

На правах рукописи

КРЫСЬКО НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**Разработка способа формирования шва поперечным магнитным полем
при дуговой сварке плавящимся электродом**

Специальность 05.02.10– «Сварка, родственные процессы и технологии»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, fluid strokes that form a stylized representation of the author's name.

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре технологий сварки и диагностики ФГБОУ
ВПО МГТУ имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
РЫБАЧУК Александр Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук (05.02.10)
ДОРОНИН Юрий Викторович,
ООО «АЦГХ», начальник лаборатории сварки

кандидат технических наук (05.02.10)
СЛИВА Андрей Петрович,
НИУ «МЭИ», доцент кафедры технологий
металлов

Ведущая организация: **РГУНГ им. И.М.Губкина (г. Москва)**

Защита состоится **25 июня 2015 г. в 14:30** часов на заседании
диссертационного совета Д 212.141.01 при Московском государственном
техническом университете им.Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва,
ул. 2-я Бауманская, д. 5.

Телефон для справок: (499)267-09-63.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью
организации, просим направлять на имя ученого секретаря диссертационного
совета по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и
на сайте <http://www.bmstu.ru>.

Автореферат разослан «____» _____ 2015 г.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
д.т.н., доцент



Коновалов А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Качественное формирование шва всегда являлась одной из основных проблем при автоматической дуговой сварке в защитных газах. При расплавлении свариваемых кромок во время сварки стыковых швов с полным проплавлением под действием сил давления дуги, тяжести, электромагнитных и поверхностного натяжения, жидкий металл формируется, образуя швов с выпуклостью с обратной стороны.

На изделиях для хранения, приготовления и перевозки пищевых продуктов по санитарным условиям не допускается наличие выпуклости с обратной стороны шва. После сварки таких изделий приходится механическим путем удалять выпуклость с обратной стороны и полировать поверхность шва.

Существует способ формирования шва во внешнем поперечном магнитном поле четырехполюсной магнитной системы при сварке неплавящимся электродом в защитных газах, который позволяет формировать швы с нулевой выпуклостью с обратной стороны при однопроводной сварке изделий из немагнитных материалов. Основной сложностью данного способа является наличие градиента индукции магнитного поля в области горения дуги. В результате взаимодействия внешнего магнитного поля и тока в дуге, возникают электромагнитные силы, сильно растягивающие дугу.

Сварка плавящимся электродом в защитных газах является более производительным способом, чем сварка неплавящимся электродом. Формирование нулевой выпуклости с обратной стороны шва при сварке плавящимся электродом затруднено из-за нарушения стабильности переноса электродного металла внешним магнитным полем и увеличенным весом жидкой сварочной ванны из-за наличия в ней электродного металла. Ранее были попытки удержания сварочной ванны при сварке плавящимся электродом в CO_2 , была показана работоспособность данного способа, но из-за указанных сложностей, нулевую выпуклость с обратной стороны так и не удалось получить.

Цель работы - исследование возможностей уменьшения внешнего магнитного поля в области переноса электродного металла при формировании шва в поперечном магнитном поле и разработка методики выбора режимов сварки плавящимся электродом, которые позволяют сформировать нулевой обратный валик.

Задачи исследований:

1. Определение размеров и положения области, чувствительной к внешним магнитным полям при сварке плавящимся электродом, как в активных, так и в инертных газах и смесях.

2. Анализ изменения конфигурации магнитного поля в области горения дуги и переноса электродного металла в зависимости от геометрических и электрических параметров комбинированной магнитной системы.

3. Исследование особенностей процесса дуговой сварки плавящимся электродом в магнитном поле комбинированной системы, а также разработка технологии и оборудования для сварки немагнитных материалов.

Методы исследования

В работе применялись методы статистической обработки экспериментальных данных с использованием программы STATISTICA. Численное моделирование осуществлялось с помощью конечно-элементного комплекса ANSYSMaxwellv15.0. Измерения индукции магнитного поля проводились Гауссметром GM2, сварочные эксперименты проводились с использованием источника питания KemppiPSS5000.

Ценность выполненных исследований: доказана практически возможность получения швов без провисания при дуговой сварке плавящимся электродом изделий из сталей аустенитного класса толщиной до 4 мм за счет использования внешнего магнитного поля.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Установлено, что не только форма и размеры, но и положение области, чувствительной к магнитным полям при сварке плавящимся электродом, относительно поверхности свариваемых изделий зависит от типа переноса электродного металла.

2. Установлено, что при компенсации формирующего магнитного поля четырехполюсной магнитной системы регулировочным магнитным полем противоположного направления, существует поверхность с нулевым значением индукции магнитного поля, которая перемещается относительно поверхности свариваемых изделий при изменении соотношения величины формирующего и регулировочного магнитных полей.

3. Установлена зависимость положения поверхности с нулевым значением индукции магнитного поля относительно поверхности свариваемых изделий от соотношения токов питания магнитных систем.

Практическая значимость диссертационной работы:

1. Разработана номограмма, позволяющая определить положение поверхности с нулевым значением магнитного поля в зависимости от токов питания формирующей и регулировочной магнитных систем.

2. Сварные швы без провисания не требуют затрат на механическую обработку, что особенно важно для труб малого диаметра и изделий, не имеющих доступа к обратной стороне сварного шва.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре технологий сварки и диагностики МГТУ им. Н.Э. Баумана. Также результаты диссертационной работы рекомендованы к внедрению на предприятиях ОАО «Криогенмаш», ОАО «Московский трубный завод «Филит», АО «НИКИМТ-Атомстрой» и на других машиностроительных предприятиях пищевой и химической промышленности.

На защиту выносятся:

1. Экспериментальные данные формы, размеров, и положения области, чувствительной к магнитным полям при сварке плавящимся электродом, относительно поверхности свариваемых изделий при различных типах переноса электродного металла.

2. Параметры поверхности с нулевым значением индукции магнитного поля, при компенсации формирующего магнитного поля четырехполюсной магнитной системы регулировочным магнитным полем противоположного направления, и характер ее перемещения относительно поверхности свариваемых изделий при изменении соотношения величины формирующего и регулировочного магнитных полей.

3. Номограмма, позволяющая определить положение поверхности с нулевым значением магнитного поля в зависимости от токов питания формирующей и регулировочной магнитных систем.

