

М 308633

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

МОСКОВСКОЕ
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училища имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ХОЛИЛО Виктор Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
СВАРКИ ЭЛЕКТРОСВАРКАМИ МЕТАЛЛА БОЛЬШИХ ТОЛЩИН
В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

(Специальность 05.04.05 - "Технология и
машины сварочного производства")

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1977

Работа выполнена в Ростовском-на-Дону научно-исследовательском институте технологии машиностроения.

Научные руководители: Кандидат технических наук, доцент
Н.М.БУДНИК

Кандидат технических наук, доцент
Г.Г.ЧЕРНЫШОВ

Официальные оппоненты: д.т.н. проф. ОЛЫШАНСКИЙ Н.А.
к.т.н., доц. СПИЦЫН В.В.

Ведущее предприятие - ВНИКТИстальконструкция

Защита диссертации состоится " " _____ 1977 г. на заседании специализированного Совета Д053.15.07 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

Адрес - 107005, 3-я Бауманская, д.5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат _____ 1977 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
доктор технических наук
П.И.СЕРГЕЕВ

М 308633

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современная технология дуговой сварки электрозаклёпками плавящимся электродом в CO_2 является результатом большого количества работ, выполненных в ЦНИИТМАШе, МВТУ им. Н.Э.Баумана, институте электросварки им. Е.О.Патона АН СССР, РИСХМе и ряде других научно-исследовательских организаций и вузов, а также опыта работников производства. Анализ литературных данных и значительный производственный опыт сварки электрозаклёпками в CO_2 показывает, что возможности совершенствования этого процесса в настоящее время не исчерпаны.

Несмотря на достигнутые успехи, в настоящее время возможно получение соединения с проплавлением верхнего элемента только до 6 мм.

Однако, в практике сельскохозяйственного машиностроения, а также в строительстве необходимо выполнение электрозаклёпочных соединений при толщине верхнего элемента более 6 мм при прочностных свойствах не ниже основного металла и высокой производительности процесса.

В этой связи представляет практический интерес разработка способа сварки электрозаклёпками конструкций с большой толщиной верхнего элемента.

Целью работы явилась разработка способа сварки электрозаклёпками в продольном магнитном поле металла больших толщин (до 15 мм).

Общая методика. В процессе выполнения работы использован комплексный метод, включающий в себя разработку математической модели, моделирование и экспериментальные исследования процесса сварки с помощью скоростной киносъёмки, осциллографирования, а также металлографических и прочностных испытаний сварных соединений.

Научная новизна. Анализ явлений, происходящих при взаимодействии электрического тока в жидком металле сварной ванны с магнитным полем, выполненный в работе на основе моделирования с помощью критериев подобия процесса, выявил возможность увеличения скорости и глубины проплавления основного металла при сварке электрозаклёпками без изменения тепловой мощности дуги. Это происходит благодаря вращению жидкого металла сварочной

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1308633

Хожипо В. С. Исследование

важны и влечет за собой удаление его из-под основания дуги, что приводит к уменьшению толщины жидкой прослойки металла и обеспечивает повышение теплопередачи, от дуги к основному металлу.

Программированный цикл наложения продольного магнитного поля в процессе сварки в соответствии с физическими процессами, происходящими при формировании электрозащепки, даёт возможность получить качественное соединение.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в разработке способа сварки электрозащепками в продольном магнитном поле плавящимся электродом в CO_2 для сварки конструкций с толщиной верхнего элемента до 15 мм, рекомендациях по повышению производительности и улучшению формирования электрозащепок, а также по улучшению процесса возбуждения дуги.

Апробация работы. Разработанный способ сварки электрозащепками с наложением продольного магнитного поля, технологические рекомендации и оборудование прошли опытно-промышленную проверку и внедрены на ряде предприятий с суммарным годовым экономическим эффектом 273 тыс. рублей.

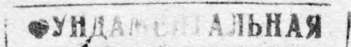
Диссертационная работа и её отдельные разделы доложены на общесоюзном научном семинаре сварщиков при МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1976 г., научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава РИСХМ"а и Ростовского-на-Дону завода-вуза, 1974-1976 г.г., Ростовской научно-технической конференции Министерства машиностроения для животноводства и кормопроизводства, 1976 г., Таганрогской всесоюзной конференции "Эффективность применения механизации и автоматизации при производстве сварных конструкций", 1976 г.

