

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И КАЧЕСТВО СВАРИВАЕМОГО МЕТАЛЛА ШВА

Власов А. Ф., Лукашевич А. А.

Одним из путей решения задачи повышения производительности ручной дуговой сварки и качества свариваемого металла является использование эффекта экзотермических реакций (дополнительный источник нагрева) путём введения в состав используемых материалов экзотермических смесей в виде соответствующих окислителей и раскислителей, при нагреве и плавлении которых экзотермический процесс протекает в покрытии электродов до расплавления электродного стержня. Экспериментальными методами установлено, что введение в покрытие электродов экзотермической смеси до 53,4% увеличивает коэффициенты расплавления стержня (8,7...11,4 г/А·ч), выхода наплавленного (0,93...1,10) и годного металла (0,58...0,68). Повышение толщины покрытия электродов, содержащих 44,4% экзотермической смеси, от 0,5 до 2,6 мм, приводит: к увеличению коэффициента наплавки (10,4...13,4 г/А·ч), выхода наплавленного металла ($K_n = 0,82...1,24$); массовой скорости плавления (0,18..1,03 г/с), к снижению коэффициентов расплавленного стержня ($\alpha_{р.ст} = 12,8...10,5$ г/А·ч).

Одним із шляхів вирішення завдання підвищення продуктивності ручного дугового зварювання і якості металу, що зварюється, є використання ефекту екзотермічних реакцій (додаткове джерело нагріву) шляхом введення до складу використовуваних матеріалів екзотермічних сумішей у вигляді відповідних окислювачів і розкислювачів, при нагріванні і плавленні яких екзотермічний процес протікає в покритті електродів до розплавлення електродного стержня. Експериментальними методами встановлено, що введення в покриття електродів екзотермічної суміші до 53,4% збільшує коефіцієнти розплавлення стержня (8,7...11,4 г/А ч), виходу наплавленого (0,93...1,10) і придатного металу (0,58...0,68). Підвищення товщини покриття електродів, що містять 44,4% екзотермічної суміші, від 0,5 до 2,6 мм, призводить: до збільшення коефіцієнта наплавлення (10,4...13,4 г / А ч), виходу наплавленого металу ($K_n = 0,82...1,24$); масової швидкості плавлення (0,18..1,03 г/с), до зниження коефіцієнтів розплавлення стержня ($\alpha_{р.ст} = 12,8...10,5$ г / А · год).

One of the ways to solve the problem of increasing productivity of manual arc welding and the quality of the weld metal is the use of the effect of exothermic reactions (additional heat source) by introducing exothermic mixtures in the form of appropriate oxidizers and deoxidizers into the composition of the materials used. When heating and melting the mixtures an exothermic process takes place in coating electrodes till the electrode rod is melted. Experimental methods established that introduction exothermic mixture into the coating of electrodes increases to 53.4% the melting factor of the rod (8,7...11.4 g/A·h), output of welded metal (0,93 1,10...) and the metal yield (0,58...to 0.68). Increase of thickness of electrodes coating containing 44.4% of the exothermic mixture, from 0.5 to 2.6 mm, leads to an increase of the deposition rate factor (10,4 13,4...g/A·h), and then to the deposition rate factors ($\alpha_n = 10,4...13,4$ g/A * h), to release of deposited metal ($K_n = 0,82 1,24...$); to the mass melting rate (0,18..1.03 g/s) and to the decrease of the factors of molten rod ($\alpha_{R. St} = ...10,5 12,8$ g/A * h).

Власов А. Ф.

д-р техн. наук, доц. каф. СП ДГМА

Лукашевич А. А.

студент каф. СП ДГМА
A.Lukashevich-12@mail.ru

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621. 791.75

Власов А. Ф., Лукашевич А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И КАЧЕСТВО СВАРИВАЕМОГО МЕТАЛЛА ШВА

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами является одним из широко применяемых технологических процессов в промышленности и строительстве. Для сварки и наплавки применяют широкую номенклатуру электродов. Однако производительность их довольно низка – до 2,7 кг/ч, коэффициенты наплавки и скорости их плавления не превышают, соответственно, 8,5...10,0 г/А·ч и 13..15 м/ч.