4. Результаты экспериментов по деформации дуги магнитными полями комбинированной магнитной системы и формированию нулевого провисания при сварке плавящимся электродом.

Апробация работы

Основные положения работы докладывались на научных семинарах кафедры технологий сварки и диагностики МГТУ им. Н. Э. Баумана. Москва, 2012, 2014 и на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». Москва, 2011.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликованы 3 научные работы, в том числе 2 в изданиях по перечню ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из списка принятых сокращений, введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы содержащего 103 наименования. Диссертация представлена на 119 страницах и содержит 60 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируется цель работы, научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен литературный обзор и рассмотрены особенности воздействия внешними магнитными полями различной ориентации как на сварочную дугу, так и на сварочную ванну. В литературе широко описывается применение внешних магнитных полей с целью управления процессами горения дуги, формирования структуры и геометрии сварного шва такими учеными, как Гвоздецкий В.С., Мечев В.С., Леваков В.С., Любавский К.В., Тиходеев Г.В., Завьялов В. Е., Звороно Я. П., Черныш В. П., Матяш В. И., Болдырев А. М., Биржев В. А., Абралов М.А., Абдурахманов Р. У., Бардокин Е.В., Ливенец В.И., Рыжов Р.Н., Кожухарь В. А., Акулов А.И., Рыбачук А.М., А.Н. Брискман, В.С. Гладышко и др.

В этих работах показано, что основной сложностью при использовании внешних магнитных полей является тот факт, что при оказании их положительного воздействия на технологический процесс дуговой сварки также присутствует отрицательное воздействие. При дуговой сварке с формированием шва магнитным полем четырехполюсной магнитной системы магнитное поле взаимодействует со сварочной дугой, что приводит к ее растяжению.

При дуговой сварке плавящимся электродом формированием шва в поперечном магнитном поле четырехполюсной магнитной системы силы, воздействующие на сварочную дугу, также взаимодействуют со сварочной каплей, что приводит к нарушению стабильности процесса переноса электродного металла. Акуловым А.И. и Рыбачуком А.М. были предприняты попытки получить шов без провисания при сварке плавящимся электродом в поперечном магнитном поле, но нулевой обратный валик получить не удалось. Акуловым А.И., Рыбачуком А.М. и др. была разработана комбинированная магнитная система, состоящая из двух четырехполюсных магнитных систем, которые создают магнитные поля противоположного направления. Данная магнитная система позволяет уменьшить магнитное поле в области горения дуги, что приводит к уменьшению деформации дуги при сварке неплавящимся электродом.

При сварке плавящимся электродом область, чувствительная к внешним магнитным полям, имеет определенный объем. Для получения швов с нулевым провисанием, необходимо исследование конфигурации магнитных полей в центральной области комбинированной магнитной системы в зависимости от ее параметров.

В главе обоснована актуальность, поставлены цели и задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты определения размеров и положения относительно поверхности свариваемых изделий области, чувствительной к внешним магнитным полям при дуговой сварке плавящимся электродом, как в среде углекислого газа, так и в среде аргона и смесях. Область, чувствительная к внешним магнитным полям – это область, в которой магнитное поле оказывает влияние на дугу или каплю. Сверху она ограничена фронтом плавления электродной проволоки, а снизу - изотермой плавления сварочной ванны (Рис. 1).

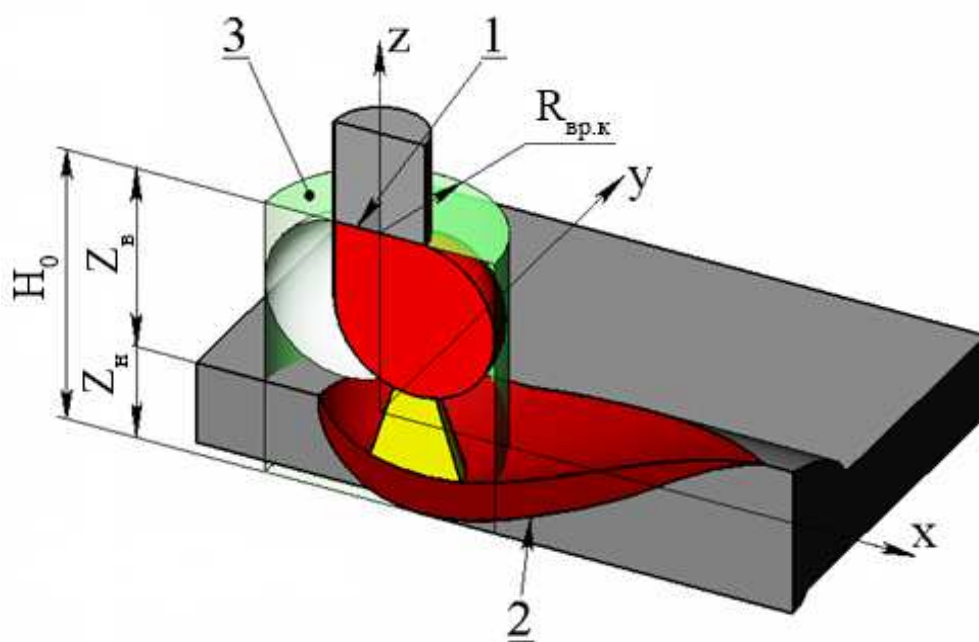


Рис. 1.

Схема области переноса электродного металла при сварке в CO_2 . 1 – фронт плавления электродной проволоки; 2 - изотерма плавления сварочной ванны; 3 – область, в которой магнитное поле оказывает влияние на дугу и каплю

Для определения радиуса области переноса измеряли величину отклонения капли от оси электрода по данным киносъёмки. Сварка проводилась в нижнем положении, на обратной полярности, проволокой Св-08Г2С диаметром 1 мм при вылете электрода 15 мм и расходе газа 12 л/мин. Также оценивали положение области переноса относительно верхней поверхности свариваемых деталей (Рис. 1, Z_v и Z_n). Величину Z_n приняли равной глубине проплавления.

В данной главе оценивались размеры области, чувствительной к внешним магнитным полям при дуговой сварке в среде CO_2 с переносом электродного металла короткими замыканиями, управляемыми переносами электродного металла STT (Surface Tension Transfer) и переноса с наложением высокоэнергетических импульсов, разработанного Князьковым А.Ф. при различных режимах сварки. Результаты размеров области представлены на Рис. 2.

