

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

М/194625
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. БАУМАНА

На правах рукописи

Инженер ИОФФЕ Иосиф Самуилович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА САМОЗАЩИТНЫХ
ПОРШКОВЫХ ПРОВОЛОК ФТОРИСТО- РУТИЛ-
КАРБОНАТНОГО ТИПА ДЛЯ СВАРКИ
НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

(Диссертация написана на русском языке)

(05.04.05. Технология и машины сварочного производства)

Автореферат

*диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук*

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ им. БАУМАНА

На правах рукописи

Инженер ИОФФЕ Иосиф Самуилович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА САМОЗАЩИТНЫХ
ПОРШКОВЫХ ПРОВОЛОК ФТОРИСТО- РУТИЛ-
КАРБОНАТНОГО ТИПА ДЛЯ СВАРКИ
НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

(Диссертация написана на русском языке)

(05.04.05. Технология и машины сварочного производства)

М104625



Автореферат

*диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук*

Москва 1973

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте по монтажным и специальным строительным работам.

Ученый руководитель - доктор технических наук, профессор А.А.Ерохин.

Официальные оппоненты, доктор технических наук, профессор А.Г.Мазель, кандидат технических наук В.В.Спицын.

Ведущее предприятие: завод "Строймонтажконструкция" г. Каменск-Уральский.

Аннотация разослана

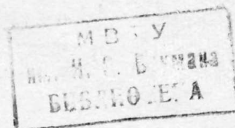
Защита диссертации состоится на заседании Совета

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Высшего технического училища имени И.Э.Баумана по адресу: г. Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке училища

Ученый секретарь Совета



Для выполнения заданий Партии и Правительства по увеличению промышленного производства в соответствии с контрольными цифрами XXIV съезда КПСС требуется значительное увеличение объема электродуговой сварки.

Одним из способов механизированной дуговой сварки, интенсивно развивающихся в настоящее время в нашей стране и за рубежом, является полуавтоматическая сварка порошковой проволокой. Этот способ отличается высокой производительностью и маневренностью. Возможность сварки порошковой проволокой без дополнительной защиты делает особенно перспективным применение этого способа в монтажных условиях, где другие высокопроизводительные механизированные способы дуговой сварки — в углекислом газе и под флюсом не могут найти широкого применения.

Целью данной работы являлась разработка высокопроизводительной самозащитной порошковой проволоки для сварки в монтажных условиях конструкций из малоуглеродистых сталей.

Работа состоит из введения, 4-х глав, изложенных на 162 страницах, иллюстрированных 45 рисунками и 39 таблицами. К работе приложены акты внедрения порошковых проволок в производство.

Состояние вопроса разработки и применения самозащитных порошковых проволок для сварки и задачи исследования

Исследования сварки порошковыми проволоками в нашей стране начали проводиться с конца шестидесятых годов в ИЭС им. Патона и ВНИИСТе. Они послужили базой для разработки самозащитных порошковых проволок рutilового типа: ПВС-І; ПП-АН-І; ПП-ІДСК. Проволоки ПП-АНІ и ПП-ІДСК, применяемые для сварки в нижнем положении, обладают хорошими сварочно-технологическими свойствами.

Производительность сварки ими повышается на 20-30% по сравнению с ручной сваркой. Однако механические свойства металла шва, наплавленного проволоками ПП-ДСК, ПП-АН1, особенно значения ударной вязкости при отрицательных температурах, недостаточно высоки.

Разработкой самозащитных порошковых проволок основного класса занимались ИЭС им. Патона, ВНИИМонтажспецстрой, ДЭИЗСМ. Проволоки этого класса обеспечивают производительность расплавления до 10 кг/час, что в 2÷2,5 раза превосходит производительность рутиловых проволок. Механические свойства наплавленного ими металла шва соответствует типу Э-50А. Недостатком разработанных проволок основного класса ПП-АН3; ПП-АН7; ЭПС-15/2, ПП-2ДСК является невысокая стойкость против образования пористости.

