1228526

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

СОСЕДОВ Анатолий Федорович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ С ПОРОШКООБРАЗНЫМ ПРИСАДОЧНЫМ МЕТАЛЛОМ

(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1974

Работа выполнена во ВНИИМонтажспецстрое

Научный руководитель —
кандидат технических наук ИВОЧКИН И. И.

Научный консультант —
член-корреспондент АН СССР, профессор,
доктор технических наук НИКОЛАЕВ Г. А.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук СТЕКЛОВ О. И.
кандидат технических наук НИКОЛАЕВ В. В.

Ведущее предприятие Ордена Ленина трест № 7 Минмонтажспецстроя СССР

Автореферат разослан « » 197 г.

Защита диссертации состоится « » 197 г.

на заседании Совета М
на Трудового Красного
ща им. Н. Э. Баумана п
ская ул., дом 5.

Ваши отзывы в 2 экз
лать по указанному адре

С диссертацией можн

Ученый секретарь С

М228526

Л-70614 от 19/3-74 г. Т

Электрошлаковая сварка, разработанная ИЭС Е.О.Патона, представляет собой выдающееся достижение советской сварочной техники. Она открыла возможность соединения стальных элементов не только средних, но и больших толщин.

Электрошлаковая сварка успешно применяется на заводах, при монтаже и строительстве гидроэлектростанций, металлургических заводов и др.

Вместе с тем проводятся работы по совершенствованию и развитию этого прогрессивного способа сварки с целью повышения производительности и улучшения структуры и свойств сварного соединения.

В последние годы как в СССР, так и за рубежом для повышения производительности и качества автоматической дуговой сварки применяют порошкообразный присадочный металл.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию метода электрошлаковой сварки с применением порошкообразного присадочного металла.

Работа состоит из четырех глав и общих выводов.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ

Все многообразие работ, проводимых по совершенствованию электрошлаковой сварки, можно разделить на два основных направления: способы повыше..ия производительности и способы улучшения структуры и свойств сварного соединения.

Существует несколько способов повышения производительности электрошлаковой сварки.

I. Путем увеличения скорости подачи электродной проволоки и количества электродов.

2. За счет уменьшения зазора между свариваемыми кромками.

3. Введением в шлаковую ванну дополнительного (к электродному) присадочного металла в различных видах.

4. За счет введения в шлаковую ванну подогретой электродной проволоки.

Все рассмотренные способы, повышая производительность процесса сварки, не решают вопроса существенного улучшения структуры и свойств сварного соединения и в большинстве своем сложны в осуществлении.

Поэтому исследователями изыскивались пути и способы улучшения структуры и свойств сварного соединения. С некоторой условностью их можно разделить на две большие группы:

I. Металлургические способы

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1228526
Соседов А.Ф. Разработка и

2. Технологичесские способы

К металлургическим способам отнесены варианты улучшения структуры и свойств металла шва за счет легирования и модифицирования.

К технологическим - следующие виды обработки соединения:

I. Воздействие на кристаллизующуюся ванну ультразвуковыми колебаниями.

2. Электромагнитное перемешивание шлаковой и металлической ванны в процессе сварки.

3. Местная термическая обработка сварного соединения.

4. Трехслойная электрошлаковая сварка.

5. Термообработка в интервале температур AC_I -AC_3.

В практике нашли применение последние три варианта.

Таким образом, существующие способы совершенствования электрошлаковой сварки решают раздельно либо задачу повышения производительности сварки без существенного улучшения качества сварного соединения, либо задачу улучшения структуры и свойств без изменения скорости сварки.

В последние годы как в СССР, так и за рубежом для повышения производительности и качества электродуговой сварки применяют порошкообразный присадочный металл (ППМ) в виде окатышей, крупки (приготовленной из электродной проволоки), железного порошка, который вводят в зону сварки.

По нашим представлениям ППМ позволяет значительно уменьшить потери сварочного тепла и улучшить условия кристаллизации металла шва. Это тепловая сторона применения ППМ. Кроме того, ППМ позволяет весьма гибко комбинировать химсостав металла шва и осуществлять модифицирование. Это металлургическая сторона применения ППМ, которая может быть эффектно реализована на базе тепловой стороны, так как создаются более благоприятные условия для этого.