По статистическим данным 2014 года, объем электродуговой сварки покрытыми электродами на ближайшие 10...15 лет останется основным и будет составлять не менее 40–50%. Одним из основных путей увеличения производительности ручной дуговой сварки является введение в состав покрытия электродов железного порошка. При содержании в электродах железного порошка в пределах 15...25 % улучшаются их сварочно-технологические свойства без существенного изменения коэффициента наплавки. Наибольшая производительность достигается при содержании в покрытии электродов 60...70 % железного порошка при коэффициенте массы покрытия в пределах 100...200 % [1–6]. Такие электроды называются «высокопроизводительными».

Однако объем применения таких электродов составляет приблизительно 1% от общего количества электродов. Дальнейший рост производства прогрессивных марок электродов также ограничивается дефицитом как на мировом рынке, так и в нашей стране ряда сырьевых материалов – железного порошка, слюды – мусковит, целлюлозы и др.

Предлагаемое в работе новое решение научно-технической проблемы повышения производительности дуговых и электрошлаковых процессов, отсутствие или значительное снижение в покрытиях электродов дефицитных компонентов, разработка энерго- и материалосберегающих процессов на основе использования эффекта экзотермических реакций при расплавлении экзотермических легированных смесей в покрытии электродов и во флюсах при электрошлаковых процессах на «твердом» старте является актуальным.

Существенное влияние на производительность расплавления электродов оказывает толщина покрытия. С увеличением толщины покрытия электродов, не содержащих железный порошок, коэффициенты наплавки и расплавления уменьшаются [7]. Увеличение же массы покрытия электродов с железным порошком повышает значения коэффициентов наплавки и расплавления электрода при одновременном снижении линейной скорости плавления электрода и коэффициента расплавления стержня [2].

Широко проводились исследования по влиянию различных типов электродных покрытий, отдельных компонентов и их сочетания на производительность расплавления электродов и качество металла шва [2, 7–9].

Различные типы электродных покрытий, из-за неодинаковых диапазонов оптимальных сварочных токов, по-разному влияют на производительность расплавления электродов. При прочих равных условиях наибольшая производительность наблюдается в электродах с кислым и рутиловым покрытием [2]. В работе [10] установлена связь между внутренней энергией кристаллической решетки компонентов покрытия и скоростью плавления электродов. Указывается, что оксиды щелочно-земельных металлов (CaO, BaO, K₂O, Na₂O) снижают скорость плавления электродов, а оксиды SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, MnO₂ – увеличивает её. Практически не влияют на скорость плавления электродов следующие оксиды: FeO, MnO, MgO, NiO и CuO.

Известно, что величина изменения свободной энергии (ΔF) характеризует прочность химического соединения, при этом чем больше её отрицательное значение, тем прочнее соединение. Наиболее стойкими являются оксиды: CaO, MgO, Al₂O₃ и в меньшей степени TiO₂,

вследствие чего разработку малоокислительного покрытия целесообразно осуществлять с применением компонентов, содержащих данные оксиды.

На коэффициент наплавки оказывает влияние и состав жидкого стекла. При использовании в качестве связующего натриевого жидкого стекла коэффициент наплавки на 20...25 % выше, чем при калиевом [2].

Одним из путей интенсификации сварочных процессов является повышение тепловой мощности электрической дуги за счёт введения в зону веществ, окисление которых сопровождается значительным эффектом. Впервые эта идея была воплощена при разработке электродов ЦМ-7С. Несмотря на введение в покрытие электродов слабого раскислителя (низкоуглеродистого ферромарганца), коэффициент наплавки достигал величины 11 г/А·ч. При этом дополнительное количество тепла (по данным Л. М. Яровинского [9]) составляло 12 %. А. А. Алов указывает, что при восстановлении марганцем окиси железа до ее закиси на 1 г марганца выделяется около 490 кал [11]. Экономично использовать алюминий в электродных покрытиях [12], при этом наблюдается снижение удельного расхода электроэнергии (на 8,4...15,8 %) и основного рабочего времени (не менее, чем на 15...16 %).

