сварки идет чередование длительности короткого замыкания и длительности горения дуги. Разбрызгивание металла происходит в период короткого замыкания. На конце электрода формируется капля расплавленного металла. Она удерживается на электроде в течение  $t_r$ . В это время сумма сил, действующих на расплавленную каплю, удерживается силой поверхностного напряжения жидкого металла (рис.18).

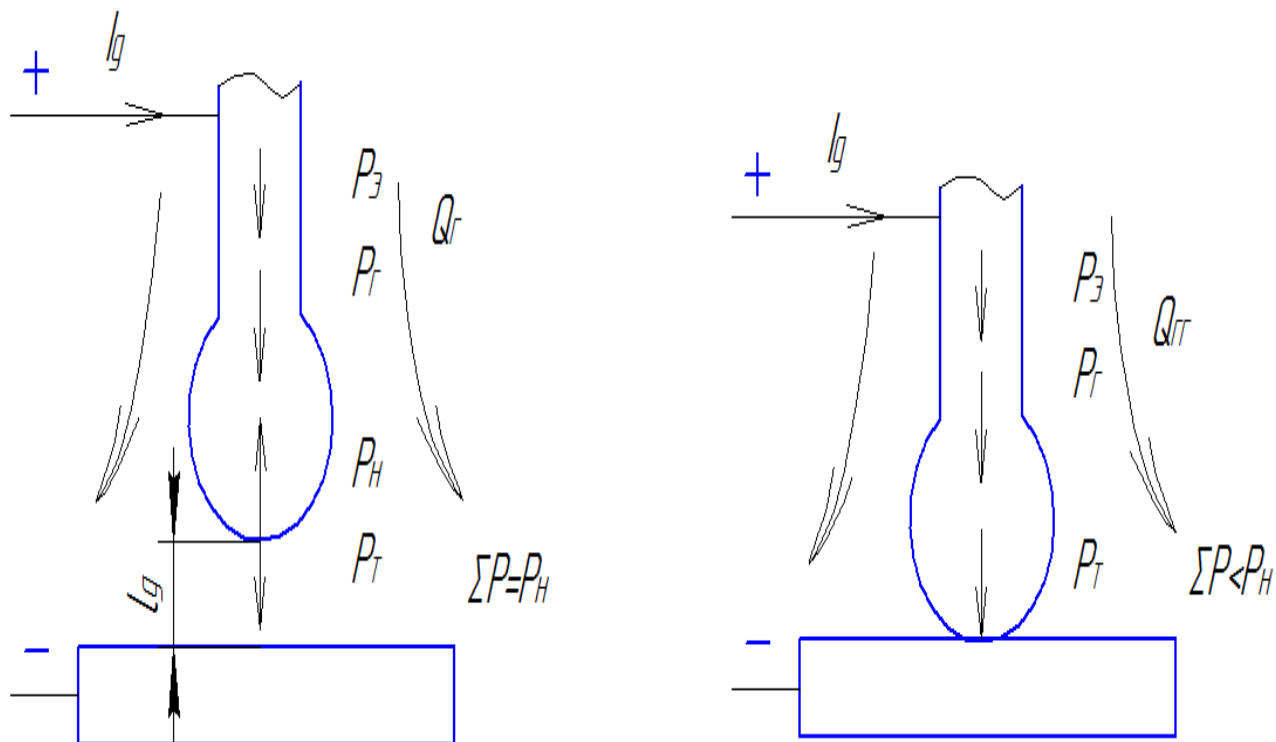


Рисунок 18 – Силы, действующие на жидкую каплю электродной проволоки.

В процессе сварки на жидкую каплю электродной проволоки действуют три силы в одном направлении. Это электродинамическая сила  $P_э$  от действия тока дуги  $I_d$ , воздействие защитного газа  $P_г$  и сила тяжести жидкой капли  $P_т$ . Противодействует этой сумме сил сила поверхностного напряжения жидкой капли  $P_н$ . Эта сила удерживает жидкую каплю на конце электрода (3).

$$P_э + P_г + P_т = P_н, \quad (3)$$

где  $\Sigma P = P_э + P_г + P_т$

Если жидкая капля достигает таких размеров, когда силы поверхностного натяжения становится меньше  $\Sigma P$  и не может удерживать жидкую каплю на конце электрода, происходит короткое замыкание и разбрызгивание металла

$$\Sigma P < P_n.$$

Установлено, что при сварке проволокой  $d_{пр}=(0,8-1,2)$ мм минимальную величину разбрызгивания удастся получить при частоте короткого замыкания  $f_{кз}= (50 - 100)$ Гц, что соответствует скорости нарастания тока короткого замыкания  $di_{кз}/dt = 70-180$  кА/с. Сварочный выпрямитель обеспечивает такую скорость нарастания, если его внешняя ВАХ будет жесткой (рис. 19а).

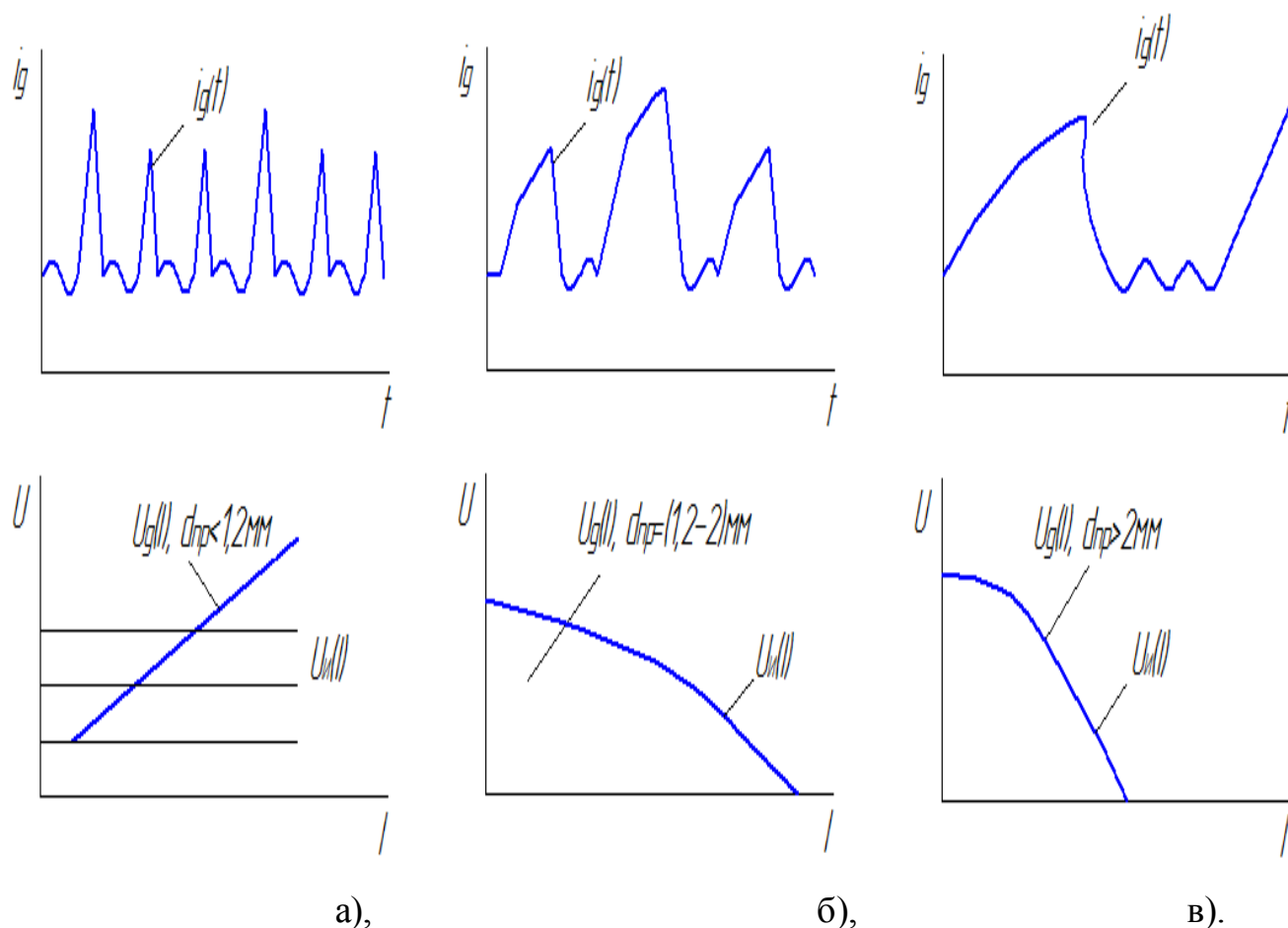


Рисунок 19 – Условия формирования минимального разбрызгивания.

При сварке проволокой  $d_{пр}=(1,2 - 2)$ мм минимальное разбрызгивание удастся получить при  $f_{кз} \leq 50$ Гц и скорости нарастания  $di_{кз}/dt = 15- 60$  кА/с. Это означает, что внешняя ВАХ сварочного выпрямителя должна быть пологопадающей (рис. 19б).



При сварке проволокой  $d_{пр} > 2$  мм минимальное разбрызгивание удается достичь, если  $f_{кз} = 15$  Гц, а  $dI_{кз}/dt \approx 10$  кА/с (рис. 19в).

Условия обеспечения минимального разбрызгивания сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Условия получения минимального коэффициента разбрызгивания  $K_p$ .

$d_{пр}, \text{ мм}$	$dI_{кз}/dt, \text{ кА/с}$ *	$f_{кз}, \text{ Гц}$	$dU/dI, \text{ В/А}$ **	$K_y$ ***	$L, \text{ Гн}$	$K_p, \text{ \%}$	Характер переноса капли
0,8-1,2	70-180	50-100	$\approx 0$	$> 0$	$\approx 0$	min	Струйный
1,2-2,1	15-60	$< 50$	$< 0$	$> 0$	$\neq 0$	min	Мелко-струйный
$> 2,1$	$\leq 10$	$\leq 15$	$\ll 0$	$> 0$	$\approx 0$	min	Крупно-капельный

\*  $dI_{кз}/dt$  – скорость нарастания тока короткого замыкания, кА/с;

\*\*  $dU/dI$  – наклон вольт-амперной характеристики источника питания сварочной дуги  $U_{и} = f(I_{и})$ , В/А;

\*\*\*  $K_y$  – коэффициент устойчивости системы источник питания – дуга

$$\frac{\partial U_{д}}{\partial I} - \frac{\partial U_{и}}{\partial I} = K_y$$

$$K_{разбр} = G_{брызг} / G_{электрод} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $G_{брызг}$  – вес брызг на заданную длину свариваемого образца,

$G_{электрод}$  – вес электродной проволоки на заданную длину свариваемого образца.

Учитывая особенности процесса сварки плавящимся электродом необходимо характеризовать его следующими параметрами:  $I_{д}$ ,  $U_{д}$ ,  $Q_{заш}$ ,  $f_{кз}$ ,  $d_{пр}$ ,  $L_{ип}$ ,  $V_{пр}$ ,  $V_{св}$ .

Анализ характеристик сварочных выпрямителей, которыми располагает завод, показал, что наибольшее количество сварочных постов оснащено источниками питания, у которых наклон внешних ВАХ можно регулировать только за счет включения в сварочную цепь балластных сопротивлений.

Применительно к современному этапу развития завода необходимо для уменьшения  $K_{разб}$  при сварке изделий провести доработку имеющихся сварочных выпрямителей или приобретать современные источники способные изменять наклон внешних ВАХ при изменении  $d_{пр}$ .

## 2.1 Обоснование выбора защитного газа

Выбор защитного газа определяется химическим составом свариваемого металла, требованиями, предъявляемыми к свойствам сварного соединения.

Механические свойства сварного шва сильно зависят от типа защитного газа. Использование сварочной смеси на основе аргона уменьшает количество оксидных включений и измельчает зерно, улучшая микроструктуру металла; увеличивает глубину провара шва, повышает его плотность, что в конечном итоге увеличивает прочность свариваемых конструкций. Высокая усталостная прочность, лучший внешний вид изделий, все это весомые аргументы в пользу применения защитных газовых смесей при сварке. Более высокая производительность сварки по сравнению с традиционной (в защитной среде CO<sub>2</sub>). Это происходит из-за меньшего поверхностного натяжения расплавленного металла, вследствие чего на 70-80% снижается разбрызгивание и набрызгивание электродного металла; незначительное количество брызг и поверхностного шлака во многих случаях исключает работы по зачистке свариваемых элементов. Использование защитных газовых смесей уменьшает расход электроэнергии и материалов на 10-15%. Значительно меньшее количество дыма, сварных аэрозолей сохраняют здоровье сварщика и позволяют ему длительное время работать с большим вниманием.

Ar– 3-10% CO<sub>2</sub>. Эта смесь приобрела популярность как универсальная, поскольку она с успехом применяется для сварки циклическим режимом короткой дугой и для сварки со струйным переносом металла. Газовая смесь с 5%-ным содержанием углекислого газа применяется для импульсного режима GMAW сварки. Сварной шов имеет меньшее окисление, чем при использовании Ar - 2% , при этом достигается лучшее проплавление и меньшая пористость сварного шва.