Анализ теплового баланса электрошлаковой сварки показывает, что при этом виде сварки полный тепловой КПД, оценивающий экономичность расходования сварочного тепла на плавление металла шва, составляет 25-35%. Остальное - потери, основными из которых являются: нагрев воды, нагрев основного металла в процессе сварки и др.

Учитывая достижения при электродуговой сварке с ППМ, естественно было применить такого рода дополнительный присадочный металл при электрошлаковой сварке с целью одновременного повышения производительности и качества сварного соединения за счет более полного использования сварочного тепла по назначению.

Работа отражает результаты исследований тепловой стороны при-

менения ПГМ. Металлургическая сторона ПГМ не рассматривается.

В задачу работы входило:

I. Анализ существующих способов повышения производительности электрошлаковой сварки и улучшения структуры и свойств сварного соединения и обоснование применения ПГМ.

2. Разработка оборудования и исследования процесса электрошлаковой сварки с ПГМ.

3. Исследование особенностей электрошлаковой сварки с ПГМ.

4. Разработка технологии и внедрение метода электрошлаковой сварки с ПГМ в производство.

Глава П. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО МЕТОДА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ С ПГМ

Первые попытки осуществить подачу ПГМ с ферромагнитными свойствами в шлаковую ванну не дали желаемых результатов из-за наличия мощного магнитного поля в зоне сварки; ПГМ либо налипал на свариваемые кромки, либо зависал в каналах, по которым он направлялся в шлаковую ванну. То и другое приводило к нарушению процесса сварки.

Необходимо было изучить характер распределения и взаимодействия магнитных полей в процессе электрошлаковой сварки и определить основные принципы конструирования устройств для дозировки и подачи ПГМ с ферромагнитными свойствами в шлаковую ванну.

Магнитные поля в процессе сварки возникают от прохождения тока по электроду и свариваемому изделию. Если магнитное поле вокруг электрода по своему направлению и расположению относительно свариваемых кромок остается постоянным при неизменной полярности, то в изделии оно может измениться в зависимости от расположения токоподвода к изделию. Это сказывается на характере взаимодействия указанных магнитных полей, в свою очередь, по законам взаимодействия проводников с током или без тока, помещаемых в магнитное поле, это обстоятельство отражается на поведении ПГМ, подаваемого в шлаковую ванну.

Исходя из этих соображений, были проведены эксперименты по сварке с подачей ПГМ при различных схемах подключения токоподвода к изделию (к вводным или выводным планкам - симметричная схема подключения; к одной из свариваемых пластин со стороны вводной или выводной планок - ассиметричная схема подключения.

При этом было учтено высказанное нами и подтвержденное экспериментально предположение о том, что наибольший сварочный ток будет проходить по свариваемым кромкам независимо от схемы подклю-

чения токоподвода на изделие. Зависимость от схемы подключения выражается в том, что он может проходить по одной кромке (ассиметричная схема) или одновременно по двум (симметричная схема).

Установлено, что процесс сварки с ПТМ идет стабильно при симметричной схеме подключения токоподвода на изделие со стороны вводной планки. При этом ПТМ должен подаваться в сторону вылета электрода таким образом, чтобы он налипал на электроде за счет действия магнитного поля последнего.

Для этого необходимо выполнить следующие условия:

1) ПТМ должен подаваться с определенной кинетической энергией с тем, чтобы он не налипал на кромки от действия магнитных полей, возникающих от прохождения тока по ним.

2) Сухой вылет электрода не должен быть меньше 70 мм, что достигается применением электродной проволоки диаметром 4 и больше (мм).

С учетом этих требований была разработана приставка к автомату А-820М для дозировки и подачи ПТМ в шлаковую ванну (рис.1).