По теме диссертации опубликовано 3 статьи, получено 1 авторское свидетельство.

Объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, что составляет 120 страниц машинописного текста, 68 рис., 11 таблиц, списка цитируемой литературы из 107 наименований и приложения, в котором приведены акты промышленного внедрения выполненных разработок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Поставленная в работе цель и анализ литературных источников определили основные направления исследований:



- исследование механизма проплавления основного металла и поведения сварочной ванны при наложении продольного магнитного поля ;

- определение оптимальных параметров технологического процесса, обуславливающих получение качественного соединения электрозаклёпками с толщиной верхнего элемента более 6 мм ;

- разработка технологии и оборудования для соединения металла больших толщин ;

- промышленная апробация результатов работы.

В настоящее время сварка электрозаклёпками широко применяется в промышленности для соединения конструкций с толщиной верхнего элемента до 6 мм.

В связи с ростом производства сварных конструкций и требованиями увеличения производительности и повышения качества сварных конструкций, возникла необходимость соединений элементов с толщиной верхнего листа до 15 мм и более.

Главным фактором, затрудняющим использование данного процесса для сварки металлов больших толщин, является невозможность получения большой глубины проплавления основного металла и хорошего качества электрозаклёпок.

Как отмечено в работах Н.М. Норожилова, Д.И. Вайнбойма, А.И. Акулова, появление жидкой прослойки большой толщины под дугой уменьшает её проплавляющую способность, а использование больших плотностей тока приводит к прожогам, выгоранию легирующих компонентов, закалке в зоне термического влияния и повышает опасность хрупкого разрушения сварной конструкции.

Толщина жидкой прослойки зависит от многих факторов, главными из которых являются энергетические параметры процесса, силовое воздействие дуги на жидкий металл сварочной ванны, а также теплофизические свойства основного металла.

С изменением толщины жидкой прослойки под дугой изменяются условия передачи тепла основному металлу. Полагая распределение температуры в опорном пятне нагрева равномерным, коэффициент теплопроводности λ постоянным, теплопередачу через жидкую прослойку стационарной теплопроводностью, и тогда, можно считать, что тепловой поток зависит лишь от градиента температур по вертикальной оси сварочной ванны.

Ввиду того, что разность температур между граничными

поверхлостями жидкой прослойки постоянна на протяжении всего процесса сварки и равна $\Delta T = T_{\text{кпл}} - T_{\text{пл}}$, градиент температуры зависит только от толщины жидкой прослойки ($\delta_{\text{ж}}$), следовательно, и удельный тепловой поток и скорость проплавления являются функцией $\delta_{\text{ж}}$.

Впервые на принципиальную возможность уменьшения толщины жидкой прослойки под дугой и увеличение глубины проплавления основного металла благодаря газодинамическому действию дуги указано в работах МВТУ им. Н.Э.Баумана.

В работах Киевского политехнического института, МВТУ им. Н.Э.Баумана и других научно-исследовательских организаций, а также за рубежом было установлено, что при использовании магнитного поля для сварки протяжённых швов возможно управление геометрическими параметрами сварного соединения. Однако, единой точки зрения по данному вопросу в литературе нет. В настоящей работе теоретически доказано и подтверждено экспериментально, что при наложении на дугу продольного магнитного поля при сварке неподвижным электродом жидкий металл сварочной ванны с замкнутым металлическим контуром начинает вращаться, что приводит к вытеснению жидкого металла из-под дуги и частичному его удалению на поверхность изделия рис.1.

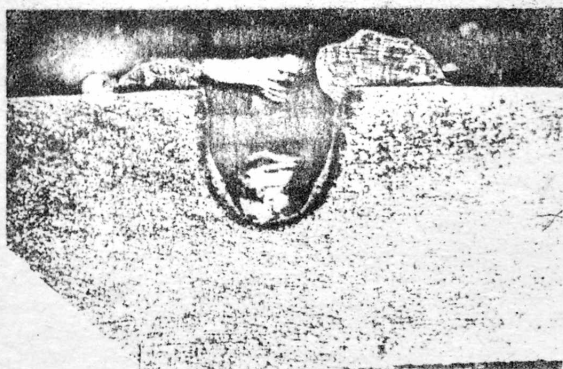


Рис.1 Образование полости при сварке в ПМП.