Специфической особенностью сварки порошковой проволокой является неблагоприятные условия контакта жидкого металла на стадии капли с атмосферой, что усиливает процесс абсорбции газов. Одним из путей уменьшения абсорбции газов на стадии капли была разработка ИЭС им. Патона двухслойной конструкции сечения проволоки с наружным по аналогии с электродами расположением газшлакообразующих компонентов к основной массе железа проволоки. Так построены проволоки ПП-АН3 и ПП-АН7, не содержащие в шихте активных нитридообразующих элементов Al и Ti . В проволоках ЭПС-15/2 и ПП-2-ДСК стойкость против порообразования обеспечивается введением Al или Ti .

Допустимый диапазон напряжений для проволок основного класса составляет 3÷5в, что делает возможным их применение в основном в заводских условиях, где можно обеспечить жесткие требования по соблюдению заданной технологии сварки. В монтажных условиях, где имеет место изменение напряжения питающей сети, условия работы требуют применения различной техники сварки, эти проволоки не нашли широкого применения.

Существенным тормозом в расширении объема сварки порошковой проволокой в нашей стране является ее высокая по сравнению с электродами стоимость, определяющаяся высокой

стоимостью основного материала - лент. Экономически эффективным будет применение таких проволок, которые обеспечивают высокую производительность расплавления, в 2,0÷2,5 раза превышающую производительность расплавления штучных электродов. Следовательно, применение рутиловых проволок, производительность которых лишь на 20÷30% превышает производительность расплавления электродов, экономически нецелесообразно.

За рубежом порошковая проволока наибольшее распространение получила в США, где в 1970 г. ее было израсходовано 75 тыс. тонн. Самозащитные порошковые проволоки, объем применения которых в США, начиная с 1968 г., непрерывно увеличивается, выпускаются в основном флюорито-алюминиевого или флюорито-титанового типов. Профиль сечения этих проволок - круглый, шихта содержит большое количество Al или Ti , возможное отрицательное действие которых на механические свойства блокируется введением Ni .

Имеющиеся научные и практические данные по вопросу разработки и применения самозащитных порошковых проволок основного класса не привели к созданию проволоки, пригодной для сварки в монтажных условиях.

Задачи работы в соответствии с поставленной целью были сформулированы следующим образом:

1. Исследования условий и причин возникновения пористости при сварке порошковой проволокой основного класса.

2. Изучение характера взаимодействия жидкого металла на стадиях капли и ванны с газом, вызывающим пористость.

3. Изучение взаимодействия шихты с оболочкой и исследование характера окисления легирующих примесей.

4. Изучение факторов, способствующих получению максимальной удельной производительности.

5. Исследование механических свойств наплавленного металла разработанной проволоки и ее сварочно-технологических свойств в лабораторных условиях, проведение опытно-производственной проверки и внедрение проволоки на предприятиях Минмонтажспецстроя СССР.

Образование пористости и меры по ее
предупреждению при сварке порошковой проволокой
фтористо-рутил-карбонатного типа

Влияние параметров режима на склонность к порообразованию исследовалось при сварке проволокой ЭПС-15/2. Возникновение пористости имеет место при изменении любого из исследованных параметров - тока, напряжения, скорости сварки. Аналогичные данные получены при сварке проволоками ПП-АН7 и ПП-2ДСК. Однако наиболее чувствительно реагируют швы на изменение напряжения на дуге: увеличение напряжения на 2+3в может привести к сплошной пористости. Такое напряжение было обозначено критическим напряжением $U_{\text{к}}^*$. Величина $U_{\text{к}}^*$ может служить критерием стойкости против порообразования.

Увеличение напряжения на дуге, приводящее к возникновению пористости при сварке проволокой ЭПС-15/2 на сталях 14Г2; Ст.3кп; армко-железо, сопровождается выгоранием марганца и кремния. Сравнение аналитического содержания Mn в металле шва и расчетной концентрации Mn в ванне показывает, что его выгорание происходит на стадии ванны. Уменьшение скорости сварки, вызывающее возникновение пористости, также сопровождается выгоранием Mn на стадии ванны. Можно предположить, что возникновение пористости, сопровождающееся выгоранием Mn на стадии ванны, связано с усилением контакта сварочной ванны с атмосферой.