Металлический порошок, обладающий хорошей сыпучестью (размер гранул не менее 0,1мм), из бункера 1 ссыпается на колесо 2 для подачи и дозировки его. Колесо 2 приводится в движение микродвигателем постоянного тока со встроенным редуктором. Частота вращения двигателя и колеса 2 регулируется реостатом. Количество ПТМ регулируется частотой вращения колеса 2 и величиной зазора между бункером и колесом. Более широких пределов регулирования можно добиться, изменяя диаметр колеса или выходное отверстие бункера. С торцев колесо ограничено ребордами для предотвращения ссыпания ПТМ в направлении, перпендикулярном плоскости вращения колеса. Материал колеса и реборд немагнитный.

Бункер и колесо заключены в стальной тонкостенный кожух. В кожухе имеются отверстия для оси колеса. Кожух со встроенным колесом, двигателем и редуктором в процессе сварки укрепляются на хомуте автомата 6, поддерживающим задний медный ползун 5 на определенной высоте от шлаковой ванны.

Медная трубка 3 для направления ПТМ в сторону электрода укрепляется в прорези хомута 6, где текталитовая втулка 4 изолирует трубку 3 от хомутов. Трубка 3 направляет заданное количество ПТМ строго на вылет электрода, где он налипает под действием магнитного поля, возникающего от прохождения тока по электроду. Далее ПТМ транспортируется движущимся электродом в шлаковую ванну. Нагревшись до температуры потери магнитных свойств (точки Кюри), ПТМ отстает

от электрода и разносится турбулентным движением по всему объему шлаковой ванны. Расплавленные частицы ПРМ в виде отдельных капель оседают на поверхность металлической ванны. При этом на плавление ПРМ идет часть тепла перегрева шлаковой ванны и ранее шедшего на нагрев воды и массы основного металла.

Такое свободное перемещение ПРМ в объеме шлаковой ванны позволяет наиболее полно использовать тепло, выделяемое в шлаковой ванне, на плавление дополнительного присадочного металла.

Были проведены эксперименты по определению оптимальной грануляции и количества ПРМ. Теоретически, чем меньше размер частиц ПРМ, тем эффектнее будет процесс сварки. Однако, как показали результаты экспериментов, с практической точки зрения диапазон оптимальной грануляции ПРМ составляет 0,5-2,0 мм.

При использовании ПРМ с размерами гранул меньше 0,5 мм происходит интенсивное выгорание его и затрудняется дозировка (ухудшается сыпучесть). Применение ПРМ грануляцией больше 2 мм ведет к снижению эффективности сварки.

В качестве ПРМ рекомендуется использовать железный порошок с размером гранул указанного диапазона (для малоуглеродистых сталей) или крупку, получаемую из электродной проволоки диаметром 1,5-2,0 мм (длина столбика равна диаметру проволоки).

Разработана методика расчета потребного количества ПРМ. За основу была взята известная формула для определения веса расплавленного металла шва

$$G_ш = \frac{\eta_c \cdot Q}{S_{пл}} \quad \text{(г/сек)} \quad \text{(I)}$$

где: η_c -тепловой КПД процесса сварки;
Q -количество тепла, выделяемое в шлаковой ванне (ккал/с);
$S_{пл}$ -удельное теплосодержание плавления (ккал/г).

При сварке плавящимся электродом монолитного сечения с применением ПРМ

$$G_ш = G_o + G_э + G_п \quad (2)$$

где: G_o ; $G_э$; $G_п$ - соответственно вес расплавленного, основного, электродного и порошкообразного металла.

Подставив (2) в (I), имеем общий вид формулы для определения потребного количества ПРМ

$$G_п = \frac{\eta_c}{S_{пл}} \cdot Q - G_o - G_э \quad (3)$$

В выражении (3) неизвестны η_c и G_o

$$G_o = F_o \cdot V_{св} \cdot \gamma \quad (4)$$

где: F_o – площадь поперечного сечения расплавленного основного металла (СМ2);

$V_{cв}$ – скорость сварки (см/сек), которая является величиной неизвестной, но ее в уравнении (4) можно исключить;

γ – плотность металла (г/см^3).