Вытеснение жидкого металла приводит к уменьшению толщины жидкой прослойки и увеличению проплавления дуги при прочих равных условиях рис.2.

Следовательно, задача сводится к определению скорости вращения металла сварочной ванны при наложении продольного магнитного поля на сварочную дугу и установлению влияния скорости вращения на толщину жидкой прослойки.

Исследования различных авторов указывают на интенсивное вращение металла сварочной ванны, обусловленное появлением пондеромоторных сил, которые возникают в результате взаимодействия скрещённых электрического и магнитного полей.

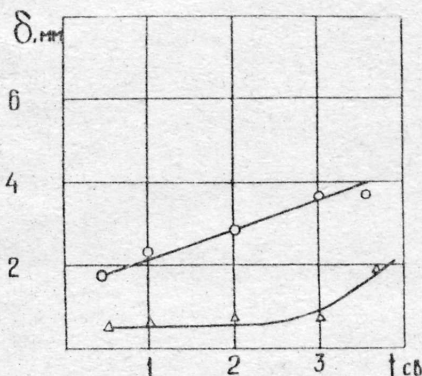


Рис. 2. Изменение толщины жидкой прослойки в процессе сварки.

$I_{св} = 550 \text{ А}$, $U_d = 40 \text{ В}$, $B = 0,08 \text{ Тл}$, $d_{э} = 1,6 \text{ мм}$
 ○ - сварка без ПМП; △ - сварка в ПМП.

Однако влияние такого вращения на изменение толщины жидкой прослойки, на скорость проплавления основного металла не рассматривалось.

Пондеромоторная сила, отнесённая к единице объёма токопроводящей жидкости, определяется векторным произведением $\vec{j}$ и $\vec{H}$ и

$$\vec{f} = M_0 [\vec{j} \times \vec{H}],$$

где $\vec{j}$ - вектор плотности тока;
 $\vec{H}$ - напряжённость магнитного поля

вызывает вращение жидкого металла вокруг электрода.

При вращении жидкости вокруг вертикальной оси происхо-

дит изменение формы свободной поверхности (поверхности равного давления), описываемую уравнением параболы

$$\frac{\omega^2}{2g} (x^2 + y^2) = Z - Z_0 \quad (1)$$

Исходя из того, что $x^2 + y^2 = z^2$ имеем

$$\frac{\omega^2 z^2}{2g} = Z - Z_0$$

где x , y , z — текущие координаты точки поверхности;
 ω — угловая скорость;
 g — ускорение силы тяжести;
 Z_0 — координаты нижней точки;
 z — текущий радиус точки параболы.

Из уравнения (1) следует, что каждому значению скорости соответствует определённая координата самой низкой точки параболы Z_0 .

Увеличение скорости вращения приводит к уменьшению толщины жидкой прослойки и к поднятию жидкого металла у стенок ванны, что при ограниченной высоте стенки приводит к выплеску расплавленного металла на поверхность пластины.

Таким образом, изменение толщины жидкой прослойки при сварке в продольном магнитном поле связано с изменением скорости вращения, а значит и величиной пондеромоторной силы.

Величина пондеромоторной силы, действующая на жидкий металл сварочной ванны, зависит от индукции внешнего магнитного поля и величины сварочного тока.