Исследовано влияние алюминия и титана в сварных швах на их качество и определены оптимальные их количества в расплавляемом материале и в сварном шве, при которых они оказывают положительное действие на качество металла шва [12–14]. Высокие механические свойства металла шва достигаются при содержании в нём 0,11 % алюминия [13] в результате благоприятного распределения сульфидов в металле шва, а также измельчения первичной и вторичной структур. Повышение ударной вязкости металла шва отмечается при содержании в нём алюминия – 0,045 % [13] и 0,10...0,25 % [14]. Алюминий одновременно с раскислением способствует десульфуриванию металла шва. Отмечается снижение концентрации серы с 0,028 до 0,02 % при увеличении содержания в металле шва алюминия от 0,03 до 0,046 % [15]. Снижению содержания неметаллических включений в наплавленном металле способствует титан вследствие образования легко удаляемого из расплавленного металла оксида [16].

На производительность расплавления электродов и качество металла шва заметное влияние оказывают: напряжение дуги; род, полярность и величина сварочного тока [2, 7, 8]. Влияние силы сварочного тока на показатели плавления электродов в зависимости от их состава проявляется по-разному. Так, коэффициент наплавки электродов без железного порошка практически не зависит от величины сварочного тока. При плавлении же электродов с железным порошком с увеличением сварочного тока количества наплавляемого и расплавляемого электродного металла повышаются. По мнению А. Г. Мазеля [7], применение повышенного тока при сварке электродами с толстым покрытием и значительным количеством железного порошка возможно из-за того, что такое покрытие более интенсивно отводит тепло, чем покрытие небольшой толщины обычных электродов и недостигающее такой толщины, при которой оно выполняет роль изоляции, а наоборот, способствующее теплоотводу, благодаря чему не происходит перегрев покрытия и стержня. Допустимая температура нагрева электрода, в основном, зависит от состава покрытия. Известно, что электроды с целлюлозным покрытием дают выраженную пористость, если температура электрода достигает примерно 300 °С, в то время как электроды с основным покрытием обеспечивают получение плотных швов даже при нагреве стержня электрода до 900 °С.

Введение активных раскислителей в электродные покрытия приводит к повышению напряжения дуги и её тепловой мощности, в результате чего интенсифицируется расплавление электрода.

Наибольшая производительность достигается при сварке электродами с кислым покрытием на постоянном токе прямой полярности, а наименьшая – обратной полярности. Производительность расплавления электродов с железным порошком наибольшая на переменном токе и минимальная – на постоянном токе прямой полярности. В работах [7, 17] установлена связь между напряжением дуги и скоростью плавления электродов на прямой и обратной полярности. При сварке на обратной полярности скорость плавления и коэффици-

ент расплавления электродов практически не изменяются с ростом напряжения дуги, в то время как на прямой полярности отмечается их повышение.

При прочих равных условиях значения допустимых плотностей сварочного тока повышаются с увеличением скорости плавления электрода.

Изменение режима сварки оказывает заметное влияние на химический состав металла шва. От режима сварки зависят температура и условия контакта взаимодействующих фаз. На стадии капли, которая в большинстве случаев играет ведущую роль в изменении состава электродного металла, увеличение напряжения дуги приводит к повышению окисленности С, Mn, Si и обогащение наплавленного металла кислородом и азотом [9], а увеличение сварочного тока (при постоянном напряжении дуги) – к некоторому снижению окисленности этих элементов [17]. В реальных же условиях при ручной дуговой сварке изменение тока обычно сопровождается направленным в ту же сторону напряжением дуги и ее длины, что в определенной степени компенсирует действия тока. Проведенные А. А. Ерохиным исследования [17] показали, что переход марганца и кремния или не изменялся, или даже несколько снижался вследствие одновременного увеличения тока и напряжения дуги.

В ряде областей техники в качестве источника эффективного воздействия на технологические процессы и качество металла широкое распространение получили алюмотермические реакции с использованием оксидов железа, которые протекают при нагреве экзотермических смесей до температуры 1050...1150 °С.

Целью данной работы является исследование влияния экзотермических смесей на производительность ручной дуговой сварки на основе использования эффекта экзотермических реакций при их расплавлении.

Для определения наличия в исследуемых электродах экзотермической смеси и температур, развиваемых экзотермическими реакциями из электродных покрытий (табл. 1), изготавливались брикеты размером 20x20x20 мм. За счёт газшлакообразующей части покрытия, взятой за основу (состав 1), при сохранении соотношений между её составляющими, в электродные покрытия с одинаковым количеством в них раскислителей вводилась окалина (состав 6) или железный порошок (состав 11). Электродные покрытия с окалиной предполагали наличие в них экзотермической смеси, а электродные покрытия с железным порошком – её отсутствие.

