

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Власов А. Ф., Кошевой А. Д.

Одной из задач, стоящих перед разработчиками сварочных и наплавочных материалов, является поиск новых видов сырья для их изготовления и повышение производительности сварочных процессов. Одним из путей решения данной задачи является использование эффекта экзотермических реакций путём введения в состав используемых материалов экзотермических смесей в виде соответствующих окислителей и раскислителей, при нагреве и плавлении которых экзотермический процесс протекает 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), количества экзотермической смеси (3,9 ...27,4 г), восстановленного железа (0,05...0,28 г/с), выхода наплавленного металла ( $K_H = 0,82...1,24$ ).

Однієї із завдань, що стоять перед розробниками зварювальних і наплавочних матеріалів, є пошук нових видів сировини для їхнього виготовлення й підвищення продуктивності зварювальних процесів. Одним зі шляхів рішення даного завдання є використання ефекту екзотермічних реакцій шляхом введення до складу використовуваних матеріалів екзотермічних сумішей у вигляді відповідних окислювачів і розкислювачів, при нагріванні й плавленні яких екзотермічний процес протікає до розплавлення электродного стержня. Експериментальними методами встановлено, що введення в покриття электродів екзотермічної суміші до 53,4% збільшує коефіцієнти розплавлення стержня (8,7...11,4 г/А·г), виходу наплавленого (0,93...1,10) і годного металу (0,58...0,68). Підвищення товщини покриття электродів, що містять 44,4% екзотермічної суміші, від 0,5 до 2,6 мм, приводить: до збільшення коефіцієнта наплавлення (10,4...13,4г/А·г), кількості екзотермічної суміші (3,9...27,4 г), відновленого заліза (0,05...0,28 г/с), виходу наплавленого металу ( $K_H = 0,82...1,24$ ).

One of the challenges facing developers of welding and surfacing materials, is search for new types of raw materials for their production and productivity of welding processes. One way to address this problem is to use the effect of exothermic reactions by the introduction of the materials used exothermic mixtures in the form corresponding oxidants and deoxidants, during heating and melting of an exothermic process which takes place before the the melting of the electrode rod. Experimental methods established that the introduction of electrodes coating exothermic mixture to 53,4 % increase in the coefficients of the melting of the rod (8,7...11,4 g/A·h), weld output (0,93...1,10) and the metal yield (0,58...0,68). Increasing the thickness of the electrode coating containing an exothermic mixture of 44,4 % from 0,5 to 2,6 mm leads: increase the deposition rate (10,4...13,4 g/A·h), exothermic quantity of the mixture (3,9...27,4 g), reduced iron (0,05...0,28 g/s), the output of weld metal ( $K_H = 0,82...1,24$ ).

Власов А. Ф.

канд. техн. наук, доц. каф. ОиТСП ДГМА  
sp@dgma.donetsk.ua

Кошевой А. Д.

канд. техн. наук, доц. каф. ОиТСП ДГМА

УДК621. 791.75

**Власов А. Ф., Кошевой А. Д.**

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ИЗДЕЛИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Проблема повышения долговечности машин и оборудования является одной из актуальнейших народнохозяйственных задач. Срок службы быстроизнашивающихся деталей определяет рентабельность дорогостоящего оборудования. Принятие мер по преждевременному износу деталей оборудования и инструмента имеет большое значение во многих отраслях промышленности, особенно в добывающих и перерабатывающих минеральное сырье, теплоэнергетике, производстве огнеупоров, силикатного кирпича, кавитационном, коррозионном, эрозионном воздействии и др.

Интенсификация производственных процессов, увеличение рабочих давлений, скоростей, температуры приводят к ускорению изнашивания деталей, и в сочетании с необходимостью автоматизации производства, делают проблему повышения долговечности быстроизнашиваемых узлов машин еще более острой.

Одним из важнейших направлений решения проблемы ресурсосбережения является разработка экономнолегированных сталей и наплавочных материалов, обеспечивающих повышенные механические и служебные свойства деталей машин и инструментов. Основными структурными классами, на основе которых создаются экономнолегированные высокопрочные стали и сплавы являются: мартенситный, мартенситно-аустенитный, аустенитно-карбидный и др. с использованием недефицитных легирующих элементов: марганца, хрома, кремния, ванадия, различное сочетание и количественное соотношение которых позволяет создавать разнообразные по свойствам и назначению материалы [1, 2] Резкое повышение износостойкости металла также достигается за счёт изменения композиционной структуры [3].

Эффективность использования прессового и штампового оборудования для горячей обработки металлов ограничена недостаточной стойкостью рабочего инструмента, так как он непосредственно соприкасается с нагретым металлом, испытывает значительные механические нагрузки (800...1000 МПа) и существенно зависит от температурного и силового нагружения в процессе эксплуатации [4].