Определение влияния режима сварки на содержание газов в металле шва и возникновение пористости показало, что азот является основной причиной пористости в швах, выполненных проволоками основного класса ЭПС-15/2; ПП-АН7; ПП-2ДСК.

Для изучения протекания различных металлургических процессов на стадиях капли и ванны исследовался характер взаимодействия шихты, содержащей Mo, с металлом оболочки из стали 08кп. Изменение тока и напряжения незначительно влияет на содержание Mo в каплях, которое определяется только параметрами проволоки. С увеличением диа-

метра проволоки доля взаимодействующей с оболочкой шихты уменьшается с 0,685 до 0,4, в то время как глубина внедрения капли в шихту изменяется незначительно и может быть принята постоянной, находящейся в пределах 0,25÷0,35мм. Остальная часть шихты переходит непосредственно в ванну, минуя стадию каплеобразования с оболочкой.

Для оценки влияния стадий капли и ванны в насыщении азотом металла шва определялось содержание азота в зависимости от тока и напряжения в каплях и в наплавленном в медную водоохлаждающую пластину с V-образной канавкой валике. Насыщение металла азотом, начинающееся на стадии капли, активно продолжается в ванне.

А.А.Ерохиным была предложена расчетная схема для определения концентрации азота в ванне, движущейся с постоянной скоростью.

$$[N]_p = \frac{\beta' \cdot \rho \cdot f [S_1 + \chi S_2 \left(\frac{1}{f^m} - 1\right)] + [N]_o \cdot \frac{g_o}{g_o + g_n} + [N]_k \cdot \frac{g_n}{g_o + g_n}}{1 + \beta' \cdot \rho \cdot f \left[1 + \chi \left(\frac{1}{f^m} - 1\right)\right]} \quad (I)$$

$$\chi = \frac{\beta''}{\beta'}; \quad m = \frac{F_1}{F}; \quad f = \frac{F}{g_o + g_n}$$

Здесь $\beta'; \beta''$ - коэффициенты массопереноса азота при абсорбции и десорбции;

S_1 - предельная концентрация насыщения;

S_2 - стандартная растворимость газа;

ρ - плотность металла;

$[N]_o; [N]_k$ - концентрация азота в основном металле и в каплях;

$g_o; g_n$ - массовая скорость расплавления основного и присадочного материалов.

$$g_o = V_{св} \cdot F_o \cdot \rho; \quad g_n = V_{св} \cdot F_n \cdot \rho$$

$F_n; F_o$ - площадь наплавки и проплавления;

F_1 - зона поглощения азота, принимаемая равной площади светящегося пятна под дугой.

Первое слагаемое числителя формулы (I) представляет собой количество азота, поглощаемого ванной, второе - вносимого из основного металла, третье - вносимого капля-

ми присадочного металла. Расчеты по этой формуле позволяют оценить степень участия различных стадий процесса сварки в насыщении азотом металла шва в зависимости от режима.

Для проведения расчетов была определена зависимость площади активного пятна под дугой на ванне F_1 - от параметров режима. Интенсивность поглощения металлом ванны азота зависит не только от площади взаимодействия F_1 , но и от количества жидкого металла, проходящего в единицу времени под данной площадью. Параметр $f = \frac{F_1}{g_c + g_n}$, имеющий смысл скорости обновления активной удельной поверхности ванны и характеризующий удельную массу и время жизни активной зоны ванны, связан с количеством поглощенного в ванне азота прямой зависимостью. Он аналогичен по физическому смыслу предложенному И.К. Походней параметру ω для стадии капли и связан следующим соотношением: $f = \frac{\omega}{\rho}$. Поэтому величина параметра f для стадий капли и ванны может служить критерием интенсивности поглощения азота на этих стадиях. При небольших U_d условия контакта с газовой фазой с точки зрения способности к поглощению азота более благоприятны на стадии капли. Увеличение напряжения приводит к возрастанию скорости обновления активной удельной поверхности на стадии ванны, поэтому количество азота, поглощаемого ванной, в этих условиях может превосходить количество азота, вносимого каплями. Увеличение тока приводит к уменьшению параметра f как для стадии капли, так и ванны, поэтому концентрация азота в шве с ростом тока уменьшается. Уменьшение скорости сварки приводит к увеличению параметра f на стадии ванны, что вызывает усиление поглощения азота ванной и количество его может достигать количеств азота, вносимого каплями. В зависимости от режима с каплями вносится 40÷70% азота, а в ванне поглощается 20÷50%, то-есть стадия ванны играет существенную роль в насыщении металла шва азотом. Поэтому для повышения стойкости против порообразования при сварке порошковой проволокой основного класса необходимо принимать меры по ограничению поглощения азота не только на стадии капли, но и в ванне.