Таблица 1

Составы покрытий электродов для определения влияния количества экзотермической смеси на показатели их расплавления

Наименование компонентов	Содержание компонентов, масс. %										
	Индекс исследуемых электродов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мрамор	14,5	11,2	8,3	5,1	3,5	1,9	11,4	8,3	5,1	3,5	1,9
Плавленый шпат	24,2	19,0	13,8	8,6	6,0	3,4	19,0	13,8	8,6	6,0	3,4
Рутиловый концентрат	48,3	38,0	27,7	17,5	12,4	7,3	38,0	27,7	17,5	12,4	7,3
Ферромарганец	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Ферротитан	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Железный порошок	–	–	–	–	–	–	14,6	29,2	43,8	51,1	58,4
Окалина	–	14,6	29,2	43,8	51,1	58,4	–	–	–	–	–
Алюминиевый порошок	–	4,0	8,0	12,0	14,0	16,0	4,0	8,0	12,0	14,0	16,0

В центре брикетов производилась засверловка отверстий под вольфрамовый-вольфрамовые термопары (ВР-5/20). Термопары соединялись между собой по схеме, приведенной на рис. 1, обеспечивающей замер разности температур в исследуемых брикетах. Тарировка записывающей фотоленты УФ-67, не требующей химического проявления, перед каждым экспериментом производилась при температуре в нагревательной печи, равной 1273 К. Исследуемые брикеты с термопарами укладывались на стальную пластинку и помещались в нагревательную печь типа СУОЛ (с максимальной температурой нагрева, равной 1523 К) при температуре 1173 К. При этом включалось записывающее устройство светолучевого осциллографа Н-115. Скорость перемещения фотоленты в начальный период составляла 0,5 мм/с, а в момент возникновения экзотермической реакции – 10 мм/с. Экспериментальное определение экзотермического процесса в исследуемых покрытиях и замер температур, возникающих при его протекании, производилось по схеме, приведенной на рис. 1.

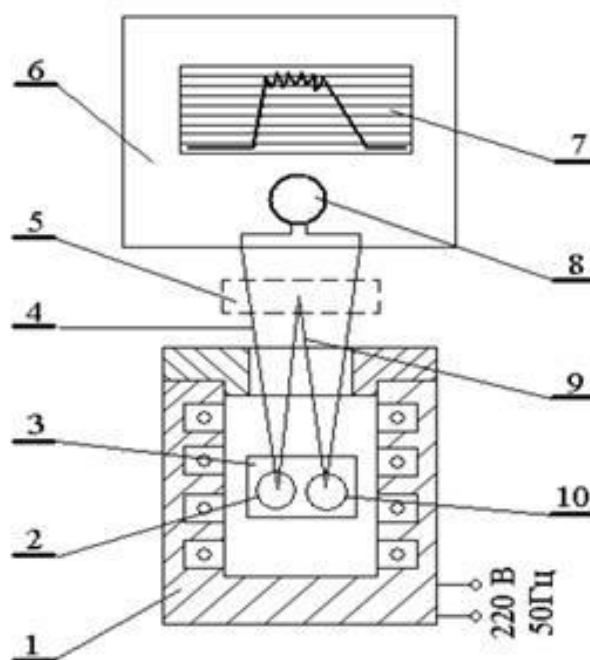


Рис. 1. Схема замера температур, возникающих в электродных покрытиях при протекании в них экзотермических реакций:

1 – нагревательная печь; 2 – брикет электродного покрытия без экзотермической смеси; 3 – подставка стальная; 4 – дифференциальная термопара; 5 – система термостатирования; 6 – осциллограф светолучевой Н-115; 7 – барабан с фотолентой; 8 – гальванометр шлейфовый; 9 – дифференциальная термопара; 10 – брикет электродного покрытия с экзотермической смесью

Проведенными исследованиями [9] установлено, что при изменении содержания в покрытии электродов экзотермической смеси, состоящей из окалины и алюминиевого порошка, от 35 до 64% прирост температуры составил 1280°С и является достаточным для полного расплавления ферросплавов.