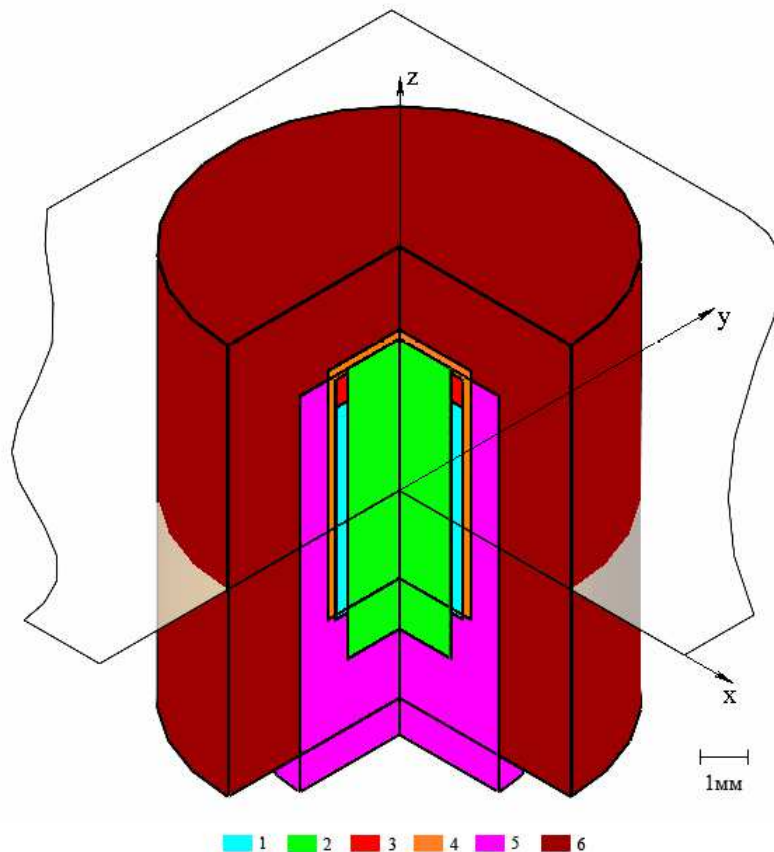


Рис.2.

Область, чувствительная к магнитным полям, при различных процессах в чистом CO_2 : 1 – STT; 2 – 4 - сварка с короткими замыканиями 220А и 23В, 120А и 23В, 120А и 26В соответственно; 5, 6 - сварка с наложением высокоэнергетических импульсов, разработанная Князьковым А.Ф. при $I_{\text{и}}=600\text{А}$, $V_{\text{под}}=650\text{ м/ч}$ и $I_{\text{и}}=500\text{А}$, $V_{\text{под}}=450\text{ м/ч}$ соответственно

При сварке в чистом аргоне и в смеси с другими газами на оптимальных режимах характерен мелкокапельный и струйный перенос. Дуга полностью охватывает капли, которые переходят в сварочную ванну по оси электрода. В данных процессах можно выделить узкую зону переноса каплей и большую зону горения дуги (Рис. 3). В этом случае можно выделить две области, чувствительные к магнитным полям: первая – цилиндрическая, ограниченная областью переноса электродного металла с радиусом, равным радиусу переноса электродного металла $R_{\text{п.эм}}$ и вторая - ограниченная поверхностью столба дуги с радиусом основания дуги $R_{\text{д}}$. Сверху эти области ограничены фронтом плавления электродной проволоки, а снизу - изотермой плавления сварочной ванны.

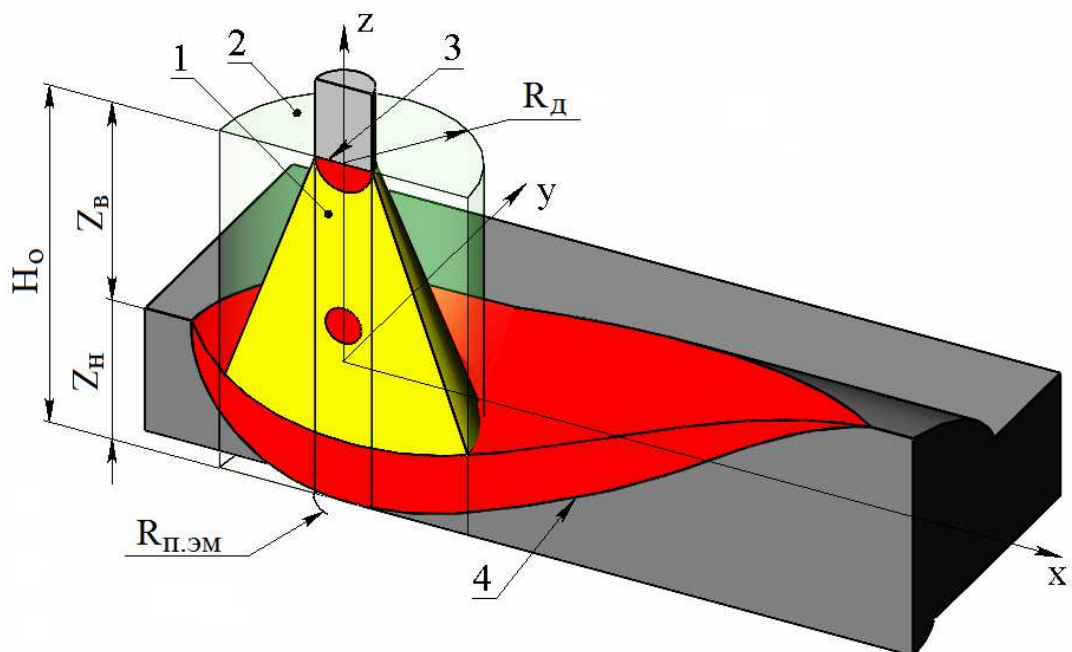


Рис.3.

Схема процесса сварки в аргоне и в смесях с другими газами: область переноса капель (1), область горения дуги (2), фронт плавления электрода (3), изотерма плавления сварочной ванны (4)

При переносе электродного металла короткими замыканиями, мелкокапельном и струйным областями, чувствительная к магнитным полям, определяется областью переноса капель металла, а при сварке с управляемым переносом и с наложением высокоэнергетических импульсов в CO_2 , вращательно струйным и умеренно-струйным - областью горения дуги. Минимальная область, чувствительная к внешним магнитным полям, наблюдается при сварке с управляемым переносом (STT и т.д.), максимальная – при сварке со струйно-вращательным переносом электродного металла.

