

УДК 621. 791.G21.73

Куций А. М.

### ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СМЕСИ И ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИХ ПЛАВЛЕНИЯ

Определению эффективных КПД нагрева изделия и электрода, а также теплосодержания электродного металла и шлака посвящено ряд работ [1–5]. Однако исследователями до настоящего времени не изучен вопрос распределения тепла, выделяемого при экзотермической реакции между электродом и изделием. Проведенные исследования показывают, что введение в покрытие экзотермической смеси увеличивает скорость расплавления электрода за счет увеличения тепловой мощности дуги; тепла, выделяющегося при протекании экзотермической реакции; снижения затрат на плавление покрытия и улучшения технологических характеристик дуги.

О роли алюминия на повышение производительности расплавления электродов среди исследователей нет единого мнения [1, 7, 8]. Одни из них [1], учитывая, что с введением в покрытие алюминия повышается напряжение дуги, увеличение  $\alpha_{p.ct}$  связывали с повышением катодного падения напряжения ( $U_k$ ). А.А. Ерохин [9] считает, что повышение  $\alpha_{p.ct}$  происходит значительно большее, чем это могло бы быть за счёт теплового эффекта алюмотермических реакций. Там же отмечается, что увеличение  $\alpha_{p.ct}$ , легче объяснить, предположив, что существенную роль играет эмиссия электронов с катода.

В работе [7] указывается, что скорость плавления стержня для одного и того же покрытия практически не зависит от напряжения дуги при постоянной силе тока. А. Г. Мазель [2] отмечает, что  $\alpha_{p.ct}$  не может рассматриваться как постоянная величина. Он зависит от эмиссионных характеристик катода дуги, скорости плавления электрода, количества тепла, затрачиваемого на диссоциацию, испарение и плавление покрытия и подогрева электрода током.

В работе [8] указывается, что вещества, характеризующиеся наименьшей внутренней энергией ( $K_2O$ ,  $BaO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ) ионизируются с меньшей затратой энергии, а вещества с большей величиной внутренней энергии ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и  $MnO_2$ ), содержание которых повышается с увеличением экзотермической смеси, требуют для своего разложения на ионы большего количества энергии и способствуют повышению мощности дуги и соответственно увеличению скорости плавления электродов. Выведем формулы, удобные для расчёта теплового эффекта экзотермической реакции при плавлении электродов, содержащих экзотермическую смесь в покрытии.

Целью исследований являлся анализ количества теплоты дуги и химических реакций, а также к.п.д. электрода и изделия в зависимости от толщины покрытия электрода и количества экзотермической смеси в покрытии при сварке высокопроизводительными электродами.

Тепловой эффект экзотермической реакции от взаимодействия элементов-раскислителей с оксидом железа может быть определен по формуле:

$$Q_{хим} = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{G_{p.cm}}{t} K_M \frac{Q_{iэ.с}}{100} q_{iэ.с}, \text{ Дж/с}, \quad (1)$$

где  $Q_{iэ.с} = Q_{э.с}^{Al}$ ,  $Q_{э.с}^{Ti}$ ,  $Q_{э.с}^{Si}$ ,  $Q_{э.с}^{Mn}$  – количество экзотермической смеси в покрытии электрода при взаимодействии  $i$ -го элемента – раскислителя с оксидом железа, %.

Подставляя в формулу (1) значения  $G_{p.cm} = \frac{\alpha_{p.ct} \cdot I_{св} \cdot t}{3600}$ ,  $I_{св} = 290A$ ,  $t = 1$  с (одинаковые для исследуемых электродов), получим

$$Q_{хим} = 0,08 K_M \alpha_{p.cm} \sum_{i=1}^{i=k} Q_{iэ.с} q_{iэ.с}, \text{ Дж/с}. \quad (2)$$

Тепловые эффекты (Дж/с) экзотермических реакций от взаимодействия 1% оксида железа с элементами-раскислителями, могут быть рассчитаны по формулам

$$Q_{\text{хим}}^{\text{Al}} = 1,971 \alpha_{\text{р.ст}}; Q_{\text{хим}}^{\text{Ti}} = 1,398 \alpha_{\text{р.ст}}; Q_{\text{хим}}^{\text{Si}} = 1,285 \alpha_{\text{р.ст}}; Q_{\text{хим}}^{\text{Mn}} = 0,812 \alpha_{\text{р.ст}}. \quad (3)$$

Определение влияния количества экзотермической смеси и толщины покрытия электродов с экзотермической смесью на нагрев изделия и плавление электрода производилось методом калориметрирования.