Для определения $V_{cв}$ воспользуемся уравнением, описывающим зависимость скорости сварки от количества присадочного металла и площади поперечного сечения зазора между свариваемыми кромками.

$$V_{cв} = \frac{G_э + G_п}{(F_э + F_п)\cdot\gamma} \qquad (5)$$

Подставив (5) в (4) и, в свою очередь, (4) в (3), получаем

$$G_п = \frac{\eta_c}{S_{пл}}\cdot Q - F_o\,\frac{G_э + G_п}{F_э + F_п} \qquad (6)$$

где: $F_э$; $F_п$ – соответственно площади поперечного сечения электродного и порошкообразного металла в поперечном сечении шва.

В формуле (6) сумма $F_э + F_п$ представляет собой (если не учитывать усиление шва, которым из-за малости можно пренебречь) площадь зазора между свариваемыми кромками, т.е.

$$F_э + F_п \cong \delta\cdot K_з \qquad (7)$$

Поперечное сечение расплавленных кромок основного металла можно представить в виде

$$F_o = H\cdot\delta \qquad (8)$$

где: δ – толщина свариваемого металла (см);

$K_з$ – величина зазора между свариваемыми кромками (см);

H – суммарная глубина проплавления обеих кромок (см).

Подставив (7) и (8) в (6) после алгебраических преобразований, получаем формулу для определения потребного количества ПМ.

$$G_п = \frac{\eta_c\cdot Q\cdot K_з}{S_{пл}(K_з + H)} - G_э \qquad (9)$$

Практически отношение $\frac{K_з}{H + K_з}$ составляет в среднем 0,7. Исследованиями установлено, что тепловой КПД процесса сварки (η_c) при ЭШС с монолитным электродом и с введением ПМ в шлаковую ванну составляет в среднем 0,5.

Для малоуглеродистой стали $S_{пл}$ =0,32 ккал/г.

Приняв все это во внимание, формула (9) принимает простой вид

$$G_п = C\cdot Q - G_э \qquad (10)$$

где: C =1,0–1,2 (г/ккал) для малоуглеродистой и низколегированных сталей.

$$G_э = \frac{\pi d_э^2}{4}\cdot V_э\cdot\gamma \quad \text{(г/сек)} \qquad (11)$$

$$Q = \frac{0{,}24\cdot J\cdot U_c}{1000} \quad \text{(ккал/сек)} \qquad (12)$$

J, U_c – сварочный ток и напряжение.

Формулу (10) можно представить в виде

(г/сек) (13)

где:

$$G_n = 0{,}26 \cdot W - G_э$$

$$W = \frac{J \cdot U_c}{1000} \text{ квт}$$

На основании проведенных расчетов и экспериментальных данных построены номограммы (рис.2).

Рис.2а – номограмма для определения электрической мощности (W), необходимой для сварки на заданном режиме. Рис.2б – номограмма для определения количества ППМ, которое можно расплавить в шлаковой ванне при затратах электрической мощности, полученной из номограммы рис.2а в зависимости от сварочного напряжения (U_c). Указанные номограммы послужили основой для отработки режимов сварки малоуглеродистой и низколегированных сталей различных толщин.

Количество ППМ составляет 1,0-1,2 от веса электродной проволоки сплошного сечения диаметром 4 мм.

Глава Ш. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ С ППМ

Результаты проведенных экспериментов показали (табл.I), что независимо от режима сварки в шлаковой ванне расплавляются одинаковые количества присадочного нетоковедущего металла в виде проволоки одного диаметра.

Табл. I.