Результаты проделанной работы представлены на Рис. 4. В результате определено, что размеры области, чувствительной к внешним магнитным полям при сварке в защитных газах, а также ее положение относительно поверхности свариваемых изделий определяются режимом и типом переноса электродного металла. Следовательно, комбинированная магнитная система должна обладать возможностью регулировки, как размеров, так и положения относительно поверхности свариваемых изделий области с минимально возможной индукцией магнитного поля.

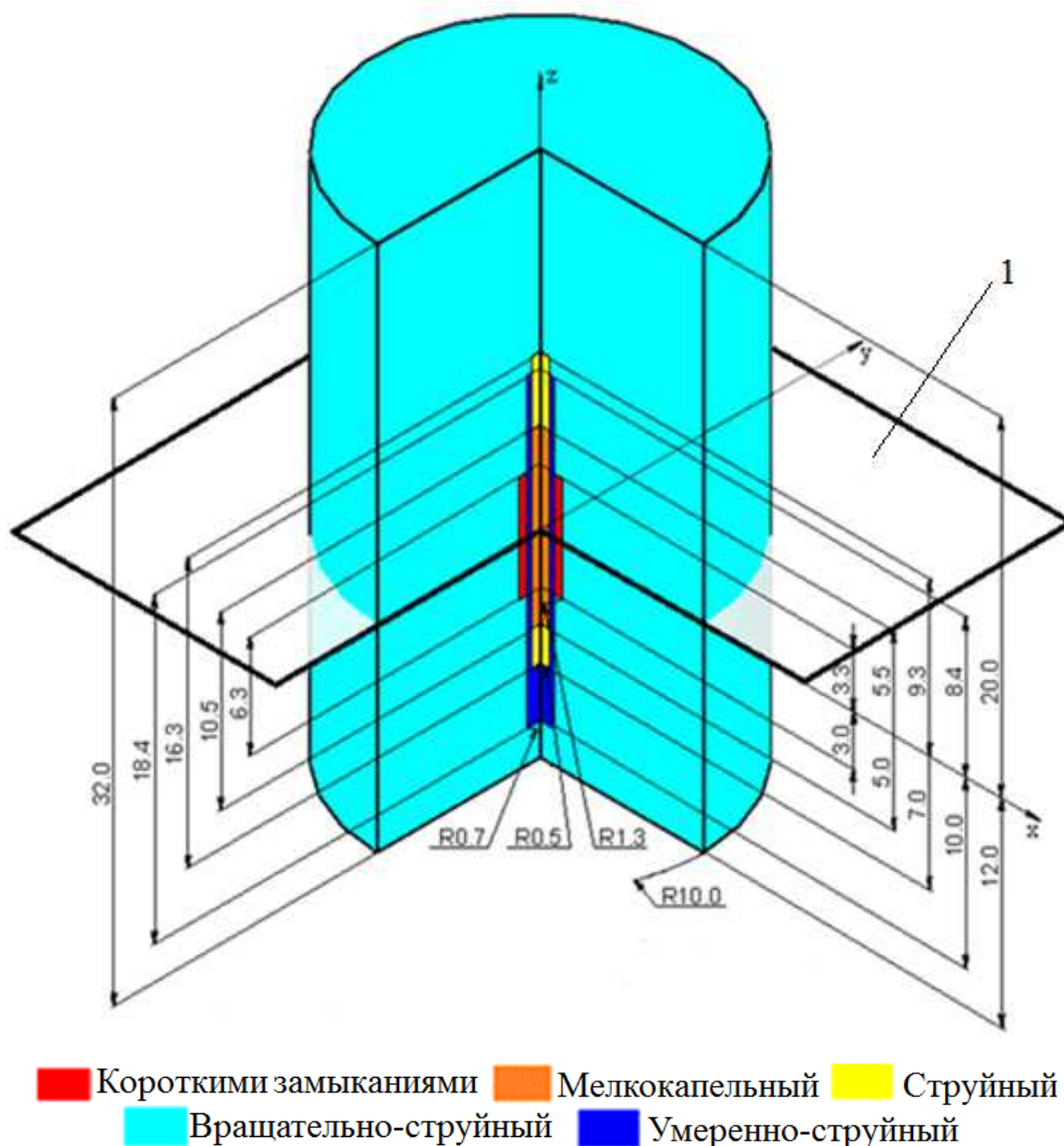


Рис.4.

Размеры областей, чувствительных к магнитным полям обусловленных зонами переноса электродного металла при различных способах сварки.(1 – верхняя поверхность свариваемых изделий)

В третьей главе представлено обоснование выбора геометрических параметров комбинированной магнитной системы, а также результаты экспериментальных исследований конфигурации магнитных полей комбинированной магнитной системы и их моделирование методом конечных элементов.

Комбинированная магнитная система (КМС) создана с целью обеспечения минимально возможного магнитного поля в области,

чувствительной к внешним магнитным полям. В связи с этим было введено понятие «магнитной ямы» - области, в которой полностью отсутствуют магнитные поля. Отсутствие магнитных полей в центральной области КМС достигается при равенстве значения градиентов индукции регулирующей и формирующей магнитных систем (РМС и ФМС) вдоль осей ОХ и ОУ одновременно:

$$\frac{\partial B_y^\Phi}{\partial x} = -\frac{\partial B_y^P}{\partial x} \text{ и } \frac{\partial B_x^\Phi}{\partial y} = -\frac{\partial B_x^P}{\partial y} \quad (1)$$

где $\frac{\partial B_y^\Phi}{\partial x} \frac{\partial B_x^\Phi}{\partial y} \frac{\partial B_y^P}{\partial x} \frac{\partial B_x^P}{\partial y}$ - градиенты составляющих B_y и B_x

составляющей индукции магнитного поля вдоль осей ОХ и ОУ ФМС и РМС соответственно, Т/м,

Уравнения (1) будут выполняться только в случае подобия конфигурации полюсов РМС полюсам ФМС. На основе этого утверждения была построена КМС, в которой ФМС состоит из двух П-образных электромагнитов, каждый из которых оснащен катушкой. РМС так же состоит из двух П-образных электромагнитов, но каждый оснащен двумя катушками с целью уменьшения ее габаритных размеров.