Ar – 5-10% CO<sub>2</sub>. Применение этой смеси дает характерный жесткий столб дуги. Мощная дуга имеет хорошо управляемую сварочную ванну и способствует образованию окалины.

Ar – 11-20% CO<sub>2</sub>. Эта смесь используется для высокоскоростной GMAW сварки листового металла с малым зазором. Наибольшее применение имеет для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Смесь, содержащая 11-20% углекислого газа, позволяет получить максимальную скорость сварки при сварке металлов небольшой толщины. Сварка с нижним пределом содержания CO<sub>2</sub> в газовой смеси также имеет улучшенные показатели наплавки, но меньшее брызгообразование.

Ar – 21-25% CO<sub>2</sub>. Эта газовая смесь применяется во всем мире для сварки низкоуглеродистых сталей циклическим режимом сварки короткой дугой. Смесь обеспечивает хорошую устойчивость дуги и управляемость сварочной ванны, хороший внешний вид сварного шва и высокую производительность, кроме того, позволяет сваривать металлы большой толщины на больших значениях сварочного тока.

Ar – 50% CO<sub>2</sub>. Эта смесь применяется, когда необходимо высокое тепловложение и глубокое проплавление. Рекомендуется применять для сварки металлов толщиной более 3 мм. Данная смесь популярна при сварке трубопроводов циклическим режимом сварки короткой дугой. Хорошее сплавление и внешний вид шва, отсутствие чрезмерной текучести сварочной ванны – преимущества при сварке трубопроводов. Склонность к прожогам при сварке тонких материалов ограничивает универсальность смеси.

Материал изготовления обечайки барабана сталь 09Г2С, толщина 30мм. Для выбора газовой защиты шва следует применить газовую смесь аргон – 25%, углекислота – 75%, данная смесь применяется для сварки больших толщин и оптимально подходит для сварки низколегированных сталей. Эта смесь имеет высокую окислительную способность, обеспечивает глубокое проплавление и хорошую форму, предохраняет шов от пористости.

3 Технологические исследования области параметров режима механизированной сварки, формирующих шов с минимальным разбрызгиванием

### 3.1 Методика проведения технологических испытаний

В соответствии с заданием на диссертационную работу объектом исследования является технологический процесс механизированной сварки в защитной среде газа в комплекте с источником питания постоянного тока фирмы Kemppi FastMig (инвертор), с механизмом подачи проволоки и горелкой фирмы Kemppi.

Оценка сварочных свойств и определение параметров источников питания в комплекте с подающим механизмом выполняется при наплавке на образцы. В процессе наплавки определяются показатели сварочных свойств оборудования с бальной оценкой по дифференциальному методу по ГОСТ 25616-83 «Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств» и РД03-614-03 «Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов». К показателям сварочных свойств оборудования относится: 1) стабильность процесса сварки; 2) разбрызгивание металла; 3) качество формирования шва.

Для оценки такого показателя, как разбрызгивание предлагается дать оценку образцов трем членам специальной комиссии по 5-и бальной системе, определив средний балл (таблица 11).

Таблица 11 – Оценка разбрызгивания металла при сварке.

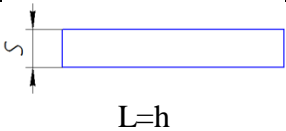
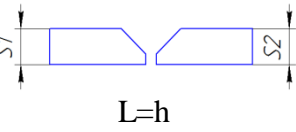
Показатель	Оценка	Краткая характеристика показателя	Члены комиссии	Член комиссии	Председатель ком.	Средний балл
Разбрызгивание металла	1	Очень большое. Очень много крупных, трудноудаляемых брызг вблизи шва				

2	Большое. Много крупных, трудноудаляемых брызг, вблизи шва				
3	Повышенное. Умеренное количество крупных и мелких, легко удаляемых брызг, вблизи шва				
4	Умеренное. Мелкие брызги, равномерно распределенные вблизи шва				
5	Малое. Мало мелких брызг на поверхности образца				

Технологические испытания сварочного оборудования и исследования по определению оптимальных областей сварки плавящимся электродом проводятся при изменении наклона внешней вольтамперной характеристики источника питания, скорости нарастания тока короткого замыкания в зависимости от диаметра электродной проволоки  $d_{пр}$ . Технологические исследования для сварки плавящимся электродом проводятся в два этапа:

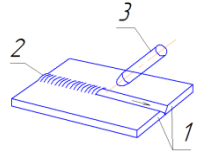
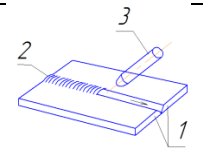
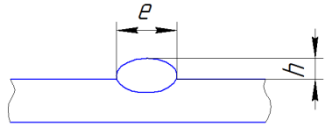
- 1) Наплавка образцов на пластину толщиной 10 мм;
- 2) сварки стыковых соединений 09Г2С толщиной 10мм без зазора, с зазором 0,5 – 2,0мм проволокой Св-08Г2С. Варианты сварных соединений приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Варианты сварных соединений\*

S, мм	Диаметр проволоки, мм	Эскиз соединения	Примечание
10	1,2		Наплавка
10	1,2		S1=S2 Сварка на весу

- Защитная среда – углекислый газ, расход 8 – 10л/мин

Таблица 13 – Определение оптимальных областей параметров при сварке плавящимся электродом при изменении  $di/dt$ ,  $\Delta U/\Delta I$ ,  $V_{пр}^*$

Диаметр проволоки, мм	Эскиз наплавки	U, В	I, А	$V_{св}$ , м/ч	$V_{пр}$ , м/ч	e, мм	h, мм	Условия эксперимента
1,2	 1 – шов; 2 – электрод; 3 – пластины							$\Delta U/\Delta I=1,5/100=$ $=0,015В/А$ ВС, ВД
1,2	 1 – шов; 2 – электрод; 3 – пластины							$\Delta U/\Delta I \approx 0,01-$ $0,04В/А$ KemppiFidWeld 300
1,2								$\Delta U/\Delta I=18,8/200=$ $=0,09В/А$ ВДМ

\* Защитная среда – углекислый газ, расход 9л/мин

Определение оптимальных областей сварки плавящимся электродом проводятся при наплавке на пластины  $S=10$ мм.

Для технологических исследований используются образцы толщиной 10мм, 20мм из стали 09Г2С. Химический состав стали 09Г2С приведен в таблице 3. В качестве сварочной проволоки использована марка Св-08Г2С, ее химической состав приведен в таблице 14. В обозначении проволоки указано «Св», затем система легирования и примерное содержание элементов. Средний % углерода в сотых долях процента указывается сразу за обозначением «Св». При содержании элементов менее 2% цифра не ставится.

Таблица 14 – Химический состав проволоки Св-08Г2С

Марка проволоки	С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
	не более		не более				
Св-08Г2С	0,10	1,4-1,7	0,85	0,2	0,25	0,025	0,03

При сварке бугары барабана мельницы МСЦ 3200x4500 низколегированной конструкционной стали по химическому составу подходит низкоуглеродистая сварочная проволока Св-08Г2С-О Ø1,2мм.

Для контроля параметров сварки  $I$ ,  $U$ ,  $Q_{\text{заш}}$ ,  $V_{\text{св}}$ ,  $V_{\text{пр}}$  используются следующие приборы регистраторы:

- амперметры, вольтметры цифровые, класс точности 1,5;
- осциллограф типа С-55, класс точности 2,5;
- регистратор EN 6010-1 ВeeTech 820, класс точности 2,5;
- ротаметры EN FLOW 1.3-30 «Linde», класс точности 1,5;
- регистратор;
- датчик тока;
- датчик напряжения;
- программы.

Измерение контрольных параметров проводится с применением измерительных приборов магнитоэлектрической системы по общепринятой методике.

Задача технологических исследований при механизированной сварке плавящимся электродом - определить область оптимальных параметров режимов сварки, обеспечивающих минимальное разбрызгивание электродной проволоки для заданного диаметра за счет взаимодействия таких параметров, как  $U/I$ ,  $dI_{\text{кз}}/dt$ ,  $U_{\text{д}}$ ,  $f_{\text{кз}}$ ,  $V_{\text{пр}}$ ,  $V_{\text{св}}$  [12].

Регистрация электрических параметров дуги во времени – процесс трудоемкий, требующий специальной аппаратуры и устройств. В процессе исследований, как технологических, так и энергетических характеристик требуется совмещать одновременно зависимости  $i=f(t)$ ,  $u=f(t)$ ,  $p=f(t)$ .

Особенно это необходимо при сварке на переменном токе неплавящимся электродом алюминиевых сплавов в непрерывном и импульсном режимах, а также при сварке точками. При сварке плавящимся электродом на постоянном токе в непрерывном и импульсном режимах характер изменения тока и напряжения можно отследить только по осциллограммам. [6]



Во время сварки протекает большое количество процессов, изучив которые можно получить много полезной информации. Но, к сожалению, очень трудно снимать эти параметры во время сварки без риска вывести из строя осциллограф. При подключении осциллографов к схемам сварочных установок для сварки неплавящимся электродом, работающих с генераторами высокой частоты для начального возбуждения дуги, необходимо использовать различные способы защиты. При сварке плавящимся электродом от источников питания постоянного тока также необходимо использовать способы защиты от тока коротких замыканий, сопровождающих процесс формирования шва. Но, ни один из способов не гарантирует 100% защиты сварочного оборудования

На основании полученных данных предполагается сформулировать требования к управлению процессом сварки плавящимся электродом в защитном газе в условиях завода.

В результате технологических исследований предполагается определить ориентировочные режимы сварки, обеспечивающих минимальное разбрызгивание электродной проволоки диаметром 1,2мм при сварке стыковых соединений толщиной 10мм.

По результатам исследований и испытаний дать заключение возможности применения сварочного оборудования в условиях завода «ТяжМаш».

Для проведения исследований использовано сварочное оборудование фирмы Kemppi, техническая характеристика механизма подачи присадочной проволоки приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Техническая характеристика сварочного оборудования

		MSF53	MSF55
Рабочее напряжение		50 В пост. т.	50 В пост. т.
Номинальная мощность		100 Вт	100 Вт
Макс. нагрузка	60 % ПВ	520 А	520 А
	100 % ПВ	440 А	440 А

Подача проволоки		4 подающего колеса	4 подающего колеса
Диам. подающего колеса		32 мм	32 мм
Скорость подачи		0...25 м/мин	0...25 м/мин
Присадки	Fe, Ss	0,6...1,6	0,6...2,4
	Порошковая проволока	0,8...1,6	0,8...2,4
	Al	1,0...1,6	1,0...2,4
Кассета с проволокой	Макс. вес	5 кг	20 кг
	Макс. диаметр	0 200 мм	0 300 мм
Разъем для горелки		Euro	Euro
Рабочая температура		-20...+40°C	-20...+40°C
Класс защиты		IP 23 C	IP 23 C
Габариты	Длина	510 мм	620 мм
	Ширина	200 мм	210 мм
	Высота	310 мм	445 мм
Масса		9.4 кг	11.1 кг

Сварочные аппараты Kemppi FastMig предназначены для механизированной сварки MIG/MAG. В сварочные аппараты Kemppi FastMig входят инверторные источники питания и обеспечивают непрерывное регулирование напряжения XX и скорости подачи проволоки как непосредственно с механизма подачи проволоки, так и при дистанционном управлении. Мощный двигатель и точность работы привода обеспечивают стабильную и надежную подачу проволоки.[3]

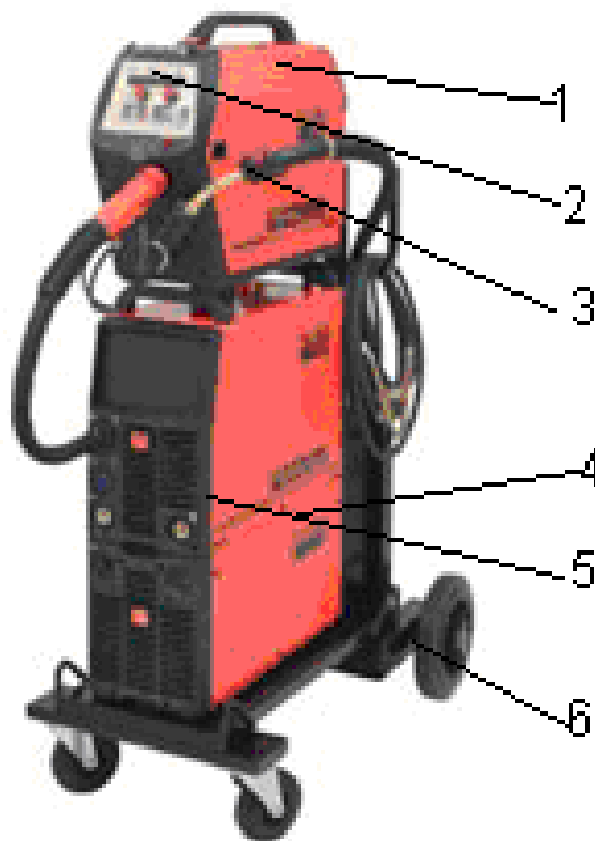


Рисунок 20 – Сварочный аппарат Kemppi FastMig

В состав сварочного аппарата входит: 1) полуавтомат MSF 55; 2) панель управления SF 53MLS; 3) горелка PMT 52W; 4) блок охлаждения «FastCool»; 5) источник питания KMS 400; 6) тележка.