Режим сварки	Вес расплавившегося присадочного металла (г/мин)			
	в виде проволоки			в виде ППМ
	Ø 2мм	Ø 3мм	Ø 4мм	размер гранул 1мм
J_c =820-920а U_c =38 – 42 в $V_э$ =152м/час $d_э$ = 4 мм	73 (180м/час)	119 (130м/час)	154 (94 м/час)	300
J_c =980-1080 а U_c = 40-42 в $V_э$ =247 м/час $d_э$ = 4 мм	73 (180м/час)	119 (130м/час)	154 (94 м/час)	400

Примечание: В скобках указана максимально возможная скорость подачи нетоковедущей (холодной) проволоки.
к табл.I

Количество же расплавившегося порошкообразного металла значительно больше и оно увеличивается с повышением тепловой мощности. Это влечет за собой существенные изменения технологических параметров и тепловых условий процесса: в 2-3 раза возрастает скорость

сварки, значительно снижается погонная энергия, изменяются размеры сварочной ванны и длительность ее существования. Установлено, что при электрошлаковой сварке с ПМ наиболее эффективно использование электродной проволоки ∅ 4мм и выше. В этом случае возрастает доля расплавленного ПМ в металле шва, что еще больше повышает производительность сварки и улучшает качество соединения. Увеличивается сухой вылет электрода и значительно уменьшается скорость подачи проволоки по сравнению с общепринятым диаметром 3мм. Это позволяет выносить токоподвод далеко за пределы зазора, упростить мундштук и продлить срок его службы, а также повысить стабильность процесса сварки.

Влияние ПМ на тепловые процессы при ЭШС, структуры и механические свойства соединений изучалось на сталях 09Г2С и 10Г2ФР δ=40 мм. Режим обычной ЭШС: J =800-840а. U_c =36-40в; $d_э$ =4мм; $V_э$ =169 м/час; $V_{св}$ =2,2 м/час. Режим сварки с ПМ J =900-940а; U_c =40-44в; $d_э$ =4мм; $V_э$ =169 м/час; вес ПМ $G_п$ =300 г/мин; $V_{св}$ =5 м/час. Ток постоянный обратной полярности, зазор между свариваемыми кромками в том и другом случае составлял 25 мм. Флюс АН-8. Марка электродной проволоки Св-10нм, из которой изготавлялась крупка диаметром и длиной 1,2 мм.

Сталь 09Г2С исследовали в состоянии после прокатки, сталь 10Г2ФР - после закалки от 930°С и отпуска при 640°С. Соединения после сварки термообработке не подвергались. Термические циклы сварки записывали на осциллографе Н700. Макро- и микроструктуру соединения исследовали в плоскостях $x-y$, $x-z$ и $y-z$. Испытания металла шва на растяжение и на ударный изгиб проводились по стандартной методике.

Сравнение термических циклов околошовной зоны при $T_{макс}$= =1400°С для обычной сварки и сварки с ПМ показывает, что во втором случае резко сокращается длительность нагрева (с 225 до 65 сек), а его скорость (в интервале 700-1000°С) повышается от 40 до 100°С/сек. Длительность пребывания металла околошовной зоны при температурах выше точки AC_3 в период нагрева уменьшается от 70 до 6 сек, а во время охлаждения - от 200 до 115 сек.

Термический цикл становится более интенсивным; длительность пребывания металла при температурах выше температуры усиленного роста зерна (1200°С) сокращается от 125 до 30 сек. Эти изменения связаны со снижением погонной энергии (со 175 до 88 ккал/см) за счет лучшего использования сварочного тепла на плавление дополни-

тельного присадочного металла в виде ППМ.

Скорость охлаждения в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита (500–600°С) изменяется от 0,5 до 0,9°С/сек и приближается к оптимальному интервалу скоростей охлаждения (I–20°С/сек), характерному для большинства низколегированных сталей.

Таким образом, применение ППМ обуславливает меньший перегрев основного металла околошовной зоны, меньшее разупрочнение термических обработанных сталей и образование более тонкодисперсных продуктов превращения аустенита в зоне термического влияния при вторичной кристаллизации, не вызывая заметного эффекта закалки. Ширина зоны разупрочнения сокращается с 20 до I4 мм. Применение ППМ сказывается еще более значительно на кристаллизации металла шва. С увеличением в нем доли расплавленного ППМ изменяется глубина, ширина, объем ванны жидкого металла и длительность ее существования. Наблюдается уменьшение зоны крупных столбчатых кристаллитов, присущих первому и второму видам первичной структуры металла шва при электрошлаковой сварке и переход к структуре четвердого вида, которая характеризуется наличием тонких столбчатых кристаллитов, растущих от линии сплавления до оси шва. В последнем случае механические свойства шва более однородны по всему сечению. Следует также отметить, что использование ППМ позволяет более гибко и эффективно легировать металл шва по сравнению с обычной электрошлаковой сваркой.