«Магнитная яма» может существовать только в центральной области четырехполюсной магнитной системы, там, где градиент индукции магнитного поля постоянный и величина индукции магнитного поля не зависит от формы полюсов. РМС находится внутри ФМС, поэтому размер ее области постоянного градиента меньше, чем у ФМС. Отсюда следует, что форма «магнитной ямы» совпадает с размером области с постоянным градиентом РМС.

По Рис. 5 видно, что L_x^I и L_y^I - протяженности зоны с постоянным градиентом индукции магнитного поля по осям ОХ и ОУ соответственно равны 4,5 и 2,5 мм соответственно в независимости от координаты Z. Отсюда следует, что в плоскости «магнитная яма» имеет форму эллипса размерами, равными приблизительно «рабочему» и «боковому» зазорам РМС по соответствующим осям. Форма «магнитной ямы» в плоскости представлена на Рис. 6.

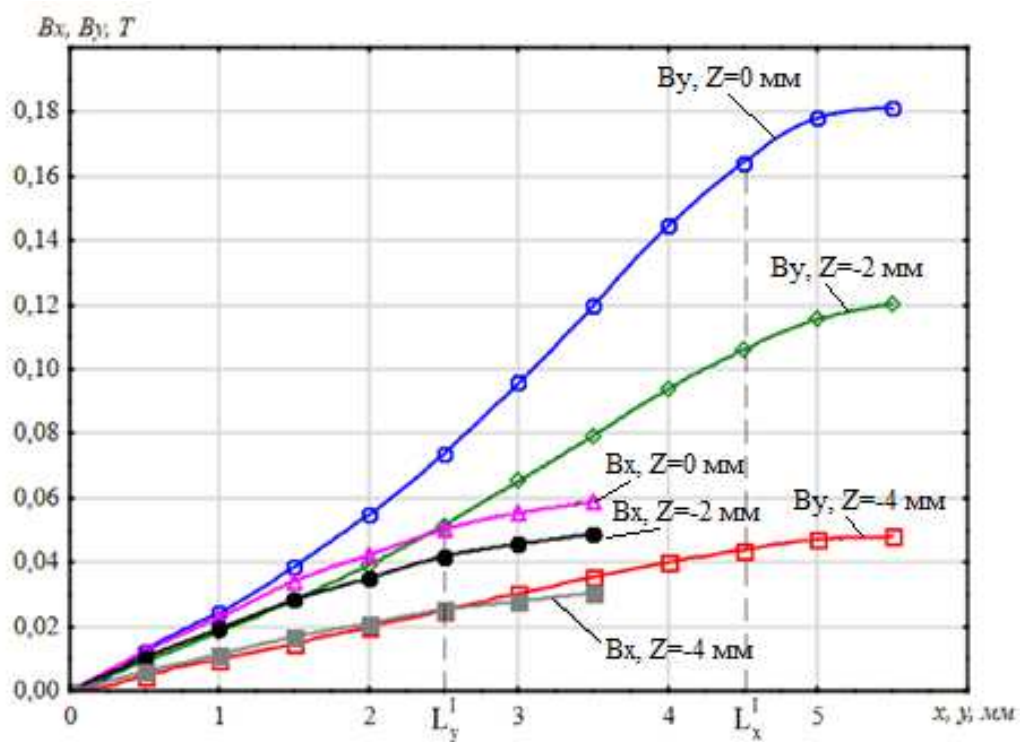


Рис.5.

Распределение составляющих B_y и B_x индукции магнитного поля вдоль осей Ox и Oy созданного РМС

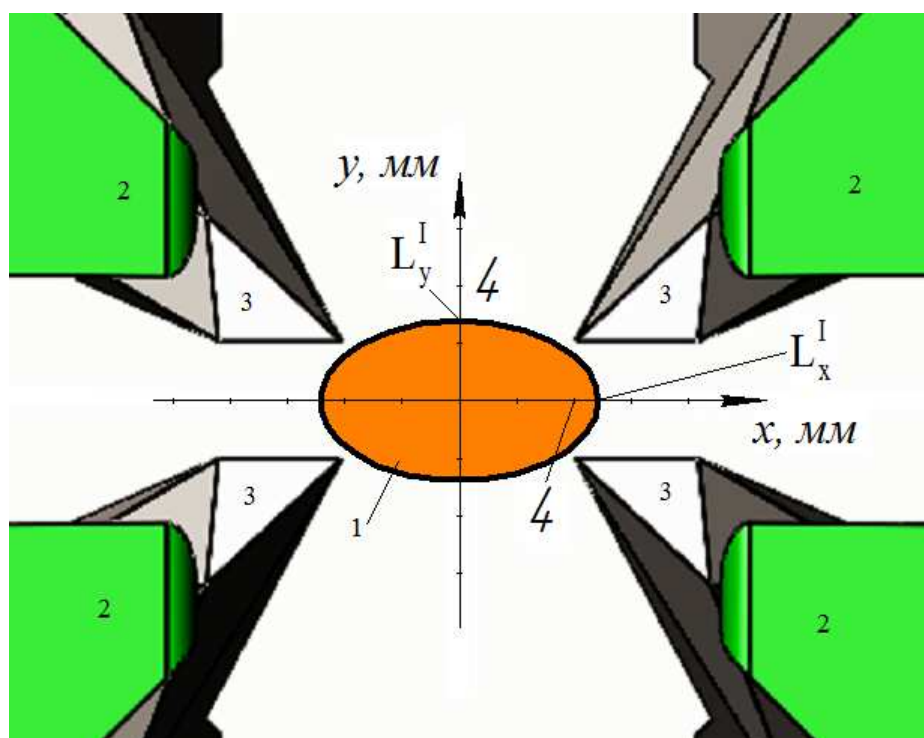
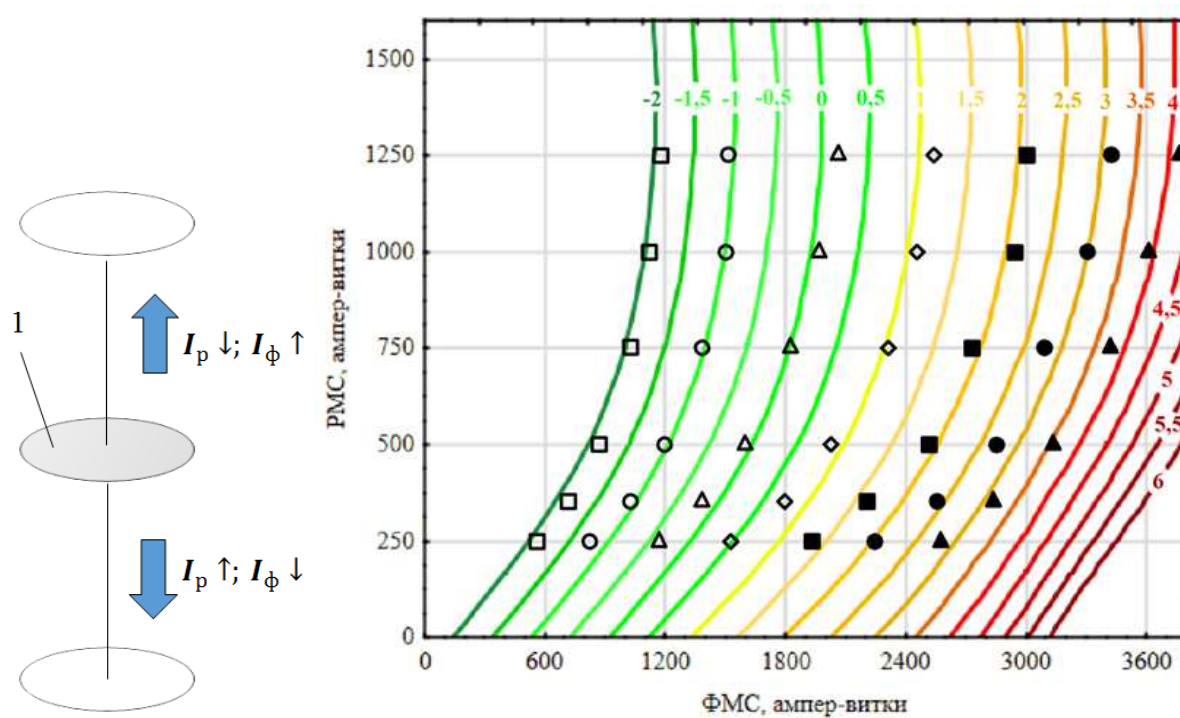