В качестве примера на рис. 2, а, б показаны осциллограммы экзотермического процесса, протекающего при плавлении электродных покрытий с содержанием в них 43,8 и 51,1 % окалины (соответственно 49 и 56 % экзотермической смеси). Плавление брикетов, содержащих 29,2 % окалины (34 % экзотермической смеси), не происходило.

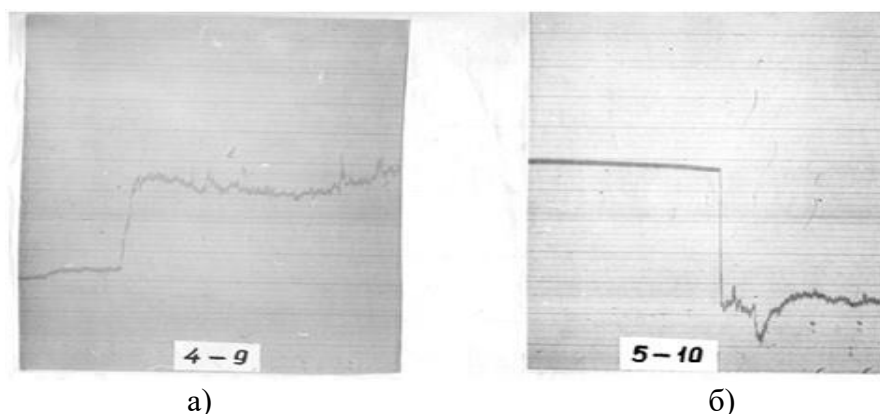


Рис. 2. Осциллограммы экзотермического процесса, протекающего при плавлении брикетов из электродных покрытий:

а – 43,8 % окалины; б – 51,1 % окалины

Температуры, развиваемые экзотермическими реакциями, находятся в пропорциональной зависимости от содержания в электродных покрытиях экзотермической смеси. Температура начала экзотермических реакций в исследуемых электродных покрытиях фиксировалась по показаниям потенциометра типа МР-64 с платинородий-платиновой термопарой ПП-1 и находилась в пределах 1253...1273К. Электроды с одинаковыми количествами в покрытии окалины и железного порошка сваривались между собой, а затем вставлялись в электрододержатели, которые подключались к сварочному трансформатору ТСД-1000, при этом образовывалась короткозамкнутая цепь. Через исследуемые электроды пропусклся ток до завершения протекания экзотермической реакции, после чего источник питания отключался. Электроды с окалиной (индекс 6) предполагали наличие экзотермической смеси, а электроды с железным порошком (индекс 11) – её отсутствие. Полученные результаты приведены на рис. 3.

Вид протекания экзотермической реакции



а)

расплавленное покрытие



б)

Рис. 3. Протекание экзотермического процесса в покрытии электрода (а), содержащего 58,4 % окалины (состав 6) и вид его после завершения экзотермического процесса (состав 11) (б)

Введение в электродные покрытия экзотермической смеси до 53,4 % (рис. 4) приводит к увеличению коэффициентов: расплавления стержня ($\text{ар.ст} = 8,7...11,4 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$), наплавки ($8,0...12,5 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$), и скорости плавления покрытия ($0,35-0,58$) и электродов ($17...23\text{м/ч}$).

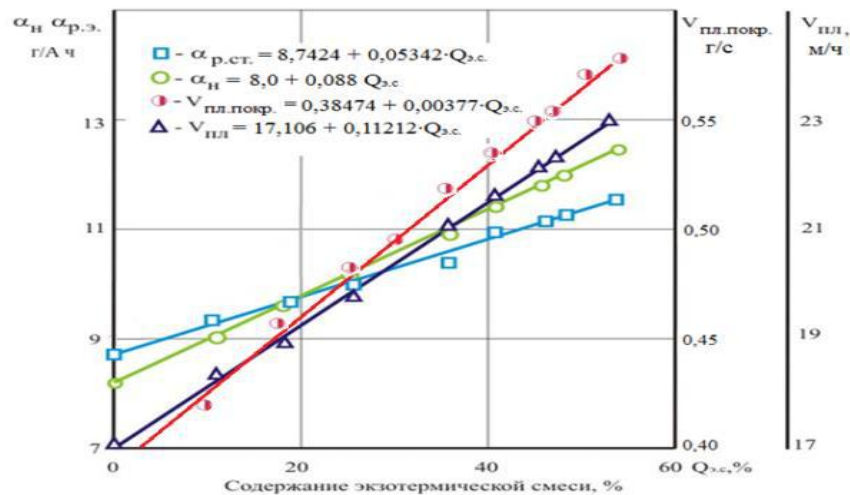


Рис. 4. Показатели плавления электродов в зависимости от количества в покрытии экзотермической смеси $Q_{э.с}$