Характерной особенностью наплавленного металла типа инструментальных штамповых сталей является то, что в широком диапазоне скоростей охлаждения в нем исключается перлитное преобразование, и после наплавки образовывается мартенситная структура с небольшим количеством остаточного аустенита. Это очень важно на практике. Независимо от температуры предыдущего подогрева в широком диапазоне режимов наплавки металл имеет мартенситную структуру, высокую твердость и хорошие эксплуатационные свойства.

В зависимости от предназначения наплавленного инструмента (режущий или штамповый) предъявляются различные требования и к механическим свойствам стали, из которой он изготовлен. Регулировать значения данных свойств при использовании одной и той же марки стали возможно, используя различные режимы термической обработки.

Одной из важных отраслей современной сварочной техники является наплавка, при которой наплавленный металл связан с основным металлом весьма прочно и образует одно целое с изделием.

Наплавка – нанесение расплавленного металла на поверхность изделия, нагретую до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом. Толщина слоя от 0,5 мм до 10 мм и более. Это один из наиболее распространенных способов повышения износостойкости и восстановления деталей и конструкций.

Наплавка позволяет создавать биметаллические изделия, у которых высокая прочность и низкая стоимость сочетаются с большой долговечностью в условиях эксплуатации. Многократное повторное восстановление изношенных деталей во много раз уменьшает расход металла для изготовления запасных частей оборудования.

Основное отличие наплавки от сварки – в необходимости обеспечения минимальной глубины проплавления основного металла при высокой производительности расплавления присадочного материала.

Оптимальный состав наплавленного металла выбирается с учетом особенностей его эксплуатации, а электродная проволока, флюс, термический режим наплавки – так, чтобы наплавленный металл обладал необходимым химическим составом и физическими свойствами.

Ручная дуговая наплавка покрытым электродом – способ универсальный, предназначенный для наплавки деталей разной конфигурации во всех пространственных положениях.

Применяемые в настоящее время в промышленности электроды для наплавки характеризуются низкой производительностью (коэффициент наплавки не превышает 8,5...9,5 г/А·ч). Повышение производительности ручной дуговой наплавки и изыскание новых видов сырья для их изготовления является одной из главных задач, стоящих перед разработчиками наплавочных материалов.

Одним из основных путей увеличения производительности ручной дуговой наплавки является введение в состав покрытия электродов железного порошка. При содержании в электродах железного порошка в пределах значений 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 %. Однако удельный вес применяемых в нашей стране «высокопроизводительных» электродов (вследствие необходимости использования в этом случае источников питания с напряжением холостого хода величиной 80 В, дефицитности железного порошка, сложности обеспечения качественного их изготовления в поточных линиях «электродный пресс – конвейерная прокалочная печь» очень мал. Дальнейший рост производства прогрессивных марок электродов также ограничивается дефицитом (как на мировом рынке, так и в нашей стране) ряда сырьевых материалов, таких как рутиловый концентрат, слюда – мусковит, целлюлоза и др.

Высокопроизводительным способом при ремонте деталей машин является наплавка металла пучком электродов. Пучок электродов представляет собой несколько сложенных вместе электродов, скрепленных между собой обвязкой и прихватками (рис. 1, а).

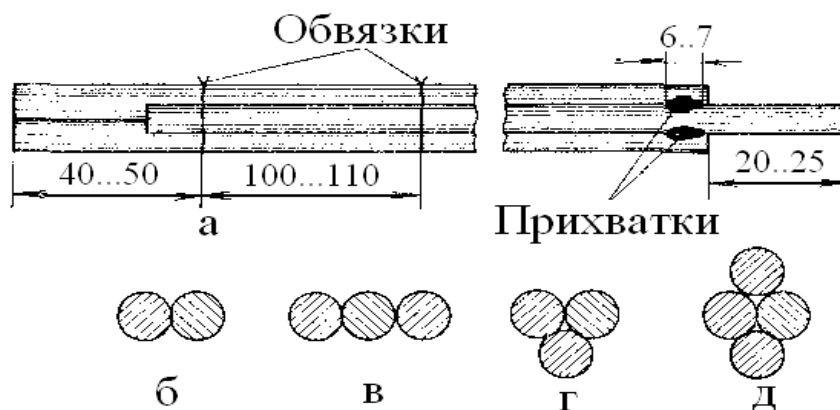


Рис. 1. Пучки электродов:  
а – общий вид; б, в, г, д – вид в разрезе

Количество электродов в пучке бывает 2...4 и зависит от характера наплавочных работ, а также от квалификации и навыков сварщика. При необходимости наплавки низкими и широкими валиками применяют пучки из двух (рис. 1,б) или трех (рис. 1, в) электродов, скомпонованных в ряд. Для наплавки более узкими, но высокими валиками, применяют пучки из трех электродов, скомпонованных треугольником (рис.1, г) или из четырех электродов (рис.1, д).