Рис.6.

Форма и размеры «магнитной ямы» в плоскости: «магнитная яма» (1), полюса ФМС (2), полюса РМС (3)

Также в данной главе исследовался характер изменения конфигурации магнитных полей КМС в зависимости от электрических параметров магнитных систем. В итоге было выяснено, что «магнитная яма» находится в одной плоскости и при изменении токов питания ФМС и РМС перемещается по вертикали (Рис. 7, а).

В среде AnsysMaxwellпровели расчет распределения индукции магнитных полей КМС при различных значениях ампер-витков в ФМС и РМС. По результатам расчета была построена номограмма (рис. 7. б), позволяющая по известному току питания ФМС и требуемому положению «магнитной ямы» по вертикали определить значение ампер-витков в РМС.



Положение «магнитной ямы» на оси OZ, определенное экспериментально, мм: $\square$ -2; $\circ$ -1; $\triangle$ 0; $\diamond$ 1; $\blacksquare$ 2; $\bullet$ 3; $\blacktriangle$ 4.

а)

б)

Рис.7. Управление положением «магнитной ямы» по вертикали (а): 1 – «магнитная яма»; I_p – значение тока в катушках РМС; I_ϕ – значение тока в катушках ФМС и номограмма определения значения ампер-витков в РМС по известным значениям ампер-витков в ФМС и требуемого положения «магнитной ямы» на оси OZ (б)

В четвертой главе проводится анализ деформации дуги, горящей под воздействием магнитного поля КМС, описываются результаты применения КМС при дуговой сварке неплавящимся и плавящимся электродом.

По результатам исследований, отраженных в третьей главе известно, что выше «магнитной ямы» преобладает магнитное поле РМС, и ниже – поле ФМС. В результате воздействия магнитного поля РМС дуга растягивается поперек сварного шва, а ФМС – вдоль сварного шва при удержании расплавленного металла сварочной ванны. В магнитном поле КМС сварочная дуга будет деформироваться подобно рис. 8. При изменении токов питания магнитных систем плоскость «магнитной ямы» 3 и недеформированная область дуги будут перемещаться по вертикали.