По результатам исследований следует отметить, что наилучшие показатели сварочных свойств удается получить при следующих соотношениях параметров в системе «дуга-инвертор», которые приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы

$d_{пр}$ , мм	U, В	$dU/dI$ , В/А	$dI/dt$ , кА/с	$V_{пр}$ , м/ч	$I_0$ , А
0,8	21-28	0,04	60-160	346,8-684,4	5
1,0	19-29	0,01-0,04	60-160	250-950	5
1,2	19-31	0,25-0,04	60-160	250-950	5

1,6	26-36	0,01-0,04	60-160	251,4-949,8	5
-----	-------	-----------	--------	-------------	---

Отдельно вынесем связь параметров процесса  $d_{np} - dU/dI - di/dt$  для  $d_{np}$  1,2-1,6мм.

$$d_{np}=1,2\text{мм} - dU/dI=0,01 \text{ В/А} - di/dt = 110\text{кА/с};$$

$$d_{np}=1,2\text{мм} - dU/dI=0,25 \text{ В/А} - di/dt = 160\text{кА/с};$$

$$d_{np}=1,2\text{мм} - dU/dI=0,04 \text{ В/А} - di/dt = 60-110\text{кА/с};$$

$$d_{np}=1,2\text{мм} - dU/dI=0,01 \text{ В/А} - di/dt = 60-160\text{кА/с};$$

$$d_{np}=1,2\text{мм} - dU/dI=0,04 \text{ В/А} - di/dt = 60-160\text{кА/с}.$$

### 3.2 Результаты технологических исследований по определению области параметров механизированной сварки, обеспечивающей формирование полномерных швов с минимальным разбрызгиванием

Технологические исследования по определению оптимальных параметров проведены при сварке плавящимся электродом в защитной среде  $\text{CO}_2$  на оборудовании фирмы Kemppi с широкими возможностями регулирования параметров режима сварки.

При проведении исследований изменялись следующие параметры на источнике питания RMS-400 (инвертор):

- наклон внешней ВАХ источника питания  $\partial U / \partial I$  от 0,01 до 0,04 В/А;
- скорость нарастания тока КЗ  $di/dt$  от 60 до 160 кА/с;
- напряжение источника питания  $U$  от 17 до 30 В;

на механизме подачи электродной проволоки MSF55:

- скорость подачи электродной проволоки  $V_{пр}$  от 0 до 1500 м/ч;
- диаметр электродной проволоки  $d = 1,2 - 1,6$  мм.

на сборочно-сварочном стенде:

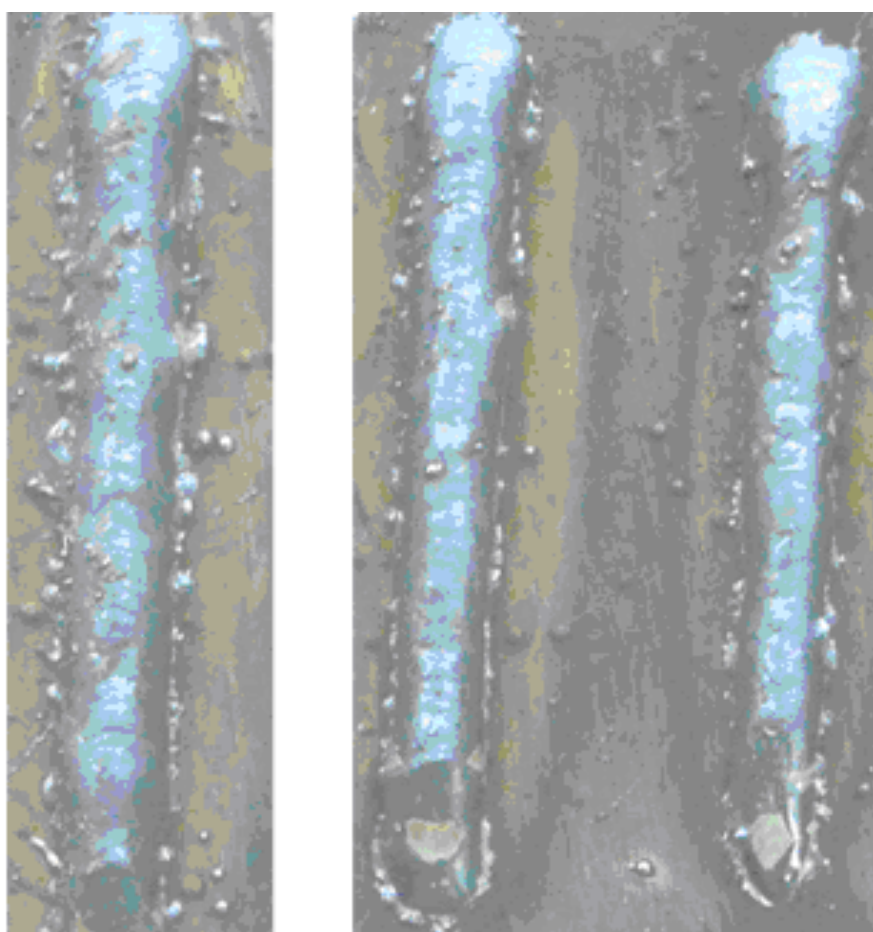
- скорость сварки  $V_{св}$  от 10 до 60 м/ч;
- усилие прижатия до 45 кг.

### 3.2.1 Исследования влияния параметров сварки для проволоки диаметром 1,2 мм (серия образцов №63-91)

Серия экспериментов проведена с использованием электродной проволоки диаметром 1,2мм марки Св.08Г2С на образцах из стали 09Г2С (размеры образцов приведены в таблице 17)

Исследования влияния напряжения дуги на качество формирования швов

Изменение напряжения на дуге в диапазоне от 19 до 31В показало, что стабильный процесс при качественном формировании швов получены на образцах № 65,66,75,90,91 (табл.17). Швы получены полномерные по ширине и высоте шва при минимально возможном разбрызгивании электродной проволоки на образцах № 65,66 (рис. 21), скорость подачи присадочной проволоки изменялась от 251,4 до 949,8 м/ч.



№ 66

№65

№64

Рисунок 21 – Внешний вид образцов 65, 66 при  $\partial U/\partial I = 0,01\text{В/А}$ ,  $di/dt = 110\text{кА/с}$

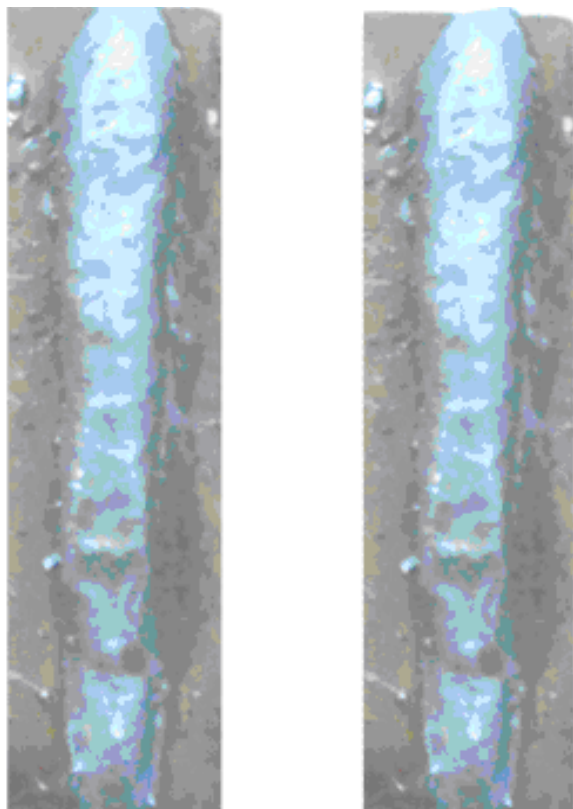
Следует заметить, что при  $U_d = 28-30V$  наблюдается усиление шва по ширине и высоте в начале сварки. Особенно быстро растет ширина шва е (образцы № 82-93 табл.2, рис.2).

При возбуждении дуги с  $U_d=23-28V$  наблюдается прилипание проволоки.

#### Исследования влияния наклона ВАХ

Изменение наклона внешней вольтамперной характеристики (ВАХ) в диапазоне  $\partial U/\partial I = 0,01-0,04 V/A$  показало, что формировать полномерные швы по ширине и высоте целесообразно при наклоне ВАХ в диапазоне от 0,025 до 0,04 В/А (рис. 22, таблица 17).

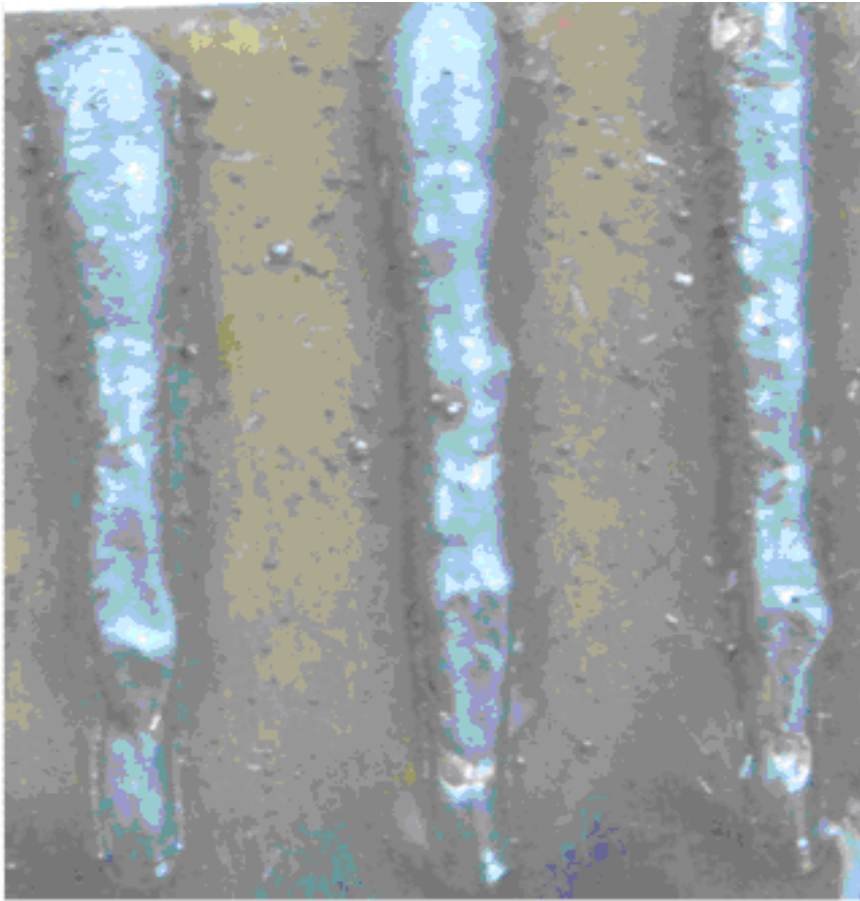
При наклоне ВАХ 0,01 В/А не удастся получить полномерных швов (№ 55-57, 79-87, рис.22, 23, табл. 17).



91

90

Рисунок 22 – Внешний вид образцов 90,91 при  $\partial U/\partial I = 0,04V/A$ ,  $di/dt=60кA/c$



№ 84

№ 83

№ 82

Рисунок 23 – Внешний вид образцов 82-84 при  $dU/dI = 0,01\text{В/А}$ ,  $di/dt = 110\text{кА/с}$

Таким образом, формирование качественных сварных швов возможно при стабильном дуговом процессе при наклоне вольтамперных характеристик инвертора в диапазоне от 0,025 до 0,04 В/А.

Исследование влияния скорости нарастания тока короткого замыкания на формирование шва

В процессе технологических исследований скорость нарастания тока короткого замыкания  $di/dt$  изменялась в диапазоне от 60 до 160 кА/с.

Следует заметить, что  $di/dt$  необходимо рассматривать вместе с величиной наклона ВАХ инвертора  $dU/dI$ , так как эти параметры связаны между собой. Рассматривать рекомендуется в такой связи:  $d_{пр}$  -  $dU/dI$  -  $di/dt$ . Тогда для  $d_{пр} = 1,2\text{мм}$  -  $dU/dI = 0,01\text{В/А}$  -  $di/dt = 60\text{кА/с}$ , применять не следует.



Плохое формирование шва наблюдается и при -  $dU/dI = 0,025В/А$  -  $di/dt = 60кА/с$  (№ 58-60 табл.17).