В случае сварки низкоуглеродистых сталей, как было установлено экспериментально, происходит шунтирование магнитных силовых линий в образующейся полости. Это приводит к уменьшению продольной составляющей и увеличению поперечной составляющей у стенок образовавшейся полости. Поэтому по отношению к определённой точке сварочной ванны величина пондеромоторной силы не является постоянной на протяжении процесса сварки, а изменяется во времени. Вектор пондеромоторной силы можно представить как сумму векторов

$$\vec{f} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2 \quad (2)$$

где $\vec{f}_1$ — вектор продольной составляющей магнитного поля

$$\vec{f}_1 = [\vec{j} \times B_0]$$

$\vec{f}_2$ — вектор поперечной составляющей магнитного поля

$$\bar{f}_2 = [\bar{j}_a \times \bar{B}_z]$$

В процессе сварки $\bar{f}_1$ уменьшается т.к. уменьшается продольная составляющая индукции магнитного поля, а $\bar{f}_2$ увеличивается соответственно. Если учесть, что в начале процесса сварки $\bar{f}_1 \gg \bar{f}_2$, то суммарная сила определяется как $\bar{f} \approx \bar{f}_1$, т.е. на вращение жидкого металла ванны оказывает влияние составляющая $\bar{f}_1$. Уменьшение суммарной пондеромоторной силы к концу этапа проплавления сказывается на уменьшение скорости вращения жидкого металла сварочной ванны, что в свою очередь, приводит к увеличению жидкой прослойки и, в итоге, к уменьшению скорости проплавления основного металла.

Ввиду того, что величина пондеромоторной силы зависит от большого числа факторов, которые, в свою очередь, изменяются на протяжении процесса сварки, не представляется возможным получение аналитического выражения для пондеромоторной силы.

Поэтому исследование характера движения металла сварочной ванны при взаимодействии электрических токов с магнитным полем определяли экспериментально по скорости его вращения.

Для определения скорости вращения металла сварочной ванны предложена методика моделирования с расчётом скорости вращения жидкого металла по критериям подобия процесса.

На основе уравнений магнитной гидродинамики, описывающих взаимодействие электромагнитных полей с жидким металлом и газообразными средами, обладающими значительной электропроводностью, получены критерии подобия Π_1 , Π_2 , Π_3 и Π_4 .

Критерий $\Pi_1 = \frac{j H R}{\rho V^2}$ - отражает влияние магнитного поля на движение жидкости и обеспечивает подобие для модели и объекта по пондеромоторной силе.

Критерий $\Pi_2 = \frac{\sigma T \delta C_p \rho}{\ell^2 j^2}$ - обеспечивает подобие по тепловому воздействию электрического поля.

Критерий $\Pi_3 = \frac{H R}{\ell^2}$ - обеспечивает подобие нестационарного поля. Поэтому для определения скорости вращением не учитывался.

Критерий $\Pi_4 = \frac{H}{\ell j}$ - обеспечивает подобие электромагнитного поля.

Полученные критерии позволили предложить следующую ме-

тодику определения угловой скорости вращения сварочной ванны.

Для модели определяем значения критериев Π_1, Π_2 и Π_4 .

По значению Π_1 определяем для объекта (в данном случае ванна жидкого металла при сварке электрозаклёпками) угловую скорость ω . По значениям критериев Π_2 и Π_4 определяем для объекта плотность тока j и напряжённость магнитного поля H , при которых должна выполняться сварка.

Для определения скорости вращения жидкого металла сварочной ванны были изготовлены три модели. Первая и вторая, изготовленные соответственно из латуни и стали, позволили определить влияние шунтирования магнитного поля на скорость вращения жидкого металла. Третья модель была геометрически подобна сварочной ванне при электрозаклёпчном соединении.

В качестве материала модели металла ванны был выбран сплав Вуда. Эксперимент проводился в следующем порядке. В предварительно разогретую модель заливали разогретый сплав Вуда и опускали электрод. Одновременное включение электромагнита и пропускание тока приводили расплав во вращение, в результате которого образовывался мениск. Для удобства отсчёта поднятия жидкости у стенок и опускания по оси на стенке модели и электроде были нанесены насечки с шагом 0,5 мм.

При установившемся движении расплава включался двигатель постоянного тока, и диск вместе с металлической формой начинал вращаться. Направление вращения (будем называть его механическим) в отличие от вращения, вызываемого действием пондеромоторной силы, выбирались противоположным последнему.

При достижении равенства в скорости $V_{\text{мех}} = V_{\text{эл.м.}}$ мениск исчезал и поверхность становилась плоской. Скорость вращения диска принималась за скорость вращения расплава при данных условиях.