Повышение толщины покрытия электродов (рис. 5) приводит к увеличению количества экзотермической смеси, восстановленного железа, коэффициентов наплавки ($\alpha_n = 10,4 \dots 13,4$ г/А·ч), выхода наплавленного металла ($K_n = 0,82 \dots 1,24$); к снижению коэффициентов расплавляемого стержня ($\alpha_{p.ст.} = 12,8 \dots 10,5$ г/А·ч). Уменьшение же $\alpha_{p.ст.}$ с увеличением толщины покрытия говорит о том, что теплота, образующаяся при протекании экзотермической реакции, расходуется в основном на плавление покрытия, увеличивая его массовую скорость плавления (0,18...1,03 г/с).

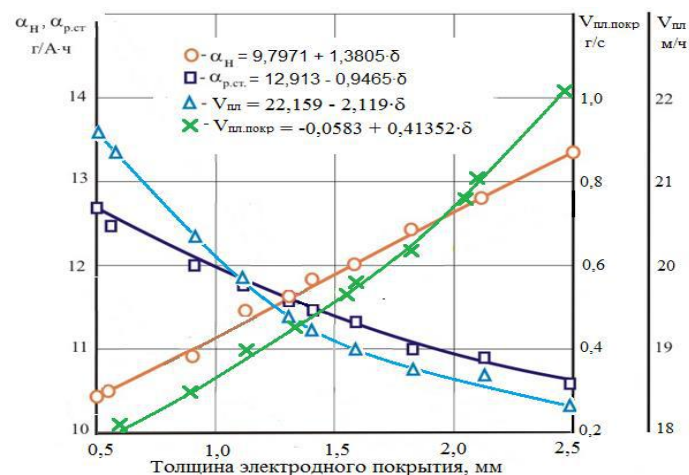


Рис. 5. Влияние толщины покрытия на показатели плавления электродов с экзотермической смесью

В связи с тем, что во всех исследованных составах электродов процентное содержание экзотермической смеси было одинаково, а изменялось её только массовое количество, то происходило лишь увеличение восстанавливаемого железа из его оксидов и повышение производительности расплавления покрытия электродов.

Проверка сварочно-технологических свойств разработанных электродов показала следующее:

- дуга легко возбуждается и стабильно горит;
- при введении в состав покрытия поташа от 1 до 3 % дуга горит стабильно и на переменном токе;
- покрытие плавится равномерно, разбрызгивание малое (рис. 6, а);
- формирование валика – мелкочешуйчатое (рис. 6, б);

– отделимость шлаковой корки – лёгкая;
 – коэффициент наплавки – 11,8...12,5 г/А·ч;
 – скорость плавления – 21,5...25 м/ч;
 – чувствительность электродов к наличию окалины и ржавчины на поверхности свариваемого металла низкая (рис. 7).

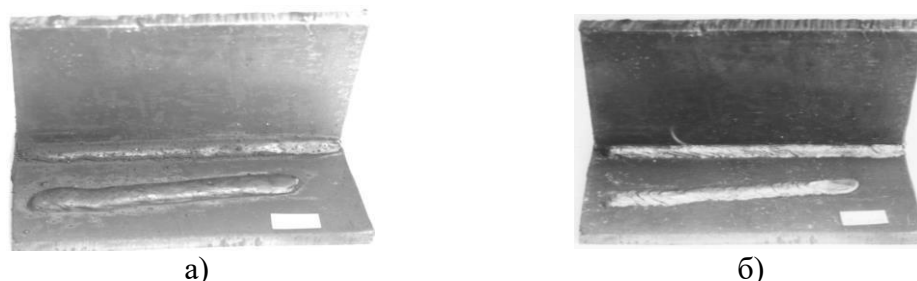


Рис. 6. Внешний вид наплавленного валика (а) и углового шва (б), выполненных исследуемыми электродами марки ЭТ–2 ($d_э = 5,0$ мм) с экзотермической смесью в покрытии