Результаты механических исследований сварного соединения представлены в табл.2.

Таблица 2

Металл и марка стали	Сварка	$\sigma_в$ кг/мм²	$\sigma_т$ кг/мм²	δ_5 %	$a_н$ (кгм/см²) при +20°С	$a_н$ (кгм/см²) при −40°С
основн. мет.	–	50	33	32	I8,5–23,5 / 2I,4	8,8–I8,5 / I2,2
О.Ш.С.	обычная	–	–	–	I3,8–I7,0 / I6,I	I,2–4,I / 2,3
Ст.шов 09Г2С	обычная	56	42	29	I4,I–I5,4 / I4,7	3,5–3,0 / 2,7
О.Ш.З.	с ППМ	–	–	–	II,2–I4,5 / I2,4	5,3–9,0 / 8,0
шов	с ППМ	63	43	27	I3,8–I7,2 / I5,4	4,8–7,6 / 6,8

основной мет.	-	70	56	22	9,7-14,1 / 12	3,2-4,0 / 3,7
Ст. О.Ш.З. 10Г2ФР	обычная	-	-	-	5,7-6,5 / 6,0	1,3-1,7 / 1,5
шов	обычная	73	56,1	18,5	10,6-12,1 / 11,5	2,2-3,4 / 2,8
О.Ш.З.	с ППМ	-	-	-	7,2-9,9 / 8,3	1;5-2,9 / 2,2
Шов	с ППМ	71,4	54,5	20,7	11,2-13,6 / 12,5	3,5-4,2 / 3,8

Примечание: Надрез в О.Ш.З. на расстоянии 1-3 мм от линии сплавления, в металле шва - по его центру.

Улучшение механических свойств металла шва объясняется не только благоприятными условиями кристаллизации, но также и легирование никелем и молибденом вследствие меньшей доли расплавляемого основного металла при сварке с ППМ. За счет улучшения тепловых условий образования сварного соединения при сварке с ППМ существенно уменьшаются поперечные усадочные деформации сварного изделия.

Глава IУ. РАЗРАБОТКА ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО МЕТОДА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ С ППМ.

Для выполнения электрошлаковой сварки с ППМ спроектирована и изготовлена опытная партия приставок к автомату А-820М для дозировки и подачи ППМ в шлаковую ванну, которая была испытана в производственных условиях. С учетом опыта производственного испытания приставка была усовершенствована. В 1972 г. Ногинским опытным заводом монтажных заготовок по плану новой техники Минмонтажспецстроя изготовлена серия этих приставок.

Метод электрошлаковой сварки с ППМ был применен при сварке кожуха доменной печи №5 объемом 3200м^3 Липецкого металлургического завода и при ремонте доменной печи в 1973г.на Новокузнецком металлургическом заводе. Для этого была разработана временная технологическая инструкция. Метод прошел испытания и рекомендован к внедрению на Волгоградском заводе им.Петрова, а также на строительстве Нурекской ГЭС.

Производительность процесса сварки возросла в два раза. Улучшилось качество сварного соединения. Экономический эффект только от повышения производительности составляет в среднем 300 рублей на 1 т наплавленного металла. Оригинальность и новизна метода подтверждена двумя авторскими свидетельствами, выданными на способ

сварки и устройство.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. При обычной электрошлаковой сварке с применением плавящегося электрода сплошного сечения излишне большое количество тепловой энергии затрачивается нерационально, что снижает эффективность процесса с точки зрения производительности и механических свойств сварного соединения.

Существующие способы совершенствования электрошлаковой сварки не решают вопроса снижения потерь тепла, а, следовательно, одновременного значительного повышения производительности и свойств сварного соединения.