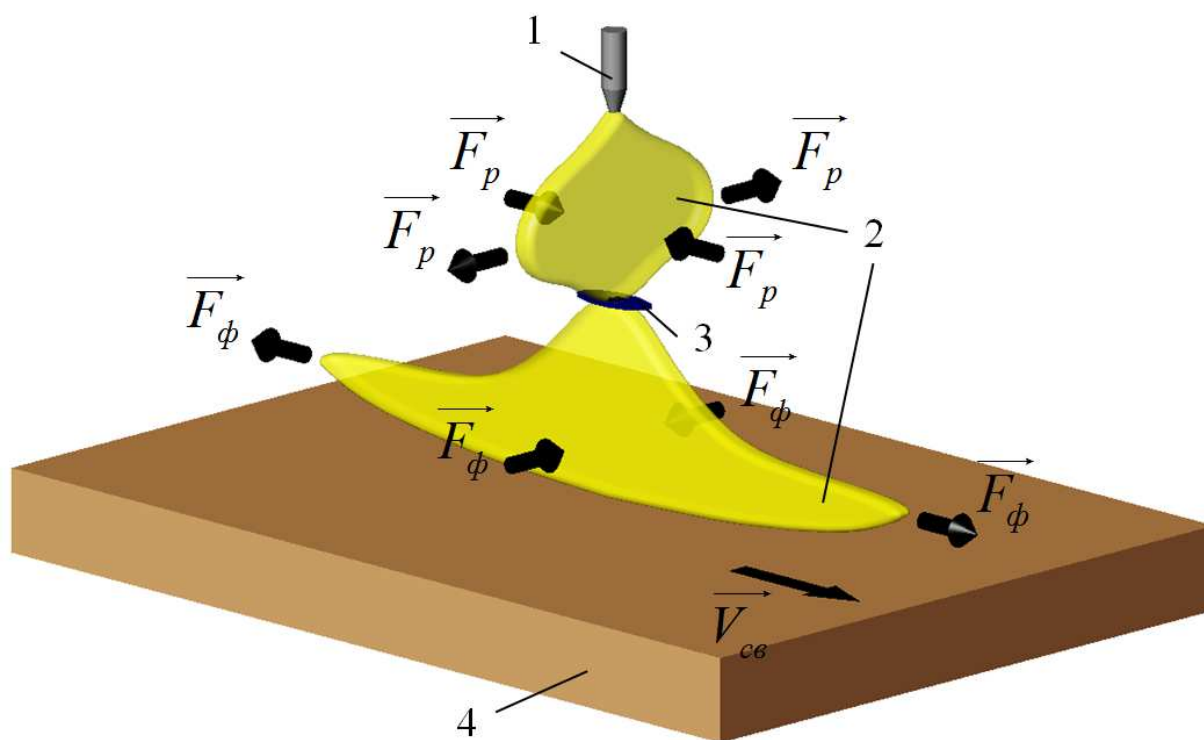


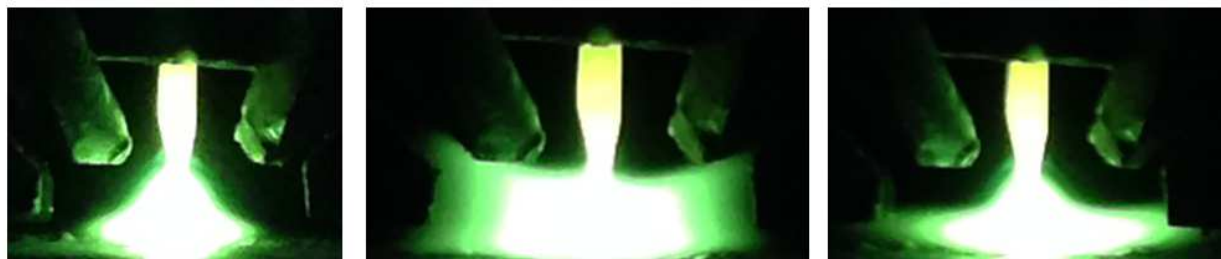
Рис.8. Дуга, деформированная полем КМС: электрод (1), дуга (2), положение «магнитной ямы» (3), медная пластина (4)

При сварке неплавящимся электродом в защитных газах с формированием шва с нулевой выпуклостью во внешнем поперечном магнитном поле дуга сильно растягивается вдоль направления сварки. На Рис. 9 представлены кадры сварочной дуги при сварке неплавящимся электродом пластин толщиной 3 мм, выполненных из аустенитной стали 08X18H10, в среде аргона при сварочном токе 210 А, напряжении 21 В, скорости сварки 21 м/ч. При увеличении тока ФМС до значения, при котором формируется нулевой обратный валик (Рис. 11, б), дуга сильно растягивается в направлении сварки (Рис. 9. б), что приводит к плохой защите сварного шва (Рис. 10. в).

Сжатый поток плазмы растянутой дуги оказывает механическое воздействие на хвостовую часть сварочной ванны, что приводит к образованию подрезов на скоростях сварки меньших, чем при сварке дугой (Рис. 9, а) без магнитного поля.

При растяжении дуги увеличиваются потери тепла в окружающую среду, что приводит к уменьшению использования тепловой мощности дуги.

При включении РМС на токе, при котором «магнитная яма» находится на уровне плоскости полюсов РМС, растяжка дуги резко уменьшается (Рис. 9,в), и защита сварного шва улучшается (Рис. 10,в).



а) б) в)

Рис. 9.

Фотографии перпендикулярно направлению сварки: при сварке без магнитного поля (а), при сварке с ФМС (б), при сварке с ФМС и РМС (в)



а) б) в)

Рис. 10.

Фотографии внешней стороны сварного шва: при сварке без магнитного поля (а), при сварке с ФМС (б), при сварке с ФМС и РМС (в)



а) б) в)

Рис. 11. Макрошлифы сварных швов: при сварке без магнитного поля (а), при сварке с ФМС (б), при сварке с ФМС и РМС (в)

Изменение формы дуги с осесимметричной конусной при сварке без магнитных полей (Рис. 9, а) на растянутую вдоль шва при сварке с ФМС приводит к ухудшению защиты сварного шва и околошовной зоны (Рис. 9, б). Получение швов с качественной поверхностью при сварке с формирующей

магнитной системой требует дополнительной подачи защитного газа в горелку и применения дополнительных защитных приспособлений.

Сравнивая площади поперечных сечений швов, показанных на Рис. 11, следует отметить, что сварка с ФМС обеспечивает минимальную зону расплавления. Это связано с тем, что дуга при сварке с ФМС наиболее концентрирована.

При сварке плавящимся электродом плотность тока в капле – максимальна во время ее отрыва и уменьшается при полете через сварочную дугу. Следовательно, для уменьшения вероятности вылета капель под действием электромагнитных сил, вызванных взаимодействием внешнего поперечного магнитного поля и плотности тока в капле, необходимо выбрать такие электрические параметры РМС и ФМС, при которых «магнитная яма» находится на уровне формирования капли, т.е. около верхней границы области, чувствительной к магнитным полям.

С целью определения возможности получения швов с нулевой выпуклостью с обратной стороны при сварке плавящимся электродом при формировании шва поперечным магнитным полем проводились эксперименты по сварки пластин толщиной 3мм из аустенитной стали 08X18N10. Сварка проводилась проволокой, диаметром 1 мм при сварочном токе 180 А, напряжении 21 В, скорости сварки 21 м/ч в смеси защитных газов $A_r + 25\% CO_2$.