Кроме величины скорости вращения жидкого металла эксперимент позволил установить зависимость толщины жидкой прослойки от скорости вращения Рис. 2, которая определялась по формуле

$$Z_0(\delta_{\text{ж}}) = h_0 - h_1 \quad (3)$$

где h_0 — расстояние от дна металлической формы до поверхности расплава при $\omega = 0$;

h_2 — высота поднятия жидкости при вращении.

Экспериментальные данные, полученные на модели, геометрически подобной сварочной ванне, использовались для определения угловой скорости вращения металла сварочной ванны.

Расчёт скорости вращения сварочной ванны производился по критерию Π_1 .

Определение угловой скорости вращения производилось из условия, что $\Pi_1 = \text{const}$ т.е.

$$\frac{I_c H_c \ell_c}{\rho_c V_c^2} = \frac{I_b H_b \ell_b}{\rho_b V_b^2} \quad (4)$$

Для металла в процессе сварки и для сплава Вуда на модели выражения $I_c H_c \ell_c$ и $I_b H_b \ell_b$ равны.

Тогда из выражения (4) получим

$$\rho_c V_c^2 = \rho_b V_b^2 \quad (5)$$

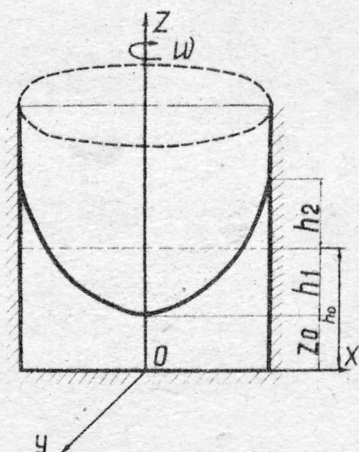


Рис.3 Форма поверхности жидкости при вращении

Так как $V = \omega \ell$, где ω — угловая скорость вращения, то выражение (5) преобразуется к виду $\rho_c \omega_c^2 \ell_c^2 = \rho_b \omega_b^2 \ell_b^2$ или

$$\rho_c \omega_c^2 = \rho_b \omega_b^2 \quad (6)$$

Выражение (6) для определения скорости вращения жидкого металла сварочной ванны примет вид

Учитывая, что $\sqrt{\frac{P_b}{P_c}} = 1,58$, получим

$$\omega_c = \omega_b \quad (7)$$

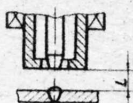
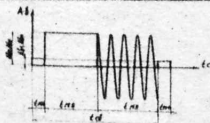
Используя выражение (7) и полученные значения замеров на модели определили скорость вращения металла сварочной ванны, которая составила $34,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ при $I_{cb} = 600 \text{ А}$ и $B = 0,08 \text{ Тл}$. Для практической реализации разработанного способа, определения оптимальных параметров режима сварки и получения математической модели было применено планирование эксперимента.

В качестве независимых переменных факторов были выбраны основные параметры режима сварки: ток дуги I_{cb} , напряжения на дуге U_d , время сварки t_{cd} и величина магнитной индукции B . За параметры оптимизации были приняты максимальная глубина проплавления h и среднее статистическое количество касаний m электрода с образцом, после которого возбуждалась дуга.

Полученные уравнения регрессии позволили количественно оценить влияние продольного магнитного поля на процесс формирования электрозаклёпочного соединения и определить оптимальные параметры режима сварки для соединения конструкции с толщиной верхнего элемента до 15 мм (см. табл. № I).

Таблица 1

Толщина верхнего элемента B , мм	Ток дуги I_d , А	Напряжение на дуге U_d , В	Время сварки t_{cd} , с	Диаметр пробивки d_3 , мм	Защитный слой L , мм	Амперы тока соленоида $A-B$	Режим работы соленоида t_m , с
5-10	250-400	30-45	2-4	1.2	9	A_1-B_1-5000	t_m-t_m-01c
6-13	300-550	30-50	2-5	1.6		$A_1-B_1-02A_2$	$t_m-t_m-05A_2-B_1$
8-15	350-600	30-50	2-5	2.0			