Таким образом, полномерные швы хорошего качества с минимальным разбрызгиванием получены при следующих соотношениях:

$$d_{пр} = 1,2мм - dU/dI = 0,01В/А - di/dt = 110кА/с;$$

$$d_{пр} = 1,2мм - dU/dI = 0,025В/А - di/dt = 160кА/с;$$

$$d_{пр} = 1,2мм - dU/dI = 0,04В/А - di/dt = 60-110кА/с.$$

Таблица 17 – Результаты технологических исследований по определению области полномерных швов при сварке плавящимся электродом в среде  $CO_2$   $d_{пр} = 1,2мм^*$

№ п/п	U, В	I, А	$V_{св}$ , м/ч	$V_{пр}$ , дел.	$dU/dI$ , В/А	$dI/dt$ , кА/с	e, мм	h, мм	Стабильность	Разбрызгивание	Примечание
63	21	150-170	20	4	0,04	60	6,3	4,9	4	3-4	Шов хороший
64	20	150-167	20	4	0,01	110	7,2	4,3	4-5	4	Шов полномерный по (e) и (h)
65	21	174-180	20	4	0,01	110	8,8	4,1	5	5	Шов полномерный по (e) и (h)
66	22	172	20	4	0,01	110	4,8	5	5	5	Шов полномерный по (e) и (h)
71	21	162-170	20	4	0,025	160	6,4	5	4	4	Полномерный с наплывами
72	22	180-190	20	4	0,025	160	8,6	4	4-5	5	Шов полномерный по (e) и (h)
73	21	165-180	20	4	0,04	110	6,- 4,9	4,8 - 5,5	3-4	3	Шов неполномерный с наплывами
74	22	164-190	20	4	0,04	110	6,3	3,7	3	3	Шов полномерный по (e) и (h) с наплывами
75	23	160-180	20	4	0,04	110	8	3,4	5	4-5	Шов полномерный
81	30	372	40	10	0,01	60	8,5- 10,5	4,5 - 6,5	5	4-5	Усиление по ширине в начале шва
82	28	350-360	40	10	0,01	110	7,4- 9,2	6,8 - 7	5	4-5	92x98x8мм. Нет красоты

83	29	360	40	10	0,01	110	7,9- 12,5	6,1 - 7,4	4-5	5	Шов неполномерный по (е) и (h). Прилипание проволоки в начале шва
84	30	370	40	10	0,01	110	7,2- 12,9	5,3 - 7,5	4	5	Плоховато
85	28	360	40	10	0,01	160	7,9- 11,6	4,3 - 7,1	4-5	5	Шов неполномерный по (е) и (h)
86	29	354- 356	40	10	0,01	160	7- 10,6	4,1 - 7,4	5	5	Усиление шва по(е) в начале шва
87	30	374- 378	40	10	0,01	160	6,9- 10,4	3-6	5	5	Возбуждение дуги плохое
88	28	360- 380	40	10	0,04	60			2	2-3	95x96x8мм. Шва нет.
89	29	380- 390	40	10	0,04	60	7,9- 8,6	3,4	3-4	3	Шов неполномерный по (е)
90	30	382- 390	40	10	0,04	60	8- 10,1	3,8 - 5,4	4-5	4-5	Вначале усиление шва по(е)
91	31	380	40	10	0,04	60	8- 11,3	8	4-5	5	Усиление шва в начале по(е)

\* Q=9л/мин (с №12<sup>1</sup> Q=13л/мин ), S=8-12мм, Ст.20, I<sub>вылет</sub> = 10-12мм, α = 15° (углом назад), I<sub>6</sub>=5А

### 3.2.1 Исследования влияния параметров сварки для проволоки диаметром 1,6 мм (серия образцов № 119-138)

Результаты наплавки образцов № 119-138 приведены в таблице 19 при использовании электродной проволоки  $d_{пр} = 1,6$  мм марки Св08Г2С.

Исследования влияния напряжения дуги на качество формирования швов. Изменение напряжения на дуге в диапазоне от 22 до 40В показало, что стабильный процесс при качественном формировании швов получены на образцах № 122-124, 127, 128, 130, 135-138. Швы получены полномерные по ширине и высоте шва при минимальном разбрызгивании (рис.24-26, таблица 19). В процессе работы скорость подачи электродной проволоки изменялась от 251,4 до 949,8 м/ч.



Рисунок 24 – Внешний вид образцов 122-124 при  $\partial U/\partial I = 0,04В/А$ ,  $di/dt = 60кА/с$

При  $U_d = 32-24В$  при заварке кратера по окончании сварки наблюдается уменьшение высоты наплавки. Это явление можно считать положительным. Качество наплавки остается хорошим.

#### Исследования влияния наклона ВАХ

Изменение наклона внешней вольтамперной характеристики (ВАХ) в диапазоне  $\partial U / \partial I = 0,01-0,04 В/А$  показало, что полномерные швы по ширине и высоте формируются при наклоне ВАХ 0,01 и 0,04 В/А (рис.25, таблица 2, образцы №135 и 136). [9]



№136-  $\partial U / \partial I = 0,04В/А$     №135-  $\partial U / \partial I = 0,01В/А$

Рисунок 25 – Внешний вид образцов 135,136 при  $di/dt=60кА/с$

При наклоне ВАХ 0,04В/А удается получить полномерные швы с меньшим разбрызгиванием, чем при наклоне ВАХ 0,01 В/А.

Исследование влияния скорости нарастания тока короткого замыкания на формирование шва

В процессе исследований скорость нарастания тока короткого замыкания  $di/dt$  изменялась в диапазоне от 60 до 160 кА/с.

Наше мнение таково, что  $di/dt$  необходимо рассматривать вместе с величиной наклона ВАХ инвертора  $dU/dI$ , так как эти параметры связаны между собой. Рассматривать рекомендуется в такой связи:  $d_{пр} - dU/dI - di/dt$ .

Результаты исследований показали, что при  $di/dt = 60 - 160$  кА/с удается формировать качественные наплавки №135-138 (рис. 25,26).



№138-  $dU/dI=0,04$ В/А

№137-  $dU/dI=0,01$ В/А

Рисунок 26 – Внешний вид образцов 135,136 при  $di/dt=160$ кА/с

По результатам исследований следует отметить, что наилучшие показатели сварочных свойств удается получить при следующих соотношениях параметров в системе «дуга-инвертор», которые приведены в таблице 18[10].

Таблица 18- Ориентировочные параметры системы «дуга-инвертор», обеспечивающие полномерные швы

$d_{пр}$ , мм	U, В	$dU/dI$ , В/А	$dI/dt$ , кА/с	$V_{пр}$ , м/ч	$I_6$ , А
1,2	19-31	0,25-0,04	60-160	250-950	5
1,6	26-36	0,01-0,04	60-160	251,4-949,8	5

Отдельно вынесем связь параметров процесса  $d_{пр}$  -  $dU/dI$  -  $di/dt$  для  $d_{пр} = (1,2 - 1,6)$ мм:

$$d_{пр} = 1,2\text{мм} - dU/dI = 0,01\text{В/А} - di/dt = 110\text{кА/с};$$

$$d_{пр} = 1,2\text{мм} - dU/dI = 0,025\text{В/А} - di/dt = 160\text{кА/с};$$

$$d_{пр} = 1,2\text{мм} - dU/dI = 0,04\text{В/А} - di/dt = 60-110\text{кА/с}.$$

$$d_{пр} = 1,6\text{мм} - dU/dI = 0,01\text{В/А} - di/dt = 60-160\text{кА/с};$$

$$d_{пр} = 1,6\text{мм} - dU/dI = 0,04\text{В/А} - di/dt = 60-160\text{кА/с}.$$

С учетом полученных результатов проведена сварка серии образцов с разделкой кромок по С17 на толщине 10мм (рис.27).



Рисунок 27 – Образец сварного шва С17

Таблица 19 – Результаты технологических исследований по определению области полномерных швов при сварке плавящимся электродом в среде CO<sub>2</sub> d<sub>пр</sub> = 1,6мм

№№ п/п	U, В	I, А	V <sub>св</sub> м/ч	V <sub>пр</sub> дел	dU/dI, В/А	dI/dt кА/с	e, мм	h, мм	Стабильность	Разбрызгивание	Примечание
119	22	300-360	20	4	0,04	60	7,7 - 9,3	3,3-5,2	2	2	105x115x15мм (2). Очень плохой шов
120	23	340-360	20	4	0,04	60	7,5 - 3,4	5,2-5,5	2	2	Плохой шов
121	24	320-340	20	4	0,04	60	6,2 - 8,3	6,3	2	2	Плохой шов
122	26	307-320	20	4	0,04	60	10,3	4,9	5	5	Шов полномерный
123	27	310-316	20	4	0,04	60	12,6	4,5	5	5	Шов полномерный
124	28	306-310	20	4	0,04	60	14,7	4,3	5	5	Шов полномерный
125	28	300-400	40	7	0,04	60			2	2	75x115x15мм.(2) Обрыв дуги. Шва нет
126	30	530-540	40	7	0,04	60	8,7	5,6	5	4	Неэстетичный шов
127	32	500-520	40	7	0,04	60	9	5,6	5	5	Шов полномерный. При заварке кратера(h) уменьшается до 2,5мм
128	34	510-520	40	7	0,04	60	9,7	6,4	5	5	Шов полномерный. При заварке кратера(h) уменьшается до 3,8мм
129	36	500-503	40	7	0,04	60	7-10	3,2-7,9	4+	4	Шов неполномерный по (e) (h)
130	36	502-526	80	7	0,04	60	7	5,9	5	4+	Шов полномерный по (e) и (h)
131	40	516-520	80	7	0,04	60	7-11,2	4,2-6,3	2	3	Неполномерный шов
132	40	590-594	80	8	0,04	60	5-11,3	4-7,2	2	3	Шов неполномерный по (e) и высоте (h)

133	40	507-509	80	9	0,04	60	4-10	4-6,5	2	3	Шов неполномерный. Узкий, высокий
134	40	510-525	80	10	0,04	60	3,5 - 9,7	2,2-5,3	2	3	Неполномерный шов
135	28	330-336	20	4	0,01	60	10,5	5,5	5	4+	127x93x10мм Полномерный шов
136	28	326-330	20	4	0,04	60	12,1	4,5	5	4+	Шов полномерный по (е) и (h)
137	28	317-320	20	4	0,01	160	14	4,3	5	4+	125x120x10мм. Полномерный шов
138	28	305-310	20	4	0,04	160	12	4,5	5	4+	Шов полномерный по (е) и (h)

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие рекомендации.

1. Хорошее формирование сварных соединений обеспечивается на наклонах 0,01 – 0,04 В/А, при этом для большего наклона требуется большее напряжение дуги, однако рекомендуемый наклон характеристики 0,04 В/А, так как он обеспечивает более плавный переход к основному металлу;

2. Разбрызгивание металла наблюдается в большинстве исследуемых процессов. Однако следует понимать, что брызги на менее интенсивном режиме являются легко отделяемыми и зачастую носят лишь визуальный характер. При увеличении интенсивности процесса на максимальных скоростях подачи проволоки появляются крупные трудно удалимые брызги. Их удастся уменьшить при скорости нарастания тока короткого замыкания на рекомендуемой величине  $dI/dt = 60\text{кА/с}$ .

3. Для электродной проволоки  $d=1,2\text{мм}$ ,  $d=1,6\text{мм}$  определены параметры режима сварки, обеспечивающие полномерное формирование сварных швов с минимальным разбрызгиванием.



4. Применение электродной проволоки  $d=1,6$ мм при сварке изделий завода позволит уменьшить число проходов, а значит, сократит время изготовления.

### 3.3. Влияние импульсного ввода тепла на формирование шва с минимальным разбрызгиванием

Перенос металла с электрода на изделие является одной из важнейших характеристик сварки плавящимся электродом в защитной среде газа  $\text{CO}_2$ , он определяет технологические характеристики и области применения процессов сварки. Перенос металла может происходить в виде жидких капель различных размеров и пара [23].

Серийно выпускаемое оборудование для сварки плавящимся электродом обеспечивает формирование сварного соединения в режиме короткого замыкания и горения дуги, при этом частота коротких замыканий в зависимости от диаметра электродной проволоки может колебаться от 10Гц до 120Гц[31]. На рисунке 28 показана динамическая характеристика процесса с естественным процессом деформирования капли. Процесс сопровождается большим разбрызгиванием металла.