Одним из возможных путей в этом направлении могло явиться усиление газшлаковой защиты. Однако увеличение количества газшлакообразующих компонентов в проволоке больше 0,2 грамма на 1 грамм металлической части — ленты + железный порошок — не приводит к росту критического напряжения на дуге. Следовательно, существенно ограничить контакт жидкого металла на стадиях капли и особенно ванны с азотом атмосферы не представляется возможным. Поэтому наличие в проволоке элементов, которые уменьшают "скачок растворимости" азота, или связывают его в стойкие нитриды, является необходимым условием получения плотного шва в широком диапазоне изменения режима при сварке порошковыми проволоками основного класса.

Введение в проволоку Al и Ti приводит к резкому повышению критического напряжения на дуге. При этом при содержании в проволоке $Ti \leq 1,5\%$ и $Al \leq 2,0\%$ значения ударной вязкости наплавленного металла превышают 13,0 кгс.см/см².

Для определения условий обеспечения в шве требуемых количеств легирующих и нитридообразующих элементов изучалось влияние режима сварки, параметров ванны и окислительного потенциала шихты на выгорание примесей. Расчеты показали, что коэффициент массопереноса кислорода из шлаковой фазы проволоки фтористо-рутил-карбонатного типа с 18% $CaCO_3$ в металл ванны составляет 0,02 см/сек, а коэффициент массопереноса кислорода из газовой фазы в металл ванны — 0,07 см/сек. Следовательно, при низком окислительном потенциале шихты, характерном для проволок основного класса, влияние кислорода воздуха на окисление легирующих примесей в ванне достаточно велико. Поэтому на химсостав металла шва, наплавленного такими проволоками, оказывают влияние параметры режима сварки, особенно напряжение на дуге, от которых зависит размер области светящегося пятна на ванне, где происходит контакт металла ванны с газовой фазой. В случае достаточно высокого окислительного потенциала шлака, например, у проволок рутилового типа, влияние кислорода воздуха в окислении незначительно.

Повышение производительности расплавления порошковой проволоки

Производительность электродуговой сварки пропорциональна току и коэффициенту наплавки. При полуавтоматической сварке величина тока ограничена 500а, поэтому производительность процесса может быть повышена за счет увеличения удельной производительности - коэффициента наплавки.

Для обеспечения максимального количества наплавленного металла при расплавлении порошковой проволоки было исследовано влияние режима сварки и состава газослакообразующих компонентов на величину и характер относительных потерь электродного металла. Замеры коэффициента разбрызгивания $\alpha_{нб}$ показали, что имеющее место увеличение потерь металла с ростом напряжения на дуге и уменьшения тока определяется только величиной разбрызгивания. Увеличение концентрации мрамора в шихте приводит к росту относительных потерь металла, также определяемых только величиной разбрызгивания. При оптимальном содержании мрамора в проволоке 0,04 г на I грамм металлической части, величина потерь находится на уровне 5+7%.

Конфигурация сечения - круглая, двухзагибная и двухслойная и его площадь при сварке на одинаковых значениях плотности тока и вылета не оказывают заметного влияния на коэффициент расплавления.