Рис. 7. Вид образцов после испытания на ударный изгиб стыкового шва (а) и статический загиб, выполненных исследуемыми электродами марки ЭТ–2 ($d_э = 5,0$ мм) с экзотермической смесью в покрытии

Усреднённые данные механических свойств и химического состава металла швов, выполненных различными партиями разработанных электродов (табл. 1, 2), показывают, что данные электроды по механическим свойствам и содержанию в наплавленном металле серы и фосфора полностью удовлетворяют требованиями ГОСТ 9467-75 к электродам типов Э46 (ЭТ-3), Э50А (ЭТ-2) и Э60 (ЭТ-4).

Таблица 1

Механические свойства металла шва

Марка электрода по ГОСТ 9467-75	σ , МПа	σ , МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²			Примечание
					+20 ⁰ С	-40 ⁰ С	-60 ⁰ С	
ЭТ-2 (Э50А)	525...570	425...460	23,5...28,5	58,0...65,5	130...154	84...108	63...86	$d_{ст} = 5,0$ мм, сталь СтЗпс
	505...570	410...430	27,5...31,5	60,0...66,0	153...155	105...118	75...85	$d_{ст} = 5,0$ мм, сталь 09Г2С
	555...600	450...455	23,5...31,5	55,8...58,0	130...144	87...97	68...80	$d_{ст} = 4,0$ мм, сталь СтЗпс
	545...555	450...455	23,0...26,5	56,0...62,5	142...145	96...106	82...99	$d_{ст} = 4,0$ мм, сталь 09Г2С
ЭТ-3 (Э46)	490...495	410...430	28,5...31,0	60,0...65,0	135...138	75...90	48...60	$d_{ст} = 5,0$ мм, сталь СтЗпс
ЭТ-4 (Э60)	60,0...65,0	460...490	18,0...21,0	55,0...57,0	100...122	Не опр	Не опр	$d_{ст} = 5,0$ мм, сталь СтЗпс
	600...610	400...460	25,0...29,3	62,9...63,0	105...108	Не опр	Не опр	$d_{ст} = 5,0$ мм, сталь 09Г2С

Примечание: Тип образца на ударный изгиб –VI по ГОСТ 6996-75

Таблица 2

Химический состав металла шва

Марка электрода	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Al	Ti	S	P
ЭТ-2 (Э50А)	0,10...0,12	0,71...0,90	0,15...0,25	0,01...0,04	0,04...0,09	0,023...0,030	0,028...0,033
ЭТ-3 (Э46)	0,05...0,10	0,40...0,60	0,14...0,26	0,06...0,08	0,01...0,03	0,020...0,030	0,023...0,030
ЭТ-4 (Э60)	0,10...0,13	1,31...1,49	0,28...0,35	0,02...0,06	0,04...0,07	0,027...0,032	0,026...0,032

Содержание газов (табл. 3) и неметаллических включений (табл. 4) в металле, наплавленном электродами ЭТ-2, близко к значениям, характерным для электродов с основным типом покрытия.

Таблица 3

Газовый состав наплавленного металла

Содержание газов					
1 см ³ /100 г			%		
оксид углерода	азот	водород	кислород	азот	водород
82,5	13,5	4,0	0,059	0,0169	0,00036
86,7	13,5	4,2	0,062	0,0169	0,00037

Таблица 4

Состав неметаллических включений в наплавленном металле

Общее количество неметаллических включений	Содержание оксидов, %						
	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	TiO ₂	Прочие
0,08	15,90	1,86	66,13	4,57	3,12	5,34	3,08

Применение электродов с экзотермической смесью в покрытии позволяют снизить по сравнению с существующими марками электродов затраты в 1,5 раза на 1 погонный метр шва.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны составы электродов с экзотермической смесью в покрытии, содержащие мрамор, плавиковый шпат, рутиловый концентрат, окалину, алюминиевый порошок, легирующие элементы (ферротитан и ферромарганец), которые при содержании в покрытии электродов экзотермической смеси свыше 35% обеспечивают протекание экзотермических реакций на торце электрода при нагревании его до температуры 1273±20К, увеличение скорости плавления электрода до 26% за счет выделения дополнительного тепла, обеспечивающих соответствие требованиям ГОСТ 9467-75 к электродам типа Э46, Э50А и Э60.