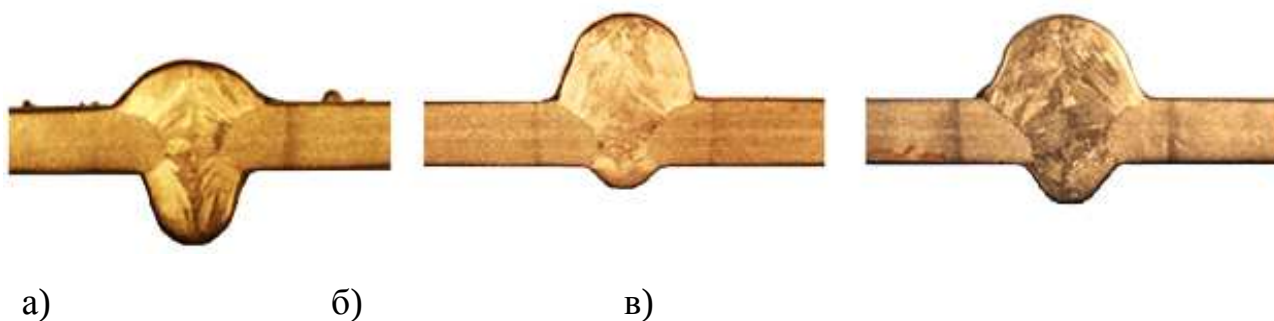


Рис. 12.

Макрошлифы швов, сваренных плавящимся электродом при сварочном токе 180А: при отсутствии магнитных полей (а), при наличии поля ФМС и скорости сварки 21 м/ч (б), при наличии поля ФМС и скорости сварки 15 м/ч (в)

Из Рис. 12, б видно, что даже при значительном магнитном поле, созданным ФМС (1,9 Т) высоту выпуклости с обратной стороны удалось уменьшить, но не удалось получить нулевой валик. При уменьшении скорости сварки до 15 м/ч с целью изменения распределения плотности тока в сварочной ванне, нулевой валик с обратной стороны так и не удалось получить (Рис. 12,в). Это связано с недостаточной величиной плотности тока в сварочной ванне, чтобы создать массовые электромагнитные силы под

действием внешнего поперечного магнитного поля, которые компенсируют гравитационные силы в сварочной ванне.

Далее проводились эксперименты по сварке проволокой диаметром 1,2 мм при сварочном токе 235 А, напряжении 22 В, скорости сварки 37 м/ч. Сварка также проводилась в смеси газов $A_1 + 25\%CO_2$ пластин толщиной 3 мм, выполненных из аустенитной стали 08X18H10.

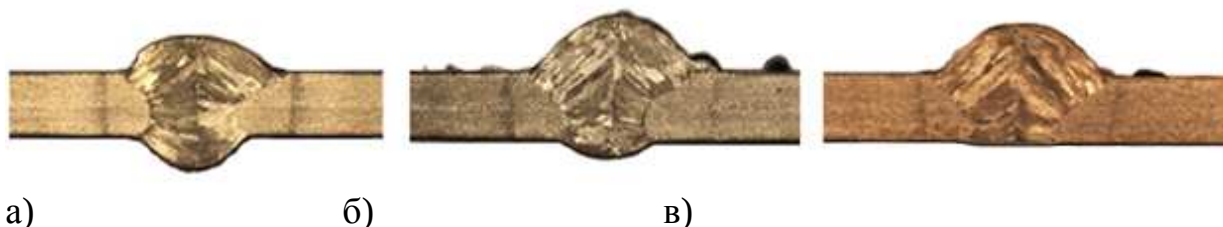


Рис. 13.

Макрошлифы швов, сваренных плавящимся электродом при сварочном токе 230 А: при отсутствии магнитных полей (а), при наличии поля ФМС (б), при наличии поля ФМС и РМС (в)

При магнитном поле, созданном ФМС (1,2 Т), недостаточным для формирования шва без провисания (Рис. 13, б), наблюдался интенсивный вылет капель в направлении сварки, после чего происходило погасание дуги из-за приварки проволоки к сварочному мундштуку. Это явление сигнализирует о значении градиента индукции магнитного поля в области переноса капель электродного металла выше предельного. Согласно Рис. 13, в, высота области, чувствительной к магнитным полям, выше плоскости свариваемых изделий при данных режимах приблизительно равна 3 мм. Используя номограмму на (Рис. 7, б) подбирали такие значения токов РМС и ФМС, при которых «магнитная яма» находилась на уровне 3 мм. В итоге удалось получить нулевой обратный валик при сохранении стабильного переноса электродного металла. Результаты проведенных экспериментов подтверждают возможность получения швов без нулевого валика.

Общие выводы и результаты работы

1. Определено, что размеры области, чувствительной к внешним магнитным полям при сварке в защитных газах, а так же ее положение относительно поверхности свариваемых изделий определяются режимом и типом переноса электродного металла. Следовательно, комбинированная магнитная система должна обладать возможностью регулировки, как размеров, так и положения области с минимально возможной индукцией магнитного поля относительно поверхности свариваемых изделий.

2. Экспериментально установлено, что область, в которой отсутствуют магнитные поля («магнитная яма») в комбинированной магнитной системе находится в одной плоскости, параллельной поверхности свариваемых

изделий и имеет форму эллипса, размеры которого зависят от геометрических и электрических параметров регулировочной магнитной системы. При изменении электрических параметров магнитных систем плоскость «магнитной ямы» перемещается по вертикали.

3. По результатам расчетных и экспериментальных данных разработана номограмма, позволяющая определить положение плоскости «магнитной ямы» в зависимости от токов питания формирующей и регулировочной магнитных систем.

4. Экспериментально установлено, что регулировка конфигурации магнитных полей комбинированной магнитной системы позволяет уменьшить растяжение дуги при сварке неплавящимся электродом при формировании нулевого валика с обратной стороны, что позволяет улучшить газовую защиту сварочной ванны без дополнительной подачи защитного газа в хвостовую часть.

5. Экспериментально установлено, что регулировка конфигурации магнитных полей комбинированной магнитной системы позволяет получить нулевую выпуклость валика с обратной стороны шва при сварке плавящимся электродом с сохранением стабильного переноса электродного металла.

Основные публикации по теме диссертации

1. Крысько Н.В., Рыбачук А.М. Область, чувствительная к внешним магнитным полям при сварке в CO_2 // Сварка и диагностика.2013.№5.С. 36-40. (0,8 п.л./ 0,6 п.л.)

2. Крысько Н.В., Рыбачук А.М. Особенности области, чувствительной к внешним магнитным полям, при сварке в аргоне и смесях // Сварка и диагностика.2014.№5.С. 54-56. (0,5 п.л./ 0,4 п.л.)

3. Крысько Н.В. Деформация внешнего магнитного поля при дуговой сварке ферромагнитных материалов // Будущее машиностроения России: Сб.тр. Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (29-30 сентября 2011 г.). М., 2011. С.122-123.