Повышение производительности расплавления при дуговой сварке может быть достигнуто путем введения железного порошка или использованием джоулеа тепла в вылете. Количество железного порошка в проволоке оценивалось как отношение веса железного порошка к весу оболочки $n = \frac{P_{ж}}{P_{об}}$. Увеличение количества железного порошка в проволоке до $n \approx 0,3$ (50% железного порошка в шихте) приводит к росту коэффициентов расплавления и наплавки. При увеличении $n > 0,3$ удельная производительность наплавки уменьшается, что не может быть объяснено увеличением потерь электродного металла на разбрызгивание и окисление.

Коэффициент расплавления порошковой проволоки может

быть представлен как
$$\alpha = \frac{P_{0\delta} + P_{*}}{J \cdot t} = \frac{P_{0\delta}}{J \cdot t} \left(1 + \frac{P_{*}}{P_{0\delta}} \right)$$

$$\alpha_p = \alpha_{p.o.} \cdot (1 + n) \quad (2)$$

Здесь $\alpha_{p.o.}$ — коэффициент расплавления оболочки, по физическому смыслу аналогичный коэффициенту расплавления стержня электродов. При сварке плавлением эффективность расплавления присадочного материала определяется количеством тепла, передаваемого проволоке дугой и выделяемого в вылете проходящим током. Тогда

$$\alpha_{p.o.} = (\alpha_{p.o.})_g + (\alpha_{p.o.})_в \quad (3)$$

коэффициент расплавления оболочки под действием тепла дуги $(\alpha_{p.o.})_g$ рассчитывался как коэффициент расплавления оболочки при "нулевом" вылете. Установлено, что при постоянном содержании железного порошка в проволоке $(\alpha_{p.o.})_g$ может быть принят независимым от тока. Количество тепла, выделяемое в оболочке вылета проходящим током в зависимости от режима и вылета электрода, рассчитывалось по зависимости, полученной Б.Е.Патоном. Затем по известному количеству тепла, выделяемого в оболочке вылета и теплосодержанию капле электродного металла, рассчитывался $(\alpha_{p.o.})_в$. Сравнение расчетных и экспериментально полученных значений параметров расплавления проволок показывает, что уменьшение коэффициента расплавления оболочки и проволоки с возрастанием количества железного порошка до $n > 0,3$ вызывается уменьшением коэффициента расплавления от действия тепла, выделяемого в вылете.

Уменьшение количества тепла, выделяемого в вылете, может быть в случае протекания по оболочке меньшего тока, чем было принято по расчету из условия протекания тока, проходящего по проволоке, только по ее оболочке, т.е. имеет место шунтирование тока шихтой. Удельная плотность шихты в готовой проволоке в зависимости от количества железного порошка изменяется в пределах $3,4 \div 5,0$ г/см³. Увеличение плотности шихты приводит к уменьшению ее электросопротивления тем интенсивнее, чем выше содержание железного

порошка. Поэтому при сварке проволоками, содержащими значительные количества железного порошка, возможно шунтирование тока шихтой, что приводит к уменьшению тепла, выделяемого в оболочке вылета и соответственно уменьшению $(\alpha_{p.o.})_g; \alpha_{p.o.}$ и α_p . Расчеты показывают, что в порошковой проволоке, содержащей 70% железного порошка, 10÷15% тока шунтируются шихтой.

Согласно формулам (2) и (3) $\alpha_p = [(\alpha_{p.o.})_g + (\alpha_{p.o.})_g] \cdot (1+n)$ (4) $(\alpha_{p.o.})_g$ не зависит от тока и с учетом шунтирования 10÷15% тока шихтой составляет 11÷12 г/а.ч. при различных количествах железного порошка в проволоке. Увеличение $\alpha_{p.o.}$ происходит за счет доли коэффициента расплавления оболочки, определяемой теплом, выделяемым в вылете. Количество этого тепла определяется плотностью тока и величиной вылета. Установлено, что при сварке порошковыми проволоками, оболочка которых изготавливается из стали 08кп, произведение квадрата максимальной плотности тока на объем вылета может быть принято постоянным и равным $i_{\max}^2 \cdot V_b = 5,51 \cdot 10^7 \text{ а}^2/\text{см}$ (За максимальное принималось такое значение тока, при котором проволока еще не перегревалась до красного каления и обеспечивалось равномерное формирование шва).