Один из электродов выдвигают вперед на 20...25 мм (рис. 1,а), чем экономится электродный металл при наплавке, так как у таких пучков после их расплавления остается огарок только от одного электрода длиной 15...20 мм.

Наплавку пучком электродов выполняют на переменном или постоянном токе на режимах, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Режимы наплавки пучком электродов

Параметры	Количество электродов в пучке, шт.							
	2	2	2	3	3	3	4	4
Диаметр электрода, мм	3+3	4+4	5+5	3+3+3	4+4+4	5+5+5	3+3+3+3	4+4+4+4
Сила сварочного тока, А	120...150	180...250	250...300	200...250	230...280	300...350	230...270	280...320

Пучок перемещают прямолинейно по направлению наплавки без поперечных колебательных движений, а положение его по отношению к наплавляемому валику зависит от характера наплавочных работ (рис. 2).

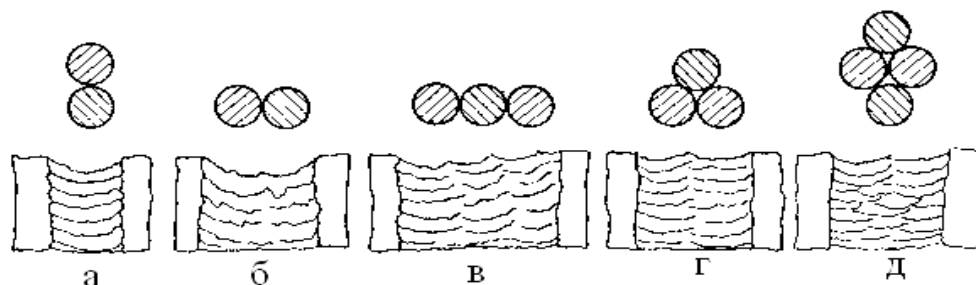


Рис. 2. Расположение пучка электродов при наплавке:

а – наплавка узких валиков двумя электродами; б – наплавка широких валиков двумя электродами; в – наплавка широких валиков тремя электродами; г – наплавка узких валиков тремя электродами; д – наплавка четырьмя электродами

Увеличение производительности наплавочных работ пучком электродов в сравнении с одинарным электродом достигается главным образом за счет более полного использования тепла электрической дуги, применения повышенных сварочных режимов, уменьшения времени, необходимого для смены электродов и зачистки металла от шлака, брызг и налетов оксидов. К недостаткам данного способа необходимо отнести повышенную массу электрододержателя с электродами в процессе наплавки.

Ручная наплавка трехфазной дугой выполняется двумя параллельными и изолированными друг от друга металлическими электродами. Электроды находятся в двухфазном электрододержателе. К месту наплавки подводятся три фазы переменного сварочного тока: два к металлическим электродам, а третья – к наплавляемой детали. Во время наплавки трехфазной дугой одновременно горят три однофазных дуги в одном общем факеле, взаимно влияя

друг на друга, на электроды и на наплавляемую деталь. Это взаимодействие значительно увеличивает производительность наплавочных работ, уменьшает удельный расход электроэнергии и усиливает ионизацию дугового промежутка.

Такой способ наплавки обладает раздельным регулированием силы сварочного тока в каждой фазе. Уменьшая силу тока в наплавляемой детали и увеличивая ее на электродах, получаем наиболее рациональный режим наплавочных работ, при котором проплавление основного металла будет неглубоким, но достаточным для сплавления основного металла с наплавленным, а количество наплавленного металла наибольшим.

Возможность широкого регулирования глубины проплавления металла деталей машин и количества тепла, выделяющегося на этих деталях, создает предпосылки для широкого внедрения ручной наплавки трехфазной дугой легированных сталей, чугуна и цветных металлов.

Наличие в электрододержателе двух групп токоведущих частей усложняет его конструкцию. От совершенства конструкции этого электрододержателя в значительной степени зависит удобство работы и успех внедрения наплавки трехфазной дугой. Скорость наплавки ручной трехфазной дугой в среднем находится в пределах 10...20 м/ч.

Одним из направлений повышения производительности ручной дуговой наплавки является использование эффекта экзотермических реакций путём введения в состав используемых материалов в виде окислителей (окалины, гематита, марганцевой руды и др.) и раскислителей (ферротитана, ферросилиция, алюминиевого порошка и др.) [5–8], при нагреве и плавлении которых протекает экзотермическая реакция до расплавления электродного стержня. При недостаточном количестве в покрытии электродов оксидов железа и элементов-раскислителей для образования экзотермической смеси экзотермический процесс протекает на стадии формирования и переноса капли.

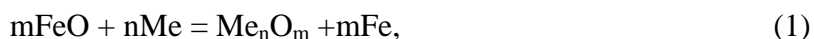
Целью данной работы является исследование влияния количества экзотермической смеси и толщины покрытия электродов на производительность расплавления.