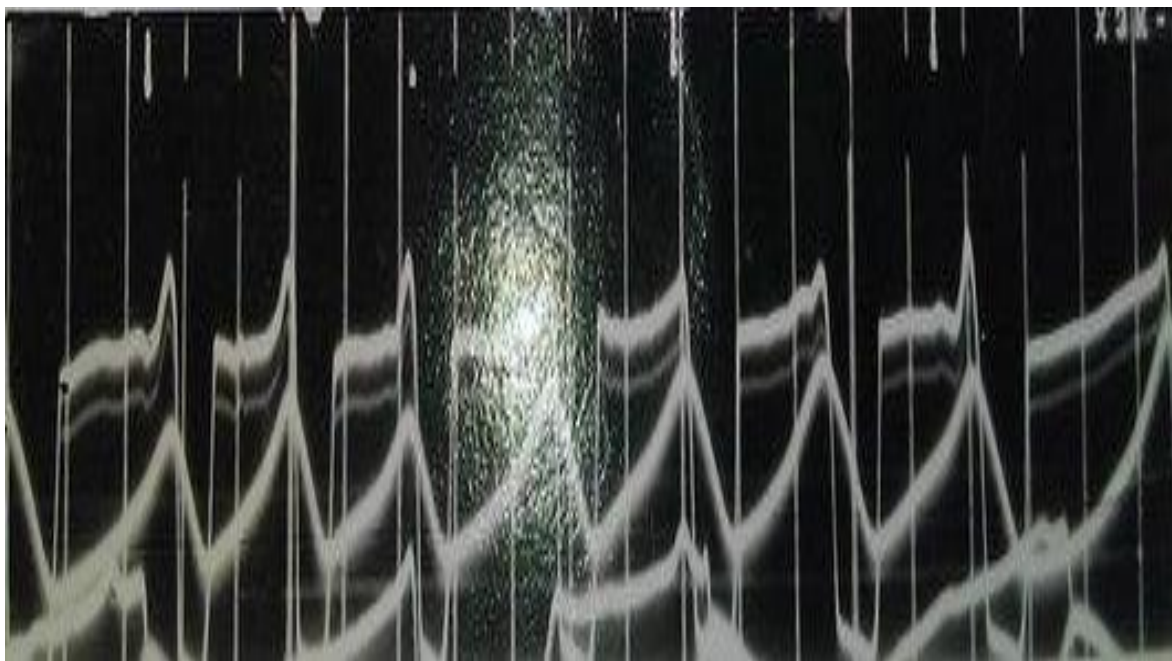
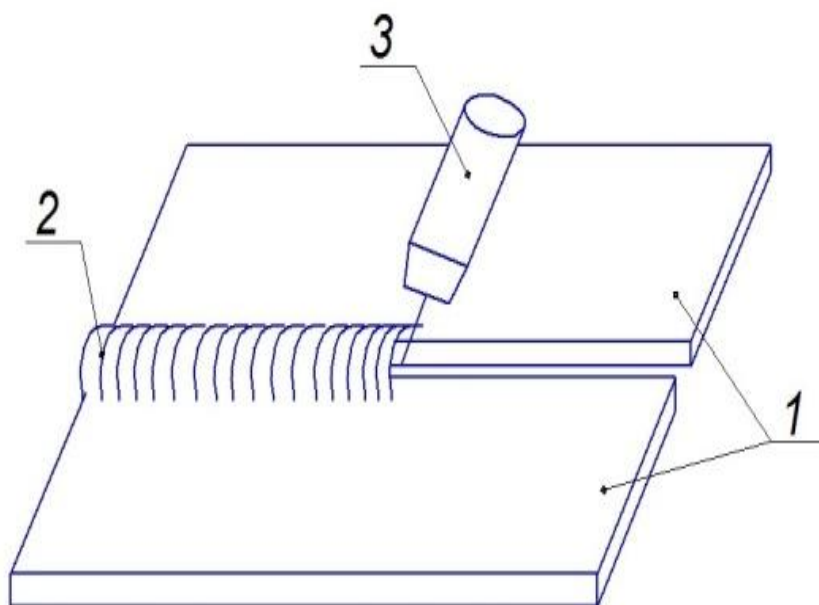


Рисунок 28 – Динамические характеристики процесса сварки плавящимся электродом [33]

В 80-х годах 20 века НИАТ (национальный институт авиационных технологий) предложил снизить разбрызгивания за счет принудительного сброса капель жидкого металла в сварное соединение. [24]

Оценка сварочных свойств и определение параметров источников питания в комплекте с подающим механизмом выполняется при наплавке на образцы. В процессе наплавки определяются показатели сварочных свойств оборудования с бальной оценкой по дифференциальному методу по ГОСТ 25616-83 «Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств» и РД03-614-03 «Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов». К показателям сварочных свойств оборудования относится: 1) стабильность процесса сварки; 2) разбрызгивание металла; 3) качество формирования шва [23].

Для определения показателя разбрызгивания производится наплавка образцов. Наплавка образцов выполняется на пластину толщиной 4 мм из стали 3 омедненной проволокой для сварки в активных газах марки Св.08Г2С диаметром 1,2мм. Защитная среда – углекислый газ, расход которого составляет 10-12 л/мин. Вылет электрода  $l_{\text{вылет}} = 10-12\text{мм}$ . Угол наклона горелки  $\alpha = 15^\circ$ . Наплавка выполняется углом назад (рис.29).



1-пластины, 2-шов, 3-электрод

Рисунок 29 – Сварка углом назад

При проведении экспериментальных работ оценка показателя свойств сварочного оборудования производится для источников питания типа ВСП-160, ВСПИ-160, аппарат Kemppi FastMig и Picomig 180 Puls фирмы EWM, отличающихся схемой управления переноса жидкой капли в сварочную ванну. Режимы наплавки выбраны с учетом известных литературных данных [2,12,21]. При наплавке контролируются следующие параметры процесса:  $I$ ,  $U$ ,  $Q_{\text{защ}}$ ,  $V_{\text{св}}$ ,  $V_{\text{пр}}$ ,  $I_{\text{д}}$ ,  $I_{\text{выл}}$ ,  $\alpha$ . Для контроля электрических параметров используются следующие приборы и регистраторы: амперметры, вольтметры цифровые; ротаметр EN FLOW1.3-30 «Linde»; регистратор S-Recorder-2-16bit фирмы ADClab с датчиком тока ДИТ-500-Н и напряжения ДНХ-01. Для оценки разбрызгивания металла предлагается ввести новый показатель  $\Delta U$  и  $\Delta I$  по динамической характеристике  $u(i)$ . Для этого при наплавке регистрируем кроме  $I$ ,  $U$ ,  $Q_{\text{защ}}$ ,  $V_{\text{св}}$ ,  $V_{\text{пр}}$  и  $id(t)$ ,  $ud(t)$  дополнительно  $id = f(ud)$ .

Известно, что сварочные выпрямители типа ВД-300, ВСП-300, Форсаж 302, аппарат Kemppi FastMig, обладая жесткой внешней ВАХ, позволяют формировать сварочное соединение высокого качества[1]. При этом формирование жидкой капли электродной проволоки и перенос её в сварочную ванну производится под действием электродинамической силы, создаваемой током, давления газа и силы тяжести жидкой капли. От этих параметров зависит скорость переноса жидкой капли и величина коэффициента разбрызгивания[27]. На рис. 30 приведены динамические характеристики процесса  $id(t)$ ,  $ud(t)$  при наплавке от источника питания ВСП-160 с механизмом подачи присадочной проволоки. На рисунке 30 (б) четко выделяется зона тока коротких замыканий при переносе капли в жидкую ванну ( $I_2$ ,  $U_2$ ).

Оптимальные параметры режима сварки подобраны таким образом, чтобы снизить  $K_p$  до минимально возможного без применения дополнительных средств управления процессом сварки.

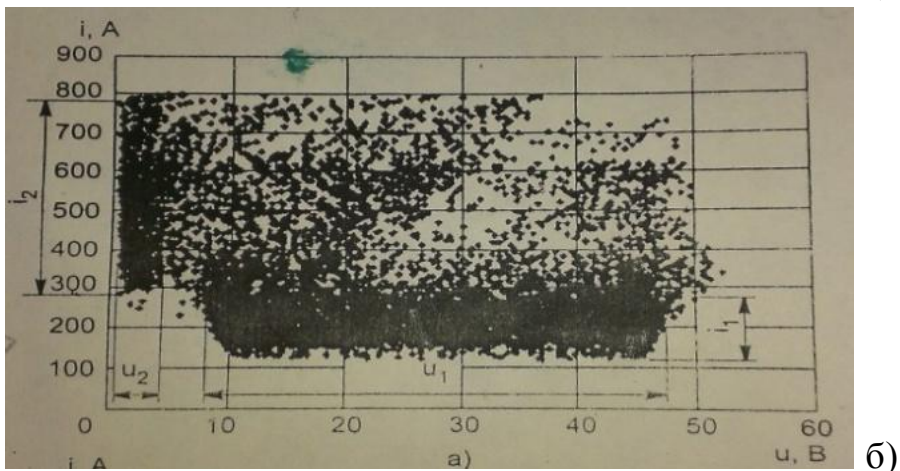
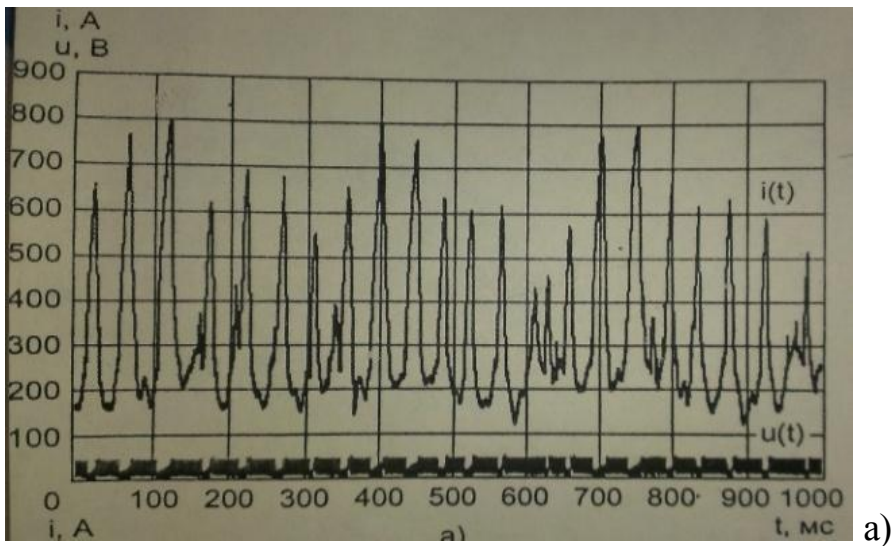
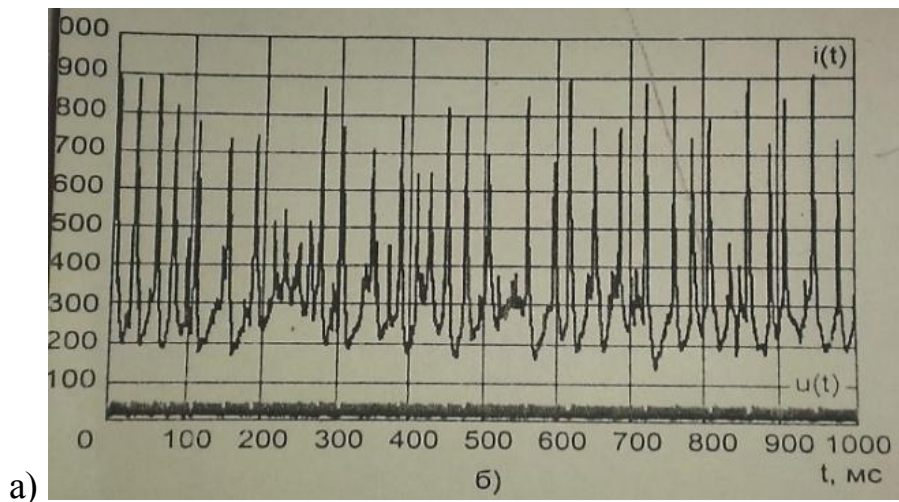


Рисунок 30 – Зависимость  $i_d(t)$ ,  $u_d(t)$  (а) и  $i_d = f(u_d)$  (б)

На рисунке 31 приведены динамические характеристики процесса сварки плавящимся электродом при изменении наклона внешней ВАХ источника питания (аппарат Kemppi FastMig Форсаж 302), позволяющие снизить разбрызгивание.