$$\begin{aligned} \text{Объем вылета } V_b &= S_{об} \cdot H \quad \text{тогда} \quad i_{\max}^2 \cdot V_b = \frac{j_{\max}^2}{S_{об}^2} \cdot S_{об} \cdot H = \\ &= j_{\max}^2 \cdot \frac{H}{S_{об}} = 5,51 \cdot 10^7 \text{ а}^2/\text{см} \end{aligned}$$

По этой формуле были рассчитаны величины вылетов в зависимости от площади сечения оболочки, при которых заданные токи являются максимальными, т.е. обеспечивающими максимальное использование тепла, выделяемого в вылете. При этом необходимо избежать шунтирования тока шихтой, для чего содержание железного порошка в шихте не должно превышать 50÷55%. При сварке на токе 480а проволокой с

$n = 0,32$ при условии максимального использования тепла, выделяемого в вылете, коэффициент расплавления составляет 33,0 г/а.ч.

Введение значительных количеств железного порошка не влияет на проплавляющую способность порошковых проволок,

которая аналогична проплавлению, обеспечиваемому покрытыми электродами.

Разработка и внедрение самозащитных порошковых
проволок фтористо-рутил-карбонатного типа

В 1966 г. в лаборатории сварочных материалов ВНИИ-монтажспецстроя была разработана самозащитная порошковая проволока ЭПС-15/2 типа Э-50А (авт.свид. № 198478), серийное производство которой было организовано на Каменск-Уральском заводе "Строймонтажконструкция". Завод "Строймонтажконструкция" является основным потребителем проволоки ЭПС-15/2 в системе Минмонтажспецстроя СССР. С 1966 г. по 1971 г. на заводе применено 1200 т проволоки из общего числа изготовленной проволоки 5000 т. Расчет экономического эффекта по внедрению сварки порошковой проволокой ЭПС-15/2 взамен ручной сварки электродами УОНИ-13/45 Ø 5 мм показал, что экономия при наплавке 1 т металла порошковой проволокой составляет 450 руб.

Проведенные на основании данной работы усовершенствования проволоки ЭПС-15/2 с целью расширения диапазона допустимых напряжений способствовали увеличению объема применения этой проволоки на предприятиях Минмонтажспецстроя.

Для сварки в монтажных условиях низкоуглеродистых и низколегированных сталей разработана самозащитная проволока фтористо-рутил-карбонатного типа марки СП-2, наплавленный металл которой соответствует электродам типа Э-50А. При сварке этой проволокой обеспечивается получение плотного шва при изменении напряжения в пределах $\pm 4\div 5$ в диапазоне токов $250\div 500$ а. В 1972 г. проволока прошла производственные испытания в организациях Министерства и принята к промышленному производству в 1973 г.

Для сварки в монтажных условиях швов, в положении, отличном от нижнего, разработана самозащитная проволока этого же типа марки СП-1 Ø 1,6 мм (авт.свид. № 288527). В настоящее время проволока СП-1 проходит производственную проверку на предприятиях Министерства.

ВЫВОДЫ:

1. Возникновение пористости при сварке порошковыми проволоками основного класса вызывается азотом и зависит от совместного влияния тока, напряжения и скорости сварки на его содержание в металле шва. Установлено, что насыщение металла азотом происходит как на стадии капли, так и в ванне. С каплями вносится $40 \div 70\%$ азота, в ванне поглощается $50 \div 30\%$. Интенсивность поглощения азота прямопропорциональна скорости изменения активной удельной поверхности жидкого металла как в ванне, так и на стадии капли. На стадии ванны этот параметр в зависимости от режима колеблется в широком диапазоне $0,05 \div 0,30 \text{ см}^2 \cdot \text{сек/г}$ на стадии капли изменяется незначительно — $0,20 \div 0,30 \text{ см}^2 \cdot \text{сек/г}$.

2. Важнейшим условием создания порошковых проволок основного класса с высокой стойкостью против образования пористости является введение в проволоку активных элементов, уменьшающих содержание азота в металле шва, так как наличие интенсивного поглощения азота в ванне, неблагоприятные условия существования жидкого металла на стадии капли способствуют поглощению азота. Влияние конструкции проволоки, параметров режима и технологических приемов сварки на повышение стойкости против порообразования связано с возможностью уменьшения скорости обновления активной удельной поверхности на стадии капли и ванны.