Основной составляющей экзотермических смесей, применяемых в сварочном и металлургическом производстве, является окалина, которая обычно составляет 70...80 массовых процентов экзотермической смеси и от её физико-химических свойств зависит в конечном счете качество металла шва или выплавляемого металла.

Исследования [7, 8] показали, что окалина, являющаяся отходом кузнечно-прессового производства на машиностроительных заводах, содержит, %: 58...63 FeO, 31...36 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и позволяет эффективно использовать эффекты экзотермических реакций.

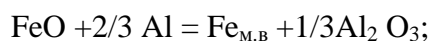
Легирующие элементы: никель, хром, кремний, молибден, вольфрам сосредотачиваются в 3-м слое окалины, примыкающему к неокисленному железу и могут переходить в наплавленный металл в неокисленном виде. Примеси Cr, W, Mn и Si содержатся в окалине в виде оксидов, никель – в металлическом состоянии. Следовательно, наиболее перспективно использование окалины из легированных сталей в покрытиях электродов для выполнения наплавочных работ.

В общем виде взаимодействие элементов-раскислителей с закисью железа можно представить в виде уравнения:



где  $n$  и  $m$  – стехиометрические коэффициенты.

Расчет количества экзотермической смеси и значений стехиометрических коэффициентов взаимодействующих элементов выполним на примере алюминия, беря отношение масс алюминия, восстановленного железа и оксида алюминия к массе закиси железа. При взаимодействии алюминия с закисью железа численные значения стехиометрических коэффициентов будут равны:



$$71,85 + 18 = 55,85 + 34; \quad (2)$$

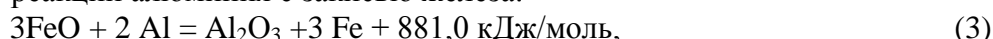
$$Q_{\text{FeO}} + 0,25_{\text{FeO}} = 0,7773 Q_{\text{FeO}} + 0,4727 Q_{\text{FeO}},$$

где  $0,25_{\text{FeO}}$  – количество алюминия необходимого для связывания доли закиси железа;

$0,7773 Q_{\text{FeO}}$  – количество восстановленного железа из доли закиси железа;

$0,4727 Q_{\text{FeO}}$  – количество оксида алюминия, образующегося при взаимодействии алюминия с долей закиси железа.

При введении в покрытие электродов экзотермической смеси выделяется дополнительное количество тепла за счет химической реакции между оксидами железа и элементами – раскислителями. Для реакции алюминия с закисью железа:



энтальпия составит  $\Delta H_{298}^{\text{Al}} = 1674,4 - 3 \cdot 264,5 = 881,0 \text{ кДж/моль}$ ,

где  $-1674,4$  и  $264,5$  – энтальпия оксидов, соответственно,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$ , кДж/моль.

Тепловой эффект от 1 г экзотермической смеси (алюминия и закиси железа) составит:

$$q^{\text{Al}} = \frac{881000}{269,51} = 3268 \text{ Дж/г}, \quad (4)$$

где  $269,51$  – сумма молекулярных масс исходных веществ, г.

Рассчитанные аналогичным образом тепловые эффекты на 1 г экзотермической смеси для реакций титана, кремния и марганца с закисью железа составят:

$$q^{\text{Ti}} = 2171,1 \text{ Дж/г}, \quad q^{\text{Si}} = 2224,7 \text{ Дж/г}, \quad q^{\text{Mn}} = 950,8 \text{ Дж/г} \quad (5)$$

Следовательно, с целью повышения скорости плавления (производительности) электродов более эффективным является введение в состав покрытия электродов экзотермической смеси в виде окалина и алюминиевого порошка. Однако, при необходимости, интенсивность протекания экзотермической реакции можно регулировать за счёт введения в покрытия электродов соответствующих количеств более слабых элементов-раскислителей.

Проведенными исследованиями [9] установлено, что при изменении содержания в покрытии электродов экзотермической смеси, состоящей из окалина и алюминиевого порошка, от 35 до 64% прирост температуры составил  $1280^\circ\text{C}$  и является достаточным для полного расплавления ферросплавов.

Однако до настоящего времени данные о влиянии экзотермической смеси на показатели плавления электродов и распределение тепла, выделяемого при экзотермической реакции, проходящей между электродом и изделием, ограничены [10, 11].

Скорость или производительность плавления электрода, оцениваемая в основном изменением длины или массы расплавленного стержня электрода в единицу времени, является важной характеристикой сварочного процесса и зависит от многих факторов, главными из которых являются: сила сварочного тока, состав покрытия, род и полярность тока.