2. Экспериментально установлено, что введение в электродные покрытия экзотермической смеси до 53,4 % приводит к увеличению коэффициентов: расплавления стержня

($\alpha p.cт = 8,7...11,4$ г/А·ч), наплавки ($8,0...12,5$ г/А·ч),) расплавления электродов ($9... 19$ г/А·ч) и скорости плавления электродов ($17...23$ м/ч).

3. Экспериментально установлено, что повышение толщины покрытия электродов приводит к увеличению количества экзотермической смеси, восстановленного железа, коэффициентов наплавки ($\alpha n = 10,4...13,4$ г/А·ч), выхода наплавленного металла ($K_n = 0,82...1,24$); массовой скорости плавления ($0,18..1,03$ г/с), к снижению коэффициентов расплавляемого стержня ($\alpha p.cт = 12,8...10,5$ г/А·ч).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Походня И. К. Универсальные электроды повышенной производительности с ильменитовым покрытием марки АНО-17 / И. К. Походня, Г. Е. Коляда, И. Р. Явдошин. – Информ.письмо ИЭС им. Е. О. Патона. – 1975. – № 50(957). – 3 с.
2. Ворновицкий И. Н. Высокопроизводительные электроды для дуговой сварки / И. Н. Ворновицкий, И. М. Ваганов. – М. : Машиз, 1963. – 104 с.
3. Походня И. К. Высокопроизводительные электроды АНО-10 с карбонатно-флюоритным покрытием / И. К. Походня, Г. Г. Корицкий. – Информ. письмо ИЭС им.Е.О.Патона, 1969. – № 24(583). – 4 с.
4. Wuich W. Hoehleistungselektroden beim Handlichtbogenschwessen. – Schweis. Maschinenmarkt, 1970, Bd 70. – № 17. – P. 58–59.
5. Новые сварочные электроды института электросварки им.Е. О. Патона АН УССР / И. К. Походня [и др.]. – Тез.докл. Всесоюз. конф. по дуговой сварке (Киев, 11–12 мая 1972 г.), Киев. : Изд. ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1976. – С. 14–16.
6. Алов А. А. Высокопроизводительные электроды для сварки малоуглеродистой стали / А. А. Алов, М. Н. Могильнер // Сварочное производство. – 1963. – № 10. – С. 31–33.
7. Мазель А. Г. Технологические свойства электросварочной дуги / А. Г. Мазель. – М. : Машиностроение, 1969. – 178 с.
8. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 447 с.
9. Яровинский Л. М. Электроды ЦНИИТМАШ для сварки сталей и наплавки / Л. М. Яровинский, В. В. Баженов. – М. :Машиз, 1954. – 82 с.
10. Липецкий И. А. Зависимость скорости плавления электродов от величины внутренней энергии кристаллической решетки / И. А. Липецкий // Автогенное дело. – 1947. – № 2. – С. 1–3.
11. Алов А. А. Основы теории процессов сварки и пайки/ А. А. Алов.– М. : Машиностроение, 1964. – 272 с.
12. Шевченко Г. Д. Высокопроизводительные электроды СК-А1 и СК-А2 с присадкой алюминия для сварки малоуглеродистой стали / Г. Д. Шевченко, Г. И. Погодин-Алексеев // Автоматическая сварка. – 1955. – № 1. – С. 39–48.
13. Борисенко М. М. Влияние титана на ударную вязкость металла швов, выполненных сваркой в углекислом газе / М. М. Борисенко, Н. М. Новожилов // Сварочное производство. – 1974. – № 1. – С. 22–24.
14. Ульянов В. И. Влияние алюминия в электродной проволоке на прочность металла шва при сварке в углекислом газе стали Ст.3 / В. И. Ульянов, Г. И. Парфесса, Р. Н. Шевчук // Автоматическая сварка/ – 1974. – № 12. – С. 15–18.
15. Рабкин Д. М. Причины образования горячих трещин в сварных швах / Д. М. Рабкин, И. И. Фрумин // Автоматическая сварка. – 1950. – № 2. – С. 3–43.
16. Давиденко И. Д. Справочник по сварочным электродам / И. Д. Давиденко. – Ростов н/Д : Книжное изд-во, 1961. – 230 с.
17. Ерохин А. А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1964. – 256 с.