Для обеспечения стабильности процесса возбуждения дуги и качественного формирования тела электрозаклёпки, разработана схема с программированным наложением продольного поля

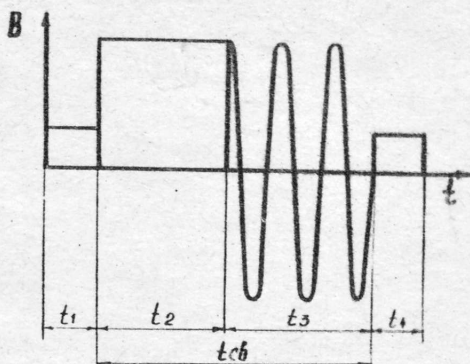


Рис.4 Схема наложения магнитного поля

Разработанная схема состоит из четырёх этапов: возбуждение 1, проплавление отверстия 2, формирования тела электрозащепки 3 и обрыв дуги 4.

Величина магнитной индукции B на первом этапе определяется двумя условиями.

Во-первых, эта величина должна быть достаточной для предотвращения пригорания электрода к мундштуку так как процесс ведётся при вылете 9 мм (рис.5).

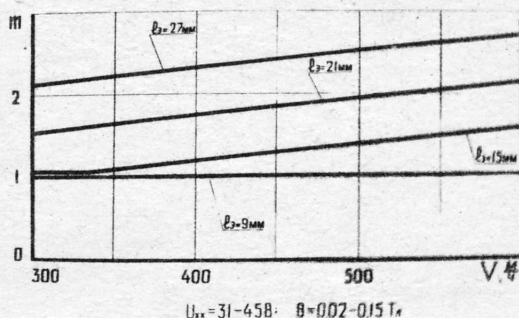


Рис.5 Зависимость количества касаний электрода - m при возбуждении от скорости подачи проволоки - V

Во-вторых, поле не должно превышать критической величи-

ны, так как это приводит к разбросу металла и образованию кольцевого наплыва неправильной формы.

На втором этапе — образование полости — величина магнитного поля определена из условия обеспечения максимальной скорости вращения расплавленного металла при максимальной скорости проплавания, что обеспечивает вытеснение металла из-под основания столба дуги на поверхность.

На третьем этапе — заплавление образовавшейся полости — накладывается переменное магнитное поле, которое обеспечивает качественное заплавление благодаря перемешиванию расплавленного металла, предотвращая появление раковин, рыхлот в теле электрозаклёпки.

На четвертом этапе — обрыв дуги — магнитное поле предотвращает пригорание электрода к мундштуку, окончательное формирование головки и получение удовлетворительной формы конца электрода (отсутствие капли), обеспечивающего надёжное последующее возбуждение дуги.

Результаты металлографических исследований показали, что применяемая схема наложения продольного магнитного поля приводит к повышению дисперсности структуры в литой зоне и уменьшению протяжённости зоны термического влияния.

Механические испытания образцов на срез и отрыв показывают, что несущая способность электрозаклёпок, выполненных с наложением продольного магнитного поля, не уступает, а даже превосходит на 15–20% сварку без ПМП.

На основании теоретических и экспериментальных данных разработаны опытно-промышленные варианты автоматических установок АЭ-10 и УСЭМД-1 и ручного электрозаклёпчика, которые позволяют производить сварку конструкций с толщиной верхнего элемента до 15 мм.

ВЫВОДЫ

1. Влияние продольного магнитного поля на скорость и глубину проплавания при сварке электрозаклёпками в среде CO_2 определяется в основном взаимодействием продольной составляющей магнитного поля с радиальной составляющей тока в сварочной ванне, вызывающим вращение расплавленного металла ванны и вследствие этого уменьшение толщины жидкой прослойки под дугой.

2. Скорость вращения жидкого металла сварочной ванны возрастает с увеличением сварочного тока и индукции магнитного поля. При $B = 0,08$ Тл и $I_{сб} = 300...600$ А достигает максимальной величины равной $12...34,4 \frac{рад}{с}$, что обеспечивает увеличение скорости проплавления в 1,2 раза и глубины проплавления на 50-60% по сравнению со сваркой без магнитного поля.