Большое влияние на коэффициент плавления электрода оказывает состав покрытия. Известно [12, 13], что  $\alpha_{\text{р.ст}}$  существенно зависит от состава покрытия при сварке на прямой полярности и практически не зависит от него при сварке на обратной полярности. Там же указывается, что при сварке на обратной полярности, с увеличением толщины существующих покрытий, уменьшается производительность расплавления электродов. В связи с этим, влияние экзотермической смеси на скорость плавления электродов должно быть особенно заметно при расплавлении их на токе обратной полярности.

Технологические характеристики плавления электродов  $\alpha_n, \alpha_{\text{р.ст}}, V_{\text{пл}}, V_{\text{нок}}$  рассчитывались по нижеприведенным формулам:

$$\alpha_{\text{р.ст}} = \frac{G_{\text{см}} \cdot 3600}{I_n \cdot t}, \quad (7)$$

где  $\alpha_{p.cm}$  – коэффициент расплавления электрода, г/А·ч;

$G_{ст}$  – масса расплавленного электродного стержня, г;

$I_n$  – величина тока наплавки, А;

$t$  – время горения электрода, с.

$$V_{пл} = L_э / t, \quad (8)$$

где  $V_{пл}$  – линейная скорость плавления электрода, мм/с;

$L_э$  – длина расплавившегося электрода, мм.

$$V_{пок} = G_{р.пок} / t, \quad (9)$$

где  $V_{пок}$  – массовая скорость плавления покрытия электрода, г/с;

$G_{р.пок}$  – масса расплавленного покрытия, г.

$$\alpha_n = \frac{G_{н.м} \cdot 3600}{I_n \cdot t}, \quad (10)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/А·ч;

$G_{н.м}$  – масса наплавленного металла, г.

Коэффициент потерь электродного металла на разбрызгивание определяется по формуле:

$$\Psi_{разбр} = \Psi_{общ} - \Psi_{ок}^p - \Psi_{исп}, \quad (11)$$

где  $\Psi_{исп}$  – коэффициент потерь электродного металла на испарение

Коэффициент потерь элементов-раскислителей ( $\Psi_{ок}^p$ ) определяется по формуле:

$$\Psi_{ок}^p = \frac{\sum_{i=1}^{i=K} G_i^p \cdot (1 - \eta_i^p) \cdot \Psi_{общ}}{G_{р.э} \cdot (1 + K_m \cdot p) - G_{н.м.}}, \quad (12)$$

$$G_i^p = q_i^p \frac{100}{100+i} \cdot G_{р.н.} + G_{р.ст} \cdot q_{i ст}^p,$$

где  $G_i^p$  – количество элемента-раскислителя в электроде, г;

$q_i^p$  – содержание элемента-раскислителя в покрытии электродов, г;

$i$  – содержание жидкого стекла в пересчете на сухой остаток, %;

$q_{i ст}^p$  – содержание элемента-раскислителя в электродном стержне, %;

$G_{н.м} = K_m \cdot G_{р.ст}$  – масса расплавленного покрытия, г;

$G_{р.ст}$  – масса расплавленного стержня, г;

$$K_r = \frac{\alpha_n}{\alpha_{р.ст}(1 + K_{п})}, \quad (13)$$

где  $K_r$  – коэффициент выхода годного металла;

$K_{п}$  – коэффициент массы покрытия.

$$K_n = \frac{\alpha_n}{\alpha_{р.ст}}, \quad (14)$$

где  $K_n$  – коэффициент выхода наплавленного металла.

Рассчитанные по приведениям формулам показатели плавления электродов в зависимости от количества экзотермической смеси в покрытии приведены на рис. 3.

Введение в электродные покрытия экзотермической смеси до 53,4 % приводит к увеличению скорости плавления ( $V_{пл} = 17...23$  м/ч) и коэффициентов: наплавки ( $\alpha_n = 8,4...12,5$  г/А·ч), расплавления стержня ( $\alpha_{р.ст} = 8,7...11,4$  г/А·ч) и электрода ( $\alpha_{р.э} = 9,0...13,5$  г/А·ч), наплавленного ( $K_n = 0,93...1,10$ ) и годного металла ( $K_r = 0,58...0,66$ ), потерь элементов-раскислителей ( $\Psi_{ок}^p = 4,8...8,9$  %). Общий коэффициент потерь ( $\Psi = 12,8...13,5$  %) при содержании в покрытии электродов до 20 % экзотермической смеси

возрастает незначительно; при этом, потери электродного металла на разбрызгивание незначительно снижаются ( $\psi_{\text{разбр}} = 7,3 \dots 6,5 \%$ ).