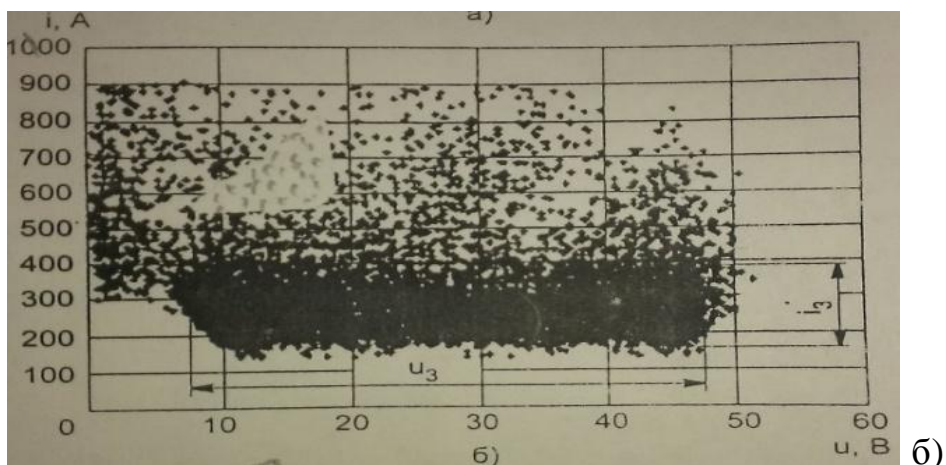
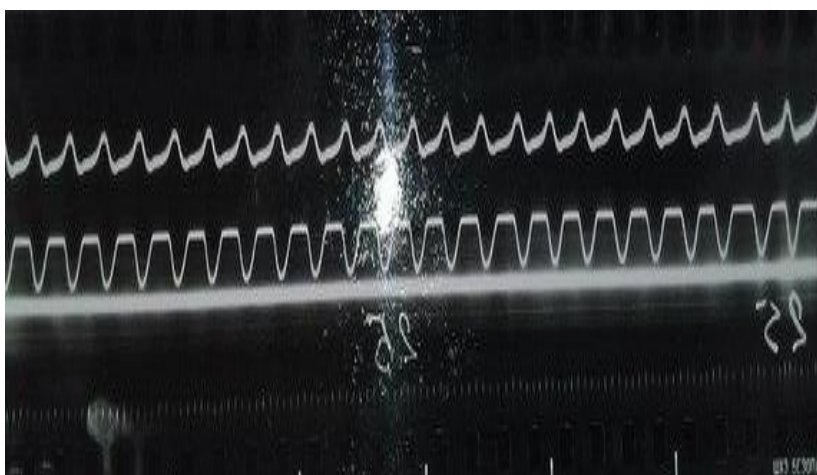


Рисунок 31 – Зависимость  $i_d(t)$ ,  $u_d(t)$  (а) и  $i_d = f(u_d)$  (б)

При уменьшении разбрызгивания зону короткого замыкания капли можно характеризовать параметрами  $i_3$ ,  $u_3$ , которые четко выделяют область коротких замыканий.

В источниках питания типа ВСПИ-160 формирование жидкой капли и отрыв её от проволоки происходит в импульсном режиме (капля отрывается принудительно). Жидкая капля под действием тока, сбрасывается принудительно. Формируется мелкокапельный перенос электродного металла [14,22].



а)

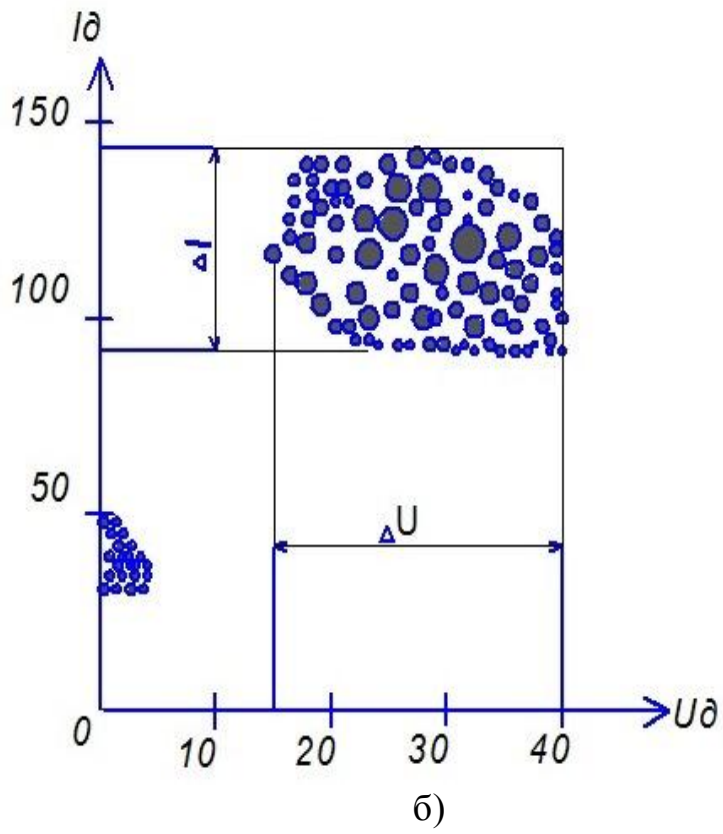
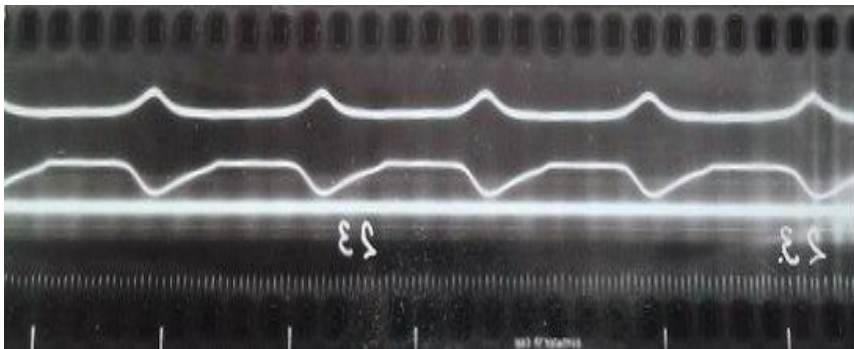
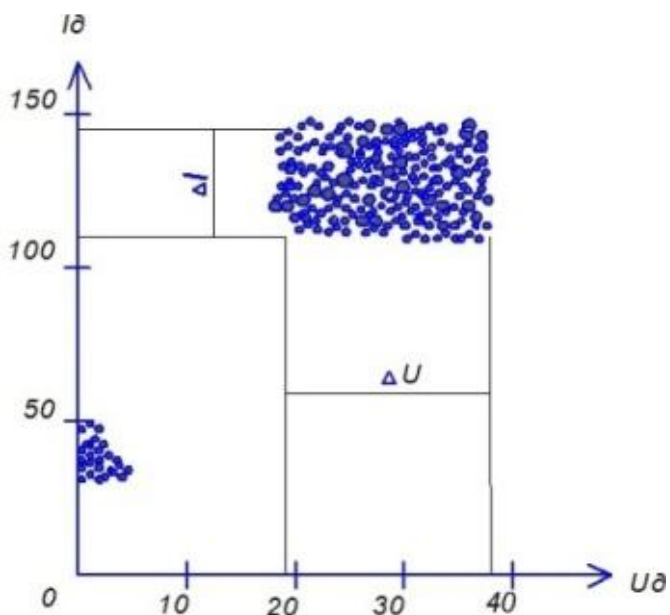


Рисунок 32 – Зависимость  $i_d(t)$ ,  $u_d(t)$  при  $f_{кз} = 50\text{Гц}$  (а) и  $i_d = f(u_d)$  (б)



а)

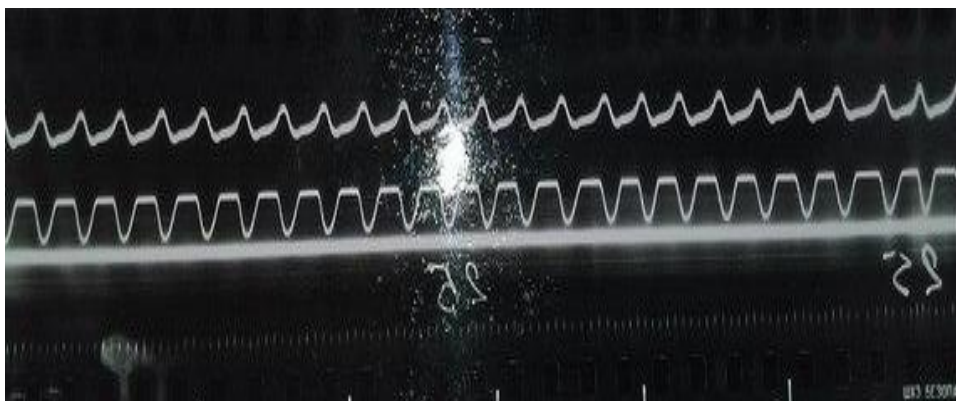


б)

Рисунок 33 – Зависимость  $i_d(t)$ ,  $u_d(t)$  при  $f_{кз}= 14\text{Гц}$  (а) и  $i_d = f(u_d)$  (б)

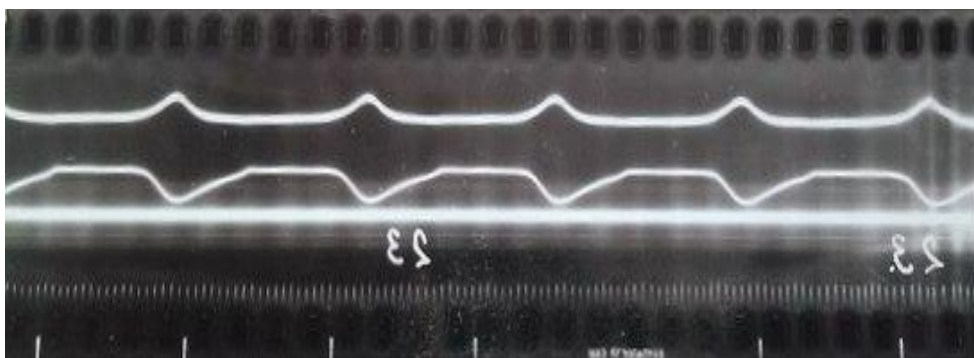
Изменяя частоту коротких замыканий, также можно воздействовать на разбрызгивание электродного металла. Об этом можно судить по динамическим характеристикам процесса  $i_d = f(u_d)$ , видно, что величина  $\Delta i$  и  $\Delta u$  значительно меньше, чем при сварке с естественным переносом электродной проволоки.

В 80-х годах 20 века НИИАТ предложил снизить разбрызгивание металла за счет принудительного сброса капли жидкого металла в сварное соединение. На рисунке 34 (а,б) показаны осциллограммы напряжения и тока при различной частоте коротких замыканий  $f_{кз1}$ .



а)





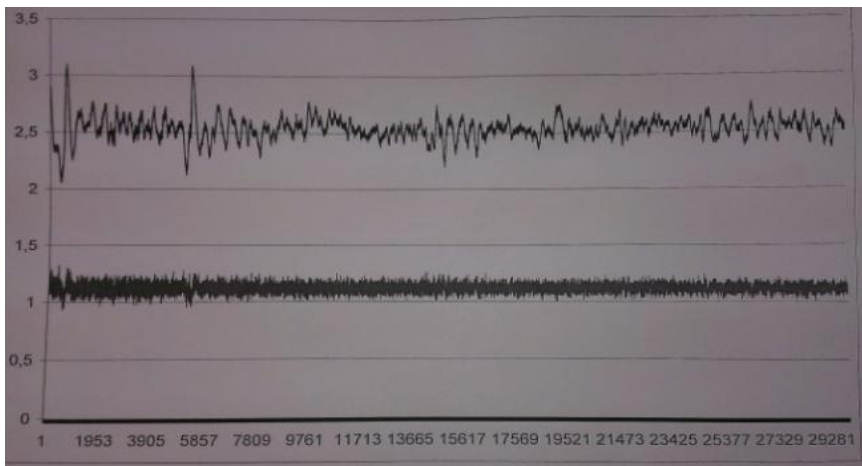
б)

Рисунок 34 – Динамическая характеристика процесса сварки плавящимся электродом: а) с частотой 50 Гц, б) с частотой 14Гц

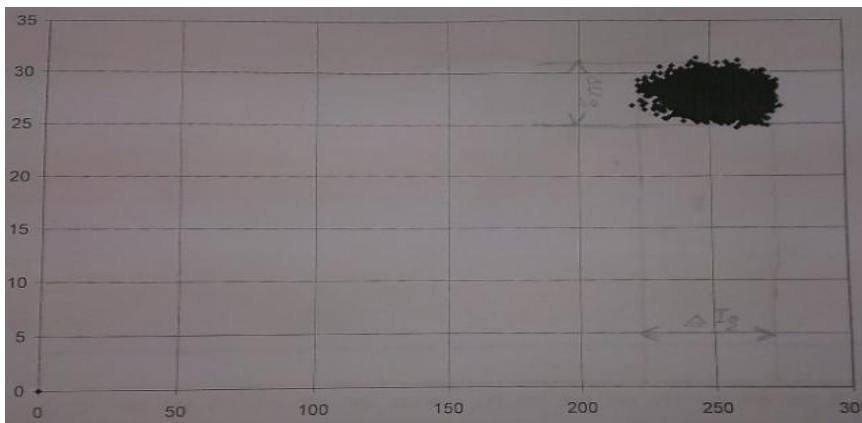
Промышленность начала выпуск сварочных источников с импульсной приставкой ВСП – 160 (авторская разработка Гусева А.Т.). Однако, выпущена была только экспериментальная партия. Коэффициент разбрызгивания, при такой форме тока, резко уменьшился, но серийного выпуска этого оборудования не произошло.

Фирма EWM выпустила источник питания в комплекте с механической подачей электродной проволоки, которые позволяют вести процесс сварки плавящимся электродом в защитной среде CO<sub>2</sub>, без разбрызгивания. Характер изменения тока  $i_d = f(t)$  и напряжения  $u_d = f(t)$  показан на рисунке 35а [25].

Динамическая характеристика  $u_d = f(i_d)$  показывает на сколько уменьшились значения  $\Delta i_d$  и  $\Delta u_d$ . Характер этой зависимости позволяет сделать предположение, что в этом случае нет короткого замыкания и нет капли жидкого металла. Очевидно, в этом случае мы наблюдаем «пародуговую» фазу дуги, когда жидкий металл капли присадочной проволоки распыляется.