2. Предложен метод электрошлаковой сварки с подачей порошкообразного присадочного металла (ППМ) в шлаковую ванну, имеющий возможность вдвое уменьшить нерациональные затраты тепла, что позволит радикально решать проблему повышения производительности и улучшения механических свойств сварного соединения.

3. Разработана методика определения максимально возможного количества нетоковедущего присадочного металла в виде монолитной проволоки, расплавляемого в шлаковой ванне. В результате было установлено, что ППМ расплавляется значительно больше в силу более благоприятных условий теплопередачи.

4. Изучены закономерности распределения и взаимодействия магнитных полей в зоне сварки, приводящих к нарушению стабильности подачи ППМ с ферромагнитными свойствами в шлаковую ванну. В результате сформулированы основные принципы конструирования устройств для дозировки подачи ППМ в зону сварки.

5. Разработана приставка к автомату А-820 для дозировки и подачи ППМ в шлаковую ванну, с помощью которой ППМ с ферромагнитными свойствами подается на вылет электрода, концентрируется вокруг него за счет действия магнитного поля при прохождении тока и транспортируется электродной проволокой в шлаковую ванну. При достижении температуры потери магнитных свойств (точка Кюри) ППМ отстает от электрода и разносится турбулентным движением шлаковой ванны по всему ее объему.

6. Разработаны методики по определению и обоснованию оптимальной грануляции ППМ и его максимального количества, а также оптимальных параметров режимов сварки.

Исследования показали, что оптимальная грануляция ППМ находится в пределах 0,5-2,0 мм. При использовании ППМ с размерами

гранул меньше 0,5мм происходит интенсивное выгорание его и затрудняется дозировка; больше 2,0 мм – уменьшается тепловая эффективность процесса.

7.При электрошлаковой сварке с ПШМ рекомендуется электродная проволока сплошного сечения диаметром 4 мм и больше.Необходимо при этом ПШМ подавать в количестве I,0-I,5 по отношению к электродной проволоке из соображений сохранения стабильности,повышения надежности и экономичности процесса. В качестве ПШМ рекомендуется железный порошок марки ПЖ-2К (при сварке малоуглеродистой стали) или крупка, приготовленная из электродной проволоки Ø I,0-I,6 мм.

8.Применение ПШМ при ЭШС приводит к существенным изменениям тепловых и технологических характеристик процесса. По сравнению с обычной сваркой, малоуглеродистой и низколегированных сталей, погонная энергия уменьшается в I,7 раза, длительность пребывания металла околошовной зоны при температурах выше точки AC_3 снижается в два с лишним раза, объем металлической ванны,время ее нахождения в расплавленном состоянии примерно в три раза.

9.Сокращение размера сварочной ванны и зоны разогрева способствует уменьшению области локальных пластических деформаций, это, в свою очередь, оказывает положительное влияние в отношении уменьшений остаточных деформаций при сварке.

I0.Изменение тепловых условий и характера кристаллизации при ЭШС с порошком влечет за собой заметное улучшение первичной и вторичной структуры металла шва и околошовной зоны. Измельчение структуры, сопровождаемое улучшением ударной вязкости и понижением порога хладноломкости, в ряде случаев позволяет отказаться от термообработки сварных конструкций, которые удорожают производство.

II.Разработанный новый метод применяется для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей (09Г2С, I0Г2СI и др.) с толщиной стенок 25-90 мм.

I2. Метод сварки внедрен в производство. В результате внедрения нового метода ЭШС кожуха доменных печей и др. с применением порошкообразного присадочного металла позволило получить экономию при ремонте только одной домны на Новокузнецком металлургическом комбинате 35 т.руб. В настоящее время внедрение метода непрерывно расширяется.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I.Ивочкин И.И., Соседов А.Ф. "Об эффективности применения по-

рошкообразного присадочного металла при электрошлаковой сварке". Сварочное производство, №II, 1969.

2.Ивочкин И.И.,Алексеев А.И.,Соседов А.Ф.,Лебедев Б.Ф., Авраменко В.И.,Ивочкин И.М. Электрошлаковая сварка с применением ПШМ.