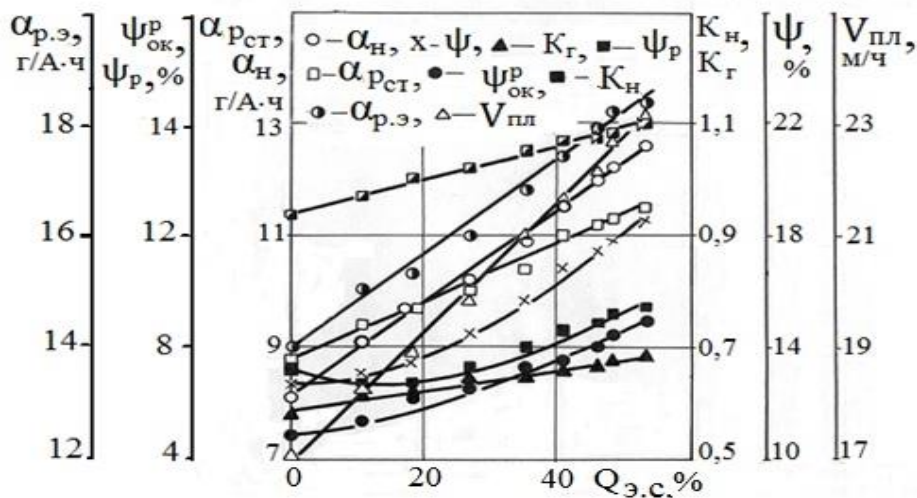


Рис. 3. Показатели плавления электродов в зависимости от количества в покрытии экзотермической смеси  $Q_{э.с.}$

С последующим увеличением содержания в покрытии экзотермической смеси  $\psi_{\text{общ}}$  и  $\psi_{\text{разбр}}$  соответственно возрастает (13,5...18,7 %; 6,5...9,4 %). Снижение потерь на разбрызгивание в указанных пределах содержания экзотермической смеси происходит из-за улучшения сварочно-технологических свойств электродов, наиболее рационального соотношения газошлакообразующей составляющей с остальной частью покрытия и неинтенсивного протекания экзотермической реакции, в результате чего уменьшаются потери на окисление и разбрызгивание восстановленного железа (из-за его незначительного количества). Последующее увеличение содержания в покрытии экзотермической смеси приводит к интенсификации экзотермической реакции, увеличению восстановленного железа и потерь на его окисление и разбрызгивание.

Для определения влияния толщины покрытия электродов с экзотермической смесью на показатели их плавления изготавливались электроды с диаметром стержня 5,0 мм и толщиной покрытия 0,5...2,6 мм, что соответствовало изменению коэффициента массы покрытия от 0,17 до 1,14. Количество экзотермической смеси в исследуемых электродах составляло 44,4 % от массы покрытия. На рис. 4 представлены графические зависимости показателей плавления электродов с экзотермической смесью от толщины покрытия электродов.

Повышение толщины покрытия электродов приводит к увеличению количества экзотермической смеси (3,9 ... 27,4 г), восстановленного железа (0,05...0,28 г/с), коэффициентов наплавки ( $\alpha_n = 10,4 \dots 13,4$  г/А·ч), выхода наплавленного металла ( $K_n = 0,82 \dots 1,24$ ) и потерь элементов-раскислителей ( $\psi_{\text{ок}}^p = 3,0 \dots 13,7 \%$ ); к снижению коэффициентов расплавленного стержня ( $\alpha_{p.ст} = 12,8 \dots 10,5$  г/А·ч), выхода годного металла ( $K_g = 0,71 \dots 0,58$ ) и потерь электродного металла на разбрызгивание ( $\psi_{\text{разбр}} = 20,8 \dots 6,2 \%$ ).

Пропорциональное снижение потерь электродного металла на разбрызгивание при увеличении толщины покрытия электродов от 0,5 до 1,6 мм ( $K_n = 0,17 \dots 0,62$ ) происходит из-за улучшения сварочно-технологических и других свойств электродов в данном диапазоне толщин.