а)



б)

Рисунок 35 – Зависимость  $i_d = f(t)$ ,  $u_d = f(t)$  при сварке установкой Picomig 180 Puls фирмы EWM(а) и динамическая характеристика  $U_d = f(i_d)$  (б)

На рисунке 36 показаны образцы наплавков с различным коэффициентом разбрызгивания.



а)



б)



в)

Рисунок 36 – Образцы при сварке ВСП-160(а), ВСПИ-160(б), Picomig 180 (в)

Таким образом, современная регистрирующая аппаратура позволяет строить зависимость  $i(U)$  или  $u(i)$  на экране компьютера, регистрировать и оценивать качество установок по такому показателю как разбрызгивание, что значительно сокращает время на оценку коэффициента разбрызгивания [19].

В 2009 г. немецкая компания EWM High Tec Welding GmbH начала выпуск импульсных переносных аппаратов для сварки MIG/MAG с оригинальной формой тока короткого замыкания, которая показана на рисунке 37.

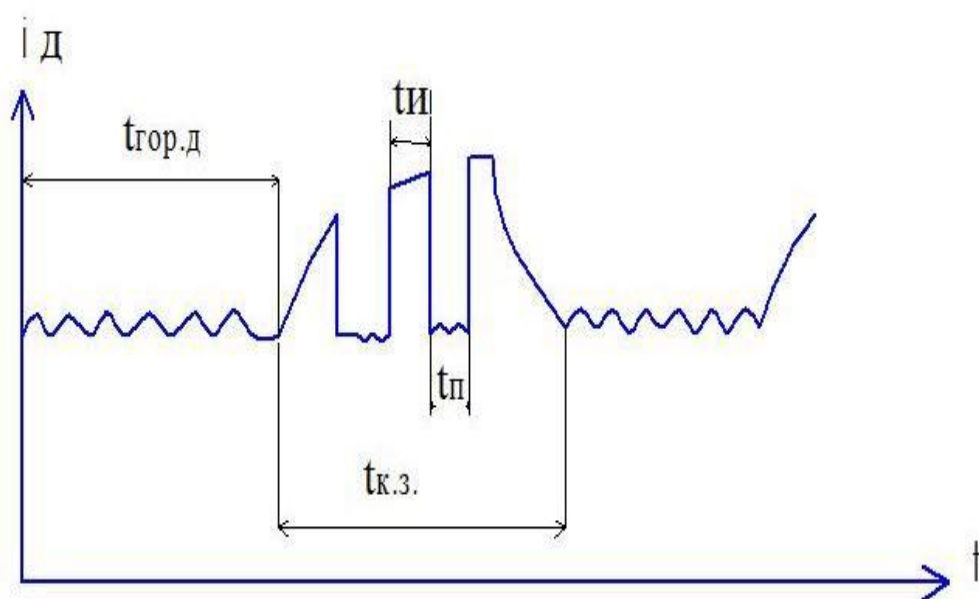


Рисунок 37 – Форма тока КЗ в сварочном аппарате «Picomig 180 Puls»

Авторы разработки регулируют частоту тока импульсов внутри короткого замыкания. По нашим данным частота импульсов внутри короткого замыкания колеблется от 167Гц до 500Гц (при частоте коротких замыканий 50 Гц) и от 50Гц до 100 Гц (при частоте коротких замыканий 10Гц). К числу известных и регулируемых ранее параметров добавилось ещё 2 параметра:  $t_{имп}$  и  $t_{паузы}$  внутри короткого замыкания, которые изменяются в зависимости от частоты короткого замыкания процесса сварки плавящимся электродом [24,27].

Современная элементная база позволила проектировать схемы принудительно формирующие импульсный режим при сварке плавящимся электродом и формировать сложную форму тока короткого замыкания.

Разработанный фирмой аппарат Picomig 180 Puls позволил убрать разбрызгивание присадочного материала. Очевидно, предложенная фирмой EWM форма тока короткого замыкания распыляет электродный металл. Совместно с оригинальным механизмом подачи проволоки предложенная компанией EWM High Tec Welding GmbH программа изменения тока КЗ позволяет свести разбрызгивание металла до нуля.

## 4 Эффективность сварочного процесса

На современном этапе развития сварочной техники все более актуальным становится вопрос об уменьшении трудоемкости сварочного процесса, упрощении и уменьшении количества операций по подготовке поверхности сварочных изделий и зачистки их от брызг. Этого можно добиться, исследуя процесс механизированной сварки. Особенно это важно при сварке толстолистовых материалов толщиной 4-10 мм.

Данная работа рассматривает процесс механизированной сварки металла толщиной 10 мм.

Целью ВКР является повышение эффективности и снижение трудоемкости процесса сварки металлов толщиной до 10 мм,

В работе Сидорова В. П. [4] предложен новый подход к определению эффективности сварочного процесса. Одним из аспектов оценки проплавляющей способности сварочных источников тепла является определение глубины проплавления (провара) при сварке. Глубина провара, как и площадь проплавления в целом, зависят от скорости сварки. Поэтому необходимо использовать показатели проплавляющей способности, учитывающие влияние скорости сварки.

Более общей характеристикой провара, чем глубина проплавления, является интегральная скорость сварки. Она характеризует интенсивность получения соединения в направлении сварки.

$$Z = h \cdot V_{CB}, [см^2 / с] \quad (5)$$

Если разделить интегральную скорость сварки  $Z$  на площадь провара  $F_{пр}$ , то получим величину, которая называется частотой процесса сварки. Ее смысл – число площадей проплавления, образующих соединение в направлении сварки в единицу времени.

$$f_Z = \frac{Z}{F_{пр}}, [с^{-1}] \quad (6)$$

Величина, обратная частоте сварки называется периодом сварки. Она показывает, за какое время образуется площадь соединения, равная площади проплавления металла.

$$T_{CB} = \frac{F_{ПР}}{Z}, [с] \quad (7)$$

В зависимости от способа сварки меняются показатели сосредоточенности, эффективной мощности, интегральной скорости сварки, частота сварки и др.

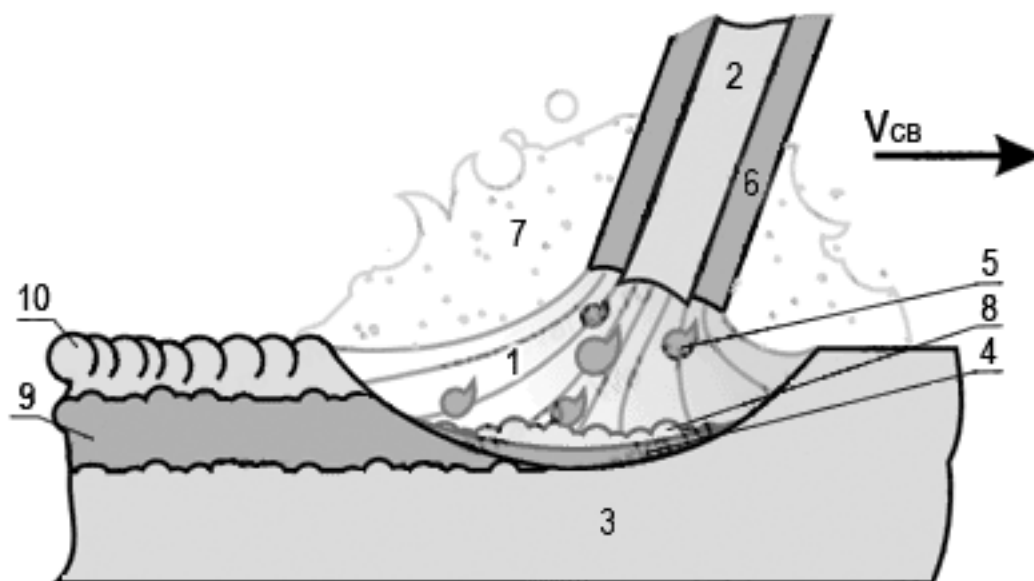
На сегодняшний день на заводе «Тяжмаш» самыми распространенными способами сварки металла толщиной до 10 мм являются:

- ручная электродуговая сварка:
- механизированная сварка в среде углекислого газа:
- сварка под флюсом.

Рассмотрим 3-и из них в отдельности и определим наиболее эффективный способ.

## 4.1 Ручная электродуговая сварка

Ручная дуговая сварка штучными электродами – наиболее распространенный способ соединения металлических деталей, использующий тепло электрической дуги. Дуга – это один из видов устойчивого электрического разряда, который является основным источником тепла при сварке плавлением.



1 – сварочная дуга; 2 – металлический стержень электрода; 3 – основной металл; сварочная ванна; 5 – капли жидкого металла; 6 – покрытие электрода; 7 – газовая защита; 8 – жидкая шлаковая ванна; 9 – металл шва; 10 – шлаковая корка

Рисунок 38 – Схема ручной электродуговой сварки.

Для получения качественного сварного шва нужно правильно выбрать режим сварки, определяемый диаметром электрода, величиной сварочного тока и длиной дуги.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины металла и типа сварного соединения. При этом можно руководствоваться ориентировочно следующими данными [17]:

Таблица 20 – Выбор диаметра электрода при РДС

Толщина металла, мм	1-2	3-5	4-10	12-24	30-60
Диаметр электрода, мм	2-3	3-4	4-5	5-6	6-8

Величина сварочного тока зависит от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения (таб. 21), скорости сварки, положения шва в пространстве, диаметра и покрытия электрода (таб. 22). Она влияет на глубину провара и форму шва. Параметры режима должны быть в пределах приведенных в таб. 1.2. Хотя при расчетах можно опираться на формулу:

$$I_{CB} = (40 \div 60)d_{\text{э}}, \quad (8)$$

где  $d_{\text{э}}$  - диаметр электрода, мм.

Длина дуги существенно влияет на качество шва: чем короче дуга, тем выше качество наплавленного металла. Длину дуги определяют по формуле:

$$l_{\text{д}} = 0,5(d_{\text{э}} + 2) \quad (9)$$

Напряжение зажигания дуги для постоянного тока равно 40-60 В, а для переменного 50-70 В [20]. При замыкании сварочной цепи напряжение падает почти до нуля и после возбуждения дуги поддерживается в пределах 16-30 В в зависимости от длины дуги и марки электрода.

$$U_{\text{д}} \approx 20 + 0,05 I_{\text{д}} \quad (10)$$

Скорость сварки можно определить по формуле:

$$V_{CB} = \frac{L}{t_0}, \quad (1.7)$$

где  $t_0$  - основное время горения дуги;

$L$  – длина шва, м.



Расход электродов на угар, разбрызгивание и огарки составляет до 25 % всей массы электродов. Расход электроэнергии при ручной сварке на постоянном токе примерно составляет 6-10 кВт·ч/кг, а на переменном – 3-4 кВт·ч/кг наплавленного металла [20].

В настоящее время не существует стандартизированного подхода к оценке эффективности сварки, а применяют опыт инженерно-исследовательских данных по расходу кпд. В работе Сидорова В.П. [28] предложена новая методика определения эффективности, которая позволяет характеризовать процесс сварки, не привязываясь к опытным данным для этого процесса, а определить эффективность согласно выбранному режиму. Руководствуясь данной статьей и опытом проведения сварочных работ, определим эффективность ручной дуговой сварки согласно режимам (таб. 21).

Таблица 21 – Ориентировочные режимы сварки конструкционных сталей

Толщина, мм	Стыковое		Тавровое		Нахлесточное	
	$I$ , А	$d_э$ , мм	$I$ , А	$d_э$ , мм	$I$ , А	$d_э$ , мм
4,0	120-160	3-4	120-160	3-4	120-160	3-4
5,0	130-180	3-4	130-180	4	130-180	4
10,0	140-220	4-5	150-220	4-5	150-220	4-5

Таблица 22 – Рекомендуемые значения сварочного тока для электродов различных диаметров

Покрытие электрода	Диаметр электрода, мм	Ток, А
Основное (электроды УОНИ-13/55, ЦУ-5, ТМУ-21У, ТМЛ-3У, ТМЛ-1У, ЦЛ-39 и др.)	2,5	70-90
	3,0	90-110
	4,0	120-170

	5,0	170-210
Рутиловое (электроды ОЗС-4, АНО-6 и др.)	2,5	70-90
	3,0	90-130
	4,0	140-190
	5,0	180-230

### Показатели эффективности РДС

Толщина  $\delta = 10$  мм; скорость сварки  $V_c = 15$  м/час; ток сварки  $I = 220$  А; напряжение дуги  $U_d = 31$  В; площадь сварочной ванны  $S = 0,98$  см<sup>2</sup>;  $d_3 = 4$  мм.

1) Интегральная скорость сварки:  $Z = \delta \cdot V_c = 1 \cdot 15/36 = 0,417$  см<sup>2</sup>/с.

2) Расход электроэнергии:  $E = U \cdot I / Z = 31 \cdot 220 / 0,417 = 16355$  Дж/см<sup>2</sup>.

3) Расход электродного материала:  $W = 7,8 \cdot S \cdot V_c = 7,8 \cdot 0,98 \cdot 15/36 = 3,185$  г/с.