3. При сварке ферромагнитных материалов происходит изменение индукции магнитного поля за счёт шунтирования основным металлом. Осевая составляющая индукции магнитного поля по оси сварочной ванны при толщине металла от 5 до 20 мм уменьшается в 2,1 раза. В результате этого скорость вращения уменьшается, что определяет для каждого конкретного случая скорость и глубину проплавления.

4. Предложенная в работе физическая модель сварочной ванны и полученные на основе теории подобия безразмерные критерии процесса позволяют с достаточной точностью определить требуемые скорости вращения жидкого металла сварочной ванны для обеспечения заданной скорости проплавления. Они могут быть рекомендованы для инженерных расчётов напряжённости продольного магнитного поля и плотности сварочного тока по заданным размерам электрозаклёпок.

5. Для обеспечения стабильного процесса и удовлетворительного формирования тела электрозаклёпки, в соответствии с физическими процессами характерными для каждого этапа - необходимо программирование продольного магнитного поля. На первом и четвертом этапах требуется постоянное продольное магнитное поле, небольшой величины (до 0,016 Тл). В период образования полости - постоянное продольное магнитное поле большей величины (до 0,08 Тл), а в период формирования тела электрозаклёпки - переменное продольное магнитное поле.

6. Уменьшение расстояния между магнитопроводом и поверхностью изделия при сварке в продольном магнитном поле до 9 мм повышает стабильность возбуждения и сокращает обрывную длину дуги. Это устраняет один из основных недостатков применения многоэлектродных электрозаклёпочных машин, а именно, пригорание электрода к мундштуку и открывает перспективу их широкого применения в промышленности.

Предлагаемый способ возбуждения дуги может быть также ис-

пользован при полуавтоматической и автоматической сварке швов плавящимся электродом.

7. Предложенный способ для сварки электрозаклепок в CO_2 с наложением продольного магнитного поля и разработанный на основе проведенных исследований учет влияния магнитного поля на скорость и глубину проплавления основного металла, при прочих равных условиях, обеспечивает уменьшение толщины жидкой прослойки по оси ванны, увеличение проплавляющей способности сварочной дуги и выполнение соединения с проплавлением верхнего элемента до 15 мм без сверления отверстия.

8. Применение разработанного способа для сварки электрозаклепками с наложением продольного магнитного поля позволяет повысить производительность процесса сварки за счет его механизации и автоматизации, что становится возможным благодаря стабильности возбуждения дуги.

Применение разработанной технологии на предприятиях "Ростсельмаш", "Сальксельмаш", Комбинате строительных материалов № 1 и № 4 г. Ростова-на-Дону обеспечило получение годового экономического эффекта в размере 273 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. О влиянии магнитного поля на формирование электрозаклепочного соединения. Сб. "Электродуговая сварка и наплавка", Ростов на Дону, 1975 (соавторы Н.М. Будник, Л.А. Доброквашин, Ю.А. Лях, В.В. Волков).

2. Сварка электрозаклепками магнитоуправляемой дугой плавящимся электродом в среде CO_2 . Информационный листок № 318-76, Ростов-на-Дону, 1976 (соавторы Н.М. Будник, Л.А. Доброквашин, А.П. Кулагин, В.В. Волков).

3. Повышение эффективности способа сварки электрозаклепками. В сб. Всесоюзный научно-технической конференции "Эффективность применения механизации и автоматизации при производстве сварных конструкций", Таганрог, 1976 (соавторы А.П. Кулагин, В.В. Волков, Л.А. Доброквашин, Н.М. Будник).

4. Будник Н.М., Хожило В.С., Доброквашин Л.А., Мартинович В.В., Чернышов Г.Г. и др. Сварочная горелка для дуговой сварки плавящимся электродом. Положительное решение по заявке № 2386983/25-27 (090483) от 12 июля 1976 года.

Подписано к печати 6.УП.77. ПК 00827 Формат бумаги 60х84. 1/16.
Объем I усл.п.л., 0,7 уч-изд.л. Заказ Н2-23-77. Тираж 120

Отпечатано в лаборатории офсетной печати РИСХМа.
Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, I

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
РИСХМА