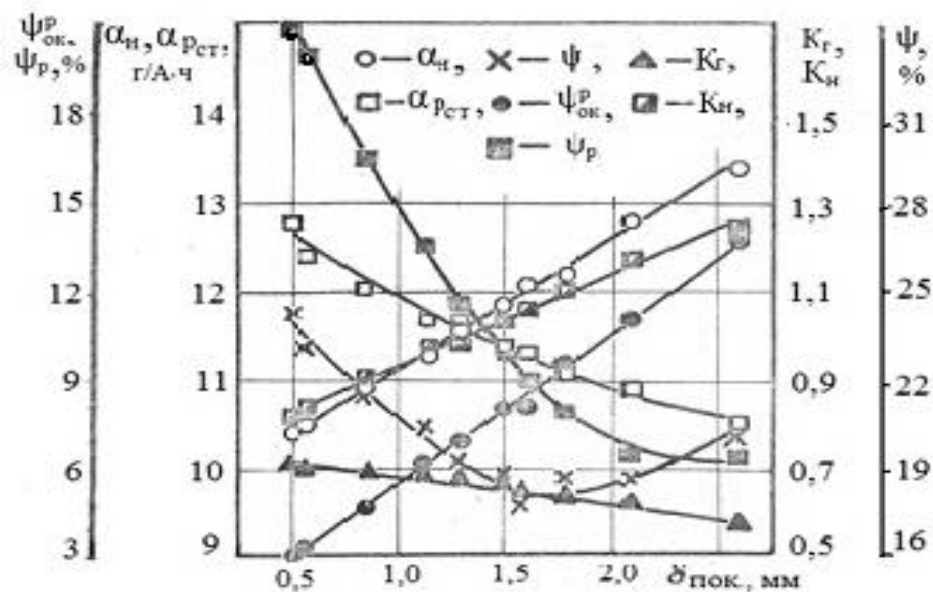


Рис. 6. Показатели плавления электродов в зависимости от толщины покрытия

Дальнейшее повышение толщины покрытия в меньшей степени оказывает влияние на уменьшение разбрызгивания вследствие увеличения втулочки на торце электрода и ухудшения стабильности горения дуги. Аналогичная зависимость (при указанных толщинах покрытия) у коэффициента потерь ( $\psi = 24,3 \dots 8,3 \%$ ) из-за преобладающего влияния снижения потерь электродного металла на разбрызгивание. При дальнейшем увеличении толщины покрытия  $\psi$  увеличивается ( $18,3 \dots 19,4 \%$ ) из-за преимущественного влияния потерь элементов-раскислителей и ухудшения стабильности горения дуги вследствие образования втулочки на торце электрода.

Несмотря на снижение количества расплавленного стержня, с увеличением толщины покрытия электродов, количество наплавленного металла увеличивается, что возможно только при условии интенсивного восстановления железа из его оксида. Уменьшение же  $\alpha_{\text{п.ст.}}$  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 ( $0,18 \dots 1,03$  г/с). Кроме того, часть тепла покрытию передается от стержня, вследствие чего снижается нагрев стержня и его скорость плавления. 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 плавления покрытия электродов.

Из приведенного следует, что электроды с экзотермической смесью в покрытии наиболее целесообразно использовать при наплавке. Коэффициент наплавки электродов, содержащих в покрытии 44,4% экзотермической смеси составляет  $11,8 \dots 12,5$  г/А·ч; скорость плавления –  $21,5 \dots 25$  м/ч; оптимальная сила сварочного тока, из-за повышенной скорости плавления и отсутствия перегрева в процессе наплавки, для электродов диаметром 5,0 мм – 300 А.

Состав и свойства наплавленного металла (слоя) зависят от условий эксплуатации изделия, и его выбор является сложной задачей, так как износ протекает по-разному в зависимости от условий работы. Наплавленный материал выбирается с учетом ведущего вида износа при эксплуатации, которому уделяется основное внимание.

В настоящее время наибольшее практическое значение имеет классификация наплавленного металла по химическому составу и структурным признакам. Характерные структуры, твердость и назначения наплавленного металла применительно к изделиям, работающим при высоких температурах, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав, твердость и назначение наплавленного металла разных типов

Группа	Тип	Химический состав, %	Твердость	Структура	Назначение
1	2	3	4	5	6
2	Нелегированные и низколегированные стали, > 0,4 % С	C > 0,4, Si ≤ 1,0, Ni ≤ 3,0, Mn = 0,5...3,0, Cr ≤ 3,0, Mo ≤ 1,0	52...60 HRC	Мартенсит, остаточный аустенит, игольчатый троостит и карбиды	Наплавка инструмента для горячего и холодного деформирования металла, рабочих органов дорожных и строительных машин
3	Хромовольфрамовые, хромомолибденовые и другие теплостойкие инструментальные стали	C = 0,2...0,5, Si ≤ 1,0, Ni ≤ 5,0, V = 0,2...1,5, Mn ≤ 0,2, Cr = 1,0...5,0, W = 1,0...10,0, Mo ≤ 1,0	52...60 HRC	Мартенсит, остаточный аустенит и карбиды	Наплавка деталей металлургического оборудования, работающего в условиях циклических теплосмен, переменных силовых нагрузок (валки горячей прокатки, ножи горячей резки, штампы горячей штамповки, ролики рольгангов)

В условиях эксплуатации наплавленного изделия при высоких температурах наплавленный металл должен иметь и высокую теплостойкость вместе с высокой износостойкостью. Это достигается дополнительным легированием сильными карбидообразующими элементами – вольфрамом, молибденом, ванадием. Распространены сплавы мартенситно-карбидного класса Fe – C – Cr – W (группа 3, табл. 2).

К теплостойкому наплавленному металлу группы 3 можно отнести и экономно легированный (безвольфрамовый) наплавленный металл Х5МФ. Такой наплавленный металл принадлежит к мартенситно-карбидному классу, но в зависимости от конкретных условий наплавки и дальнейшей термической обработки матрица может иметь структуру бейнита, троостита, сорбита и перлита закалки, а также структуру продуктов распада мартенсита – троостита отпуска или сорбита отпуска.