4) Частота сварки:  $f = Z/S = 0,417/0,98 = 0,426$  с<sup>-1</sup>.

5) Период сварки:  $T = 1/f = 1/0,426 = 2,347$  с.

Полученные значения сведем в таблицу 23.

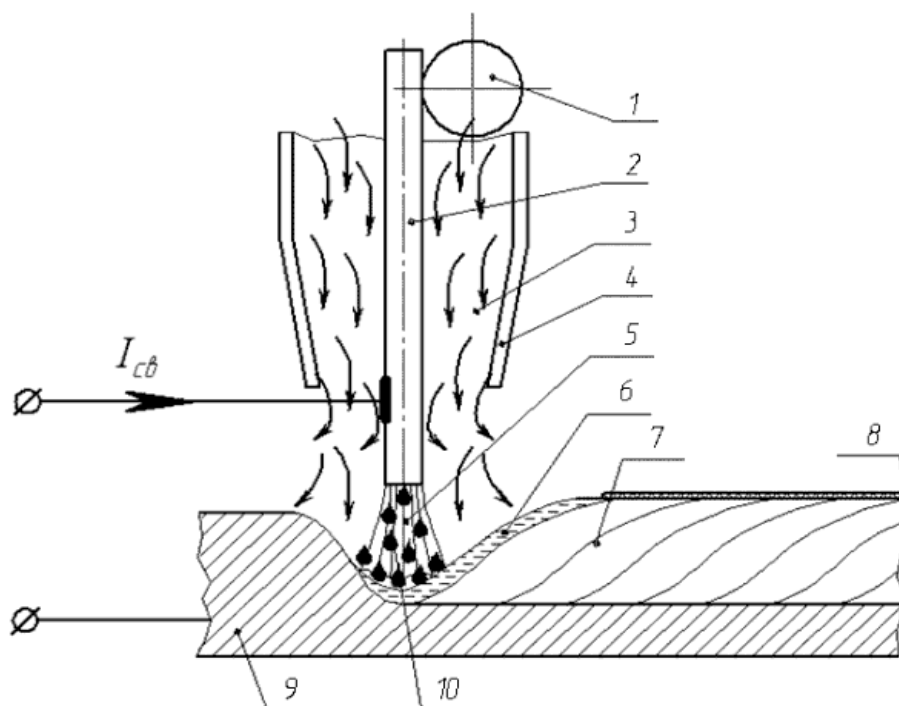
Таблица 23 – Расчетные показатели эффективности РДС

Толщина металла	Интегральная скорость сварки	Расход электроэнергии	Расход электродного материала	Частота сварки	Период сварки
мм	см <sup>2</sup> /с	Дж/см <sup>2</sup>	г/с	с <sup>-1</sup>	с
4	0,167	18683	1,170	0,464	2,155
6	0,250	17920	1,560	0,521	1,919
8	0,330	18182	2,015	0,533	1,880
10	0,417	16355	3,185	0,426	2,347

Примечание: площадь сварочной ванны рассчитывалась по ГОСТ 5264-80 на ручную дуговую сварку [6].

## 4.2 Механизированная сварка в среде углекислого газа

Сварка в среде углекислого газа – наиболее экономичный способ сварки малоуглеродистых и среднелегированных сталей. Главная особенность – замена ручной электродуговой сварки полуавтоматической. При этом можно использовать электродную проволоку диаметром 0,6-4,0мм, что обеспечивает высокую устойчивость процесса сварки, небольшое разбрызгивание и высокое качество сварных соединений.



1 – механизм подачи проволоки; 2 – сварочная проволока; 3 – защитный газ; 4 – сопло; 5 – сварочная дуга; 6 – расплавленный металл; 7 – металл шва; 8 – шлак; 9 – основной металл; 10 – капли электродного металла.

Рисунок 39 – Схема механизированной сварки в среде углекислого газа.

Для компенсации окислительного действия углекислого газа, повышают содержание в электродной проволоке раскисляющих элементов (Mn, Si).

Для получения плотного, беспористого металла шва и уменьшения разбрызгивания металла при сварке необходимо поддерживать дугу 1,5-4 мм.

Сварку, как правило, осуществляют на постоянном токе обратной полярности.

Таблица 24 – Ориентировочные режимы механизированной сварки

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, см/мин	Расход газа, дм <sup>3</sup> /мин
4	2,0	330-340	28-29	90	14-16
5	2,5	350-400		70	
8	3,0	580-620	34-35	90	18-20
10				80	

Показатели эффективности механизированной сварки

Толщина  $\delta = 10$  мм; скорость сварки  $V_c = 80$  см/мин; ток сварки  $I = 620$  А; напряжение дуги  $U_d = 35$  В; площадь сварочной ванны  $S = 0,72$  см<sup>2</sup>.

- 1) Интегральная скорость сварки:  $Z = \delta \cdot V_c = 1 \cdot 80/60 = 1,33$  см<sup>2</sup>/с.
- 2) Расход электроэнергии:  $E = U \cdot I / Z = 35 \cdot 620 / 1,33 = 16316$  Дж/см<sup>2</sup>.
- 3) Расход электродного материала:  $W = 7,8 \cdot S \cdot V_c = 7,8 \cdot 0,72 \cdot 80/60 = 7,49$  г/с.
- 4) Частота сварки:  $f = Z/S = 1,33/0,72 = 1,847$  с<sup>-1</sup>.
- 5) Период сварки:  $T = 1/f = 1/1,847 = 0,541$  с.

Полученные значения сведем в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчетные показатели эффективности механизированной сварки

Толщина металла	Интегральная скорость сварки	Расход электроэнергии	Расход электродного материала	Частота сварки	Период сварки
мм	см <sup>2</sup> /с	Дж/см <sup>2</sup>	г/с	с <sup>-1</sup>	с
4	0,60	15400	2,80	2,500	0,400
6	0,70	16571	2,91	2,188	0,457

8	1,20	16433	6,79	2,069	0,483
10	1,33	16316	7,49	1,847	0,541

Примечание: площадь сварочной ванны рассчитывалась по ГОСТ 14771-76 на дуговую сварку в защитном газе [5].

Вывод: Из проведенного анализ способов сварки металла толщин 10 мм, следует, что частота и период сварки существенно зависят от толщины свариваемого металла и самого способа сварки.

Наиболее эффективным способом является механизированная сварка, у которой средний период составляет  $T = 0,47$  с, частота  $f = 2,1$  с<sup>-1</sup> и расход энергии до 17 кДж/см<sup>2</sup>.

У РДС средний период составляет  $T = 2,0-2,1$  с, частота  $f = 0,48-0,49$  с<sup>-1</sup> и расход энергии до 19 кДж/см<sup>2</sup>.

## Заключение

1. Хорошее формирование сварных соединений обеспечивается на наклонах внешней ВАХ 0,01-0,04 В/А, так как формируется более плавный переход от шва к основному металлу при минимальном разбрызгивании.

2. Минимальное разбрызгивание электродной проволоки удается получить при выборе оптимальных параметрах режима сварки, используя сварочное оборудование завода при естественном протекании процесса сварки плавящимся электродом. Для этого рекомендуется при использовании  $d_{пр}=1,2$  мм вести процесс на скорости нарастания тока  $K,3$ ,  $dI/dt = 60-110$  кА/с с наклоном внешней ВАХ 0,015-0,04 В/А (Оптимальные параметры режима приведены в табл.).

3. Импульсный ввод тепла при сварке плавящимся электродом существенно снижает разбрызгивание металла на частоте К.З. от 14 до 100 Гц при наклонах внешней ВАХ в диапазоне от 0,01 до 0,04 В/А.

4. Исследование показали, что целесообразнее использовать для сварки плавящимся электродом источники питания с регулируемым наклоном внешних ВАХ (инверторы).

5. Снижение разбрызгивания электродной проволоки позволяет снизить время на изготовление изделий при механизированной сварке.

6. Для снижения разбрызгивания электродной проволоки рекомендуется заводу приобрести инверторы фирм EWM, KEMPI, Рязанский приборный завод.

## Список используемой литературы

1. Акулов, А.И., Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.- 432 с.
2. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. -. М. : Высшая школа; Изд. центр «Академия», 1997. – 319с.
3. Глизматенко Д.Л. Сварка и резка металлов. – М.: Высшая школа,1967. – 448с.
4. ГОСТ 10141-91 Мельницы стержневые и шаровые – М.: Издательство стандартов, 1991.-61с.
5. ГОСТ14771-76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М. : Изд-во стандартов,1976. - 80с.
6. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка.
7. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1973, 448 с.
8. Кархин, В.А. Тепловые процессы при сварке / В.А. Кархин.- СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015.-572 с.
9. Короткова Г.М., Источники питания переменного тока для сварки неплавящимся электродом алюминиевых сплавов: монография. – Тольятти : ТГУ, 2009. - 331 с.
10. Короткова Г.М. Технологические возможности источников питания для дуговой сварки ОАО «Электромеханика»/ Сб. трудов, посвященный 75-летию ОАО «Электромеханика». – Ржев, 2014.-с. 69-71
11. Лебедев В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2007. №. 8. С. 30–35.
12. Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров.Х.Н. Технологические свойства дуги в защитных газах /под ред. Н.Г.Дюргерова: монография – М. : НАКС, 2011. - 367с.

13. Лесков, Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков // М.: Машиностроение, 1970.- 335 с.
14. Масаков В.В. Методические указания к практическому занятию на тему «Расчет режимов и размеров шва»:ТГУ,2013.-19с.
15. Мельница стержневая МСЦ – 3200х4500. Технические условия. – Мн., 1998.- 60 с.
16. Методические указания для выполнения экономической части дипломного проекта/ Краснопевцева И.В. // – Тольятти: ТГУ, 2004.-83с.
17. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении: справочник в 4-х т. Т.1 // – М. : Машиностроение, 1978.
18. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В.Смирнова. Л.: Энергоатомиздат // Ленинградское отделение.- 1986.-656 с.
19. ОСТ 26-3-87. Сварка в химическом машиностроении. Основные положения.- М. : Госстандарт,1987.- 63 с.
20. Полухин П.И. Технология металлов и сварка : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. школа, 1977.
21. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М. : Машиностроение, 1974. – 239 с.
22. Рябов А.О., Короткова Г.М. Регистрация электрических параметров при дуговой сварке / Студенческие дни науки в ТГУ, Ч.1: Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013 . –с.73-77.
23. Сагиров.Х.Н., Дюргеров Н.Г., Морозкин И.С. Зажигание сварочной дуги. – Ростов – на Дону : Гефест, 1999. – с.199.
24. Сато К. Современные источники питания для дуговой сварки с низким разбрызгиванием // Технология сварки, 2008. - №2. – с.60-65
25. Семистенов Д.А., Короткова Г.М. Исследование эксплуатационных характеристик инвертора «Форсаж-302» при механизированной сварке / Сварочное производство, 2012.- №4.-с.42-45



26. Семистенов Д.А., Хурин С.А., Сидоров В.П. Определение сосредоточенности теплового потока от сварочных источников тепла. Тольятти : ТГУ.
27. Сидоров В.П. Влияние режимов сварки на проплавление при механизированной наплавке / В.П. Сидоров, А.И. Ковтунов, С.А. Хурин // Сварочное производство, 2011, № 4, С. 3-6.
28. Сидоров В.П., Семистенов Д.А., Хурин С.А. Новые показатели эффективности проплавления металла. Тольятти : ТГУ.24. Строительство магистральных трубопроводов. Справочник / Чирков В.Г., Березин В.Л., Телегин Л.П. и др. М.: Недра, 1991.
29. Суворов, А.Ф. Сварочно-монтажные работы в строительстве / А.Ф. Суворов, Г.Г. Васильев, Ю.Г. Горяинов и др. // М.: ЗАО «Звезда, 2006ю- 240 с.
30. Теория сварочных процессов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров и др.; Под ред. В.М. Неровного.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.- 752 с.
31. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В.А. Ленивкин, Н.Г. Дюргеров, Х.Н. Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989.- 264 с.
32. Технологический процесс сборки сварки МШЦ 3200×4500.-Сызрань: Издательство ОАО Тяжмаш,2012.-32с.
33. Чванов А.В., Короткова Г.М. Способы уменьшения разбрызгивания присадочной проволоки при сварке плавящимся электродом /Студенческие дни науки в ТГУ: Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014 . –с.39-42.
34. Чванов А.В., Щелкова Н.И., Семистенов Д.А., Короткова Г.М. Оценка сварочных свойств источников питания для сварки плавящимся электродом в СО<sub>2</sub>. //Студенческие дни науки в ТГУ: Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015 . – с.33-36.
35. Шейко П.П., Жерносеков А.М., Шимановский Ю.О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка, 2004.- №1. – С.8-11
36. Фролов, В.А. Технология сварки плавлением и термической резки металлов : учебное пособие / В.А. Фролов, В.Р. Петренко, А.В. Пешков, А.В.

Коломенский, В.А. Казаков ; под ред. В.А. Фролова.- М.: Альфа-М : ИНФРА-М, 2011. 448 с.