3. Тепло, выделяемое в металлической оболочке вылета, является основным средством повышения производительности расплавления порошковых проволок. Доля коэффициента расплавления, определяемая этим теплом, достигает 50% . Железный порошок оказывает двойственное влияние: с одной стороны он способствует повышению производительности расплавления, когда выступает в роли дополнительного металла, расплавляемого с металлом токоведущей оболочки, с другой стороны железный порошок снижает количество тепла, выделяемого в металлической оболочке вылета вследствие шунтирования тока шихтой.

4. Увеличение содержания железного порошка приводит к уменьшению электросопротивления шихты до значений $10^{-1} \div 10^{-2}$ ом . см. При этом в шихту шунтируется $10 \div 15\%$ тока. Максимальное содержание железного порошка, при котором практически не имеет место шунтирование тока, равно $50 \div 55\%$. Доля железного порошка в балансе коэффициента расплавления проволоки достигает 25% .

5. Построена номограмма для определения величины вылета в зависимости от площади токоведущей оболочки из условия обеспечения максимального использования тепла, выделяемого в вылете. Так, при токе 500а и сечении оболочки $0,02 \div 0,025$ см² максимальное количество тепла в токоведущей оболочке выделяется при сварке на вылете 50 мм.

6. На основании проведенной работы разработана новая самозащитная порошковая проволока марки СП-2 фтористорутит-карбонатного типа для сварки в монтажных условиях. Проволока СП-2 прошла производственные испытания и принята к промышленному изготовлению с 1973 г. Для сварки швов в положениях, отличных от нижнего, разработана самозащитная проволока СП-1, проходящая в настоящее время производственные испытания. Также на основании данной работы усовершенствована самозащитная проволока ЭПС-15/2, выпускаемая в настоящее время. Применение разработанных проволок взамен электродов снижает расходы на 450 р. на тонну наплавленного металла.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

- | | |
|---|---|
| 1. И.С.Иоффе
А.А.Ерохин | "Повышение стойкости против порогообразования, "Автоматическая сварка" № 11, 1968 г. |
| 2. А.А.Ерохин
И.С.Иоффе
И.П.Браверман | Некоторые металлургические вопросы при сварке порошковой проволокой. ОНТИ ИЭС им. Патона. Киев, 1969 г. |
| 3. И.С.Иоффе
А.А.Ерохин | О коэффициенте расплавления порошковой проволоки. "Автоматическая сварка" № 9. 1970 г. |

4. И.С.Иoffee

Вопросы производительности и образования пористости при сварке порошковой проволокой в об. "Новые методы сварки и передовая технология в производстве сварных конструкций". Пермь, 1971 г.

5. А.М.Гофнер

И.С.Иoffee

В.И.Зеленова

Разработка порошковой проволоки повышенной производительности для сварки в монтажных условиях в об. "Монтажные работы в строительстве". Труды ВНИИМонтажспецстрой. Выпуск У1, Москва, 1972 г.

6. А.М.Гофнер

В.Т.Чернушенко

И.С.Иoffee

И.П.Браверман

Порошковая проволока для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Авторское свидетельство № 198478.

7. А.М.Гофнер

Г.Ф.Ялышко

В.А.Макеев

И.С.Иoffee

И.П.Браверман

В.И.Трошинский

Порошковая проволока. Авторское свидетельство № 288527.

Материалы диссертации докладывались на Всесоюзном совещании по сварке порошковыми проволоками, на Всесоюзных семинарах по сварке в строительстве, на семинаре по сварке порошковой проволокой в Киевском доме научно-технической пропаганды, на научно-технической конференции по новым методам сварки и передовой технологии в производстве конструкций в г. Перми, на семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Баумана, 1971 г.

Объем I п.л. Л-75305 Тираж 150 экз. Зак. № 1071

Москва, IIII4I, 2-ой Проезд Перова поля, 9. ВНИИМонтажспецстрой