Электроды для наплавки выбираются в зависимости от технологии наплавки и условий работы наплавленного металла. Свойства наплавленного металла зависят от предварительного подогрева, методов наплавки, погонной энергии, условий охлаждения, массы и химического состава, термической обработки. Поэтому при наплавке одними и теми же электродами, можно получить металл, обладающий различными свойствами. Необходимые свойства обеспечиваются соответствующей системой легирования.

Для наплавки рассматриваемой номенклатуры изделий рекомендуются электроды: ОЗШ-1, ОЗШ-2, ОЗШ-6, ЦН-14, КПИ ГШ-1(штампы для горячей штамповки) и ОЗИ-3, ОЗИ-4, ОЗИ-5, ЦИ-1М, КПИ РИ-1 (высокое давление, удары, скольжение, окислительная атмосфера, теплосмены, штампы горячей штамповки).

## ВЫВОДЫ

1. Введение в покрытие электродов экзотермической смеси до 53,4% увеличивает коэффициенты: наплавки ( $\alpha_n = 8,4 \dots 12$  г/А·ч), расплавления стержня (8,7...11,4 г/А·ч), выхода наплавленного (0,93...1,10) и годного металла (0,58...0,68), скорости плавления электродов ( $V_{пл} = 17 \dots 23$  м/ч).

2. Повышение толщины покрытия электродов, содержащих 44,4% экзотермической смеси, от 0,5 до 2,6 мм (изменение  $K_m$  от 0,17 до 1,14) приводит: к увеличению количества экзотермической смеси (3,9...27,4 г) и коэффициента наплавки (10,4...13,4 г/А·ч), к пропорциональному увеличению выхода наплавленного металла (0,82...1,24); к снижению значений коэффициентов расплавления стержня (12,8...10,5 г/А·ч), выхода годного металла (0,71...0,58) и потерь электродного металла на разбрызгивание (20,8...6,2 %).

3. Введение в покрытие электродов экзотермической смеси повышает скорость расплавления электродов за счет: увеличения тепловой мощности дуги (0...12 %); тепла, выделяющегося при протекании экзотермической реакции (0...11,5 %); снижения затрат на плавление газошлакообразующей части покрытия и улучшения технологических характеристик дуги.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавочного металла с мартенситными превращениями / Л. С. Малинов // Тезисы докладов научного семинара «Современные достижения в области сварки, наплавки и родственных технологий». Отв. редактор В. А. Роянов. – Мариуполь : 2000. – С. 86–90.

2. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные стали и чугуны с мартенситными превращениями и наплавочные материалы на их основе / Л. С. Малинов // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр. – Вип. 5. – Мариуполь, 2000. – С. 238–244.

3. Лецинский Л. К. Работоспособность макронеоднородного наплавленного металла / Л. К. Лецинский, С. С. Самотугин, В. П. Лаврик // Тезисы докладов Международной научно-методической конференции «Современные проблемы сварки и родственных технологий, совершенствование подготовки кадров». Отв. редактор В. А. Роянов. – Мариуполь : ПГТУ, 2001. – С. 44–45.

4. Кошевой А. Д. Повышение износостойкости рабочих поверхностей пресового инструмента / А. Д. Кошевой, В. А. Пресняков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : зб. наук. пр. – Краматорськ-Словянськ, 2000. – С. 473–476.

5. Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, А. М. Куций // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6. – С. 151–154.

6. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки / И. С. Иоффе [и др.] // Сварочное производство. – 1980. – №3. – С. 26–28.

7. Власов А. Ф. Применение окалины в электродном производстве / А. Ф. Власов, В. М. Карпенко // Сварочное производство. – 1982. – №2. – С. 6–8.

8. Физико-химические свойства окалины как компонента экзотермической смеси в сварочных материалах / А. Ф. Власов [и др.] // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – №3(5). – С. 158–163.

9. Власов А. Ф. Экспериментальное определение экзотермического процесса, протекающего при нагреве и плавлении электродов / А. Ф. Власов, В. М. Карпенко, А. И. Леценко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – №2(4). – С. 65–68.

10. Власов А. Ф. Технологические характеристики электродов с экзотермической смесью в покрытии для наплавки инструментальных сталей / А. Ф. Власов, А. М. Куций // Сварочное производство. – 2011. – №4. – С. 10–15.

11. Власов А. Ф. Нагрев и плавление электродов при наличии экзотермической смеси в покрытии / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко. – Сборник научных трудов НУК. – Николаев, 2014. – С. 84–88.

12. Мазель А. Г. Технологические свойства электросварочной дуги / А. Г. Мазель. – М. : Машиностроение, 1969. – 178 с.

13. Мацкевич В. Д. Виктор Петрович Вологдин / В. Д. Мацкевич // Сварочное производство. – 1983. – № 9. – С. 1–2.