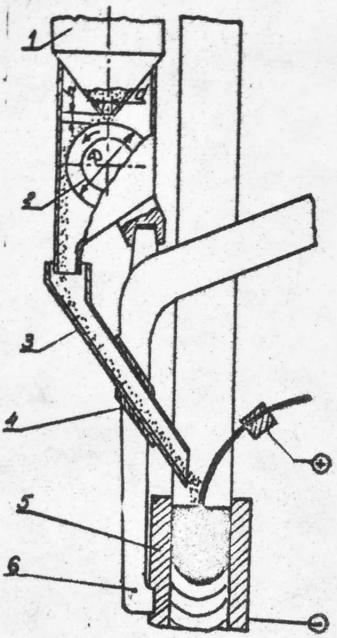
3.Ивочкин И.И.,Соседов А.Ф.,Алексеев А.И.,Ивочкин И.М. Способ электрошлаковой сварки. Б.И. №32, 1971г.,авторское свидетельство № 318442.

4.Смирнов Б.А.,Малышев Б.Д.,Ивочкин И.И.,Соседов А.Ф.,Рощупкин Н.П.,Ефименко Л.А. Особенности структуры и механических свойств соединений, выполненных электрошлаковой сваркой с применением порошкообразного присадочного металла."Автоматическая сварка", № 9, 1973.

5.Соседов А.Ф.,Ивочкин И.И. Высокоэффективный способ Э.Ш.С. с подачей порошкообразного присадочного металла /ППМ/ в шлаковую ванну. Тезисы докладов на XУ Московской научно-технической конференции по итогам работы за 1969 год. Год издания 1970.

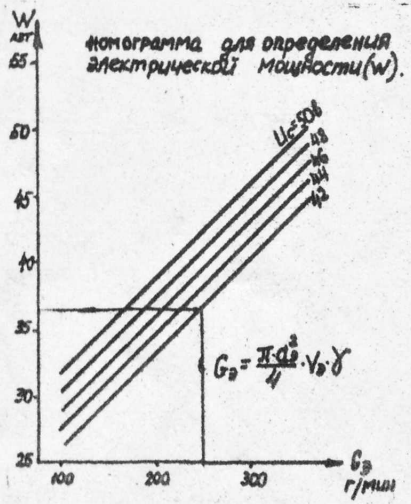
6.Ивочкин И.И.,Соседов А.Ф.,Рощупкин Н.П.,Смирнов Б.А. Особенности структуры и свойств в сварных соединениях,выполненных Э.Ш.С. с добавкой /ППМ/. Тезисы докладов г.Жданов ,1972.

7.Ивочкин И.И.,Малышев Б.Д.,Соседов А.Ф.,Рощупкин Н.П. Метод электрошлаковой сварки с применением порошкообразного присадочного металла. Всесоюзное совещание "Пути повышения производительности труда" г.Челябинск,1973.



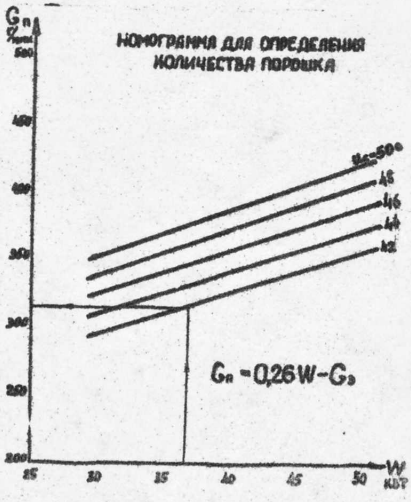
1 БУНКЕР ДЛЯ ПОРОШКА
2 КОЛЕСО ДЛЯ ПОДАЧИ ПОРОШКА
3 ТРУБКА ДЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОРОШКА В ЗОНУ СВАРКИ
4 ИЗОЛЯЦИОННАЯ ВТУЛКА
5 ФОРМИРУЮЩИЕ ПОЛЗУНЫ
6 ХОМУТ

Рис. 1



Номограмма для определения электрической мощности (W).

а



Номограмма для определения количества порошка

б

Рис 2