Для исследований изготавливались электроды с диаметром стержня 5,0 мм в двух вариантах: в одном – с различным содержанием в покрытии экзотермической смеси при постоянном значении  $K_m$ , а в другом – с различной толщиной покрытия (0,5...2,6 мм, что соответствовало изменению  $K_m$  от 0,17 до 1,14) при неизменном количестве в покрытии экзотермической смеси (44,4%). Данными электродами на пластины (10x80x120 мм) с хвостовиками, предварительно установленные на теплоизолированную подставку, производилась наплавка валиков на постоянном токе обратной полярности. В качестве источника питания использовался сварочный преобразователь ПС-500 с балластными реостатами типа РБ-300. Наплавка каждого образца производилась в течение 20 с. Время плавления электрода определялось с помощью секундомера. Средние значения сварочного тока и напряжения дуги определялись по самопишущим приборам, а температура нагревания воды – термометром с точностью до 0,05°C. На каждый состав электродов производилось 3–5 замеров.

Количество тепла, вводимого в образец, определялось по данным работы [10] с учётом теплосодержания шлака:

$$Q = [m_{\text{в}}(T_{\text{м}} - T_{\text{о}}) + m_{\text{л}}c_{\text{л}}(T_{\text{м}} - T_{\text{о}}) + m_{\text{с}}c_{\text{с}}(T_{\text{м}} - T_{\text{о}}) + m_{\text{обр}}c_{\text{с}}(T_{\text{м}} - T_{\text{о}}) + Q_{\text{п}}] \cdot 1,02 + m_{\text{шл}}S_{\text{шл}}. \quad (4)$$

Эффективный к.п.д. нагрева образца  $\eta$  определялся по формуле:

$$\eta = \frac{q}{Q_{\text{д}} + Q_{\text{хим}}}, \quad (5)$$

где  $q = \frac{Q}{t_{\text{н}}}$  – эффективная тепловая мощность источника нагрева, Дж/с;  $t_{\text{н}}$  – время наплавки, с;  $Q_{\text{д}} = I_{\text{св}}U_{\text{д}}$  – тепловая мощность дуги, Дж/с.

Эффективный к.п.д. нагрева электрода  $\eta_{\text{э}}$  рассчитывался исследователями по-разному. В данной работе  $\eta_{\text{э}}$  рассчитывался с учетом тепла, выделяющегося при протекании экзотермической реакции:

$$\eta_{\text{э}} = \frac{V_{\text{пл}}K_{\text{э}}}{Q_{\text{д}} + Q_{\text{хим}}}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{пл}}$  – линейная скорость плавления электрода, см/с;  $K_{\text{э}} = 4,187[m_{\text{э}}(0,179T_{\text{ср}} + 500K_{\text{м}} - 9,6) + K_{\text{э}}^{\text{хим}}]$  – удельные затраты теплоты на плавление 1 см электрода с покрытием, Дж/см;  $T_{\text{ср}}$  – средняя температура капель, К;  $m_{\text{э}}$  – масса 1 см электродного стержня, г;  $K_{\text{э}}^{\text{хим}}$  – удельные затраты теплоты экзотермической реакции на плавление 1 см электрода с покрытием, Дж/см.

Исследования показали, что при сварке наиболее высокая температура капель наблюдается у электродов с окислительным покрытием, что объясняется экзотермическим характером реакций, протекающих при плавлении покрытий данного типа.

Температуру капель, отделяющихся с электрода, определяли по формуле [4] с учётом данных А.А. Ерохина о средней энтальпии капель при расплавлении проволоки Св-08А на обратной полярности при  $I_{\text{св}} = 290$  А ( $\Delta H = 1850$  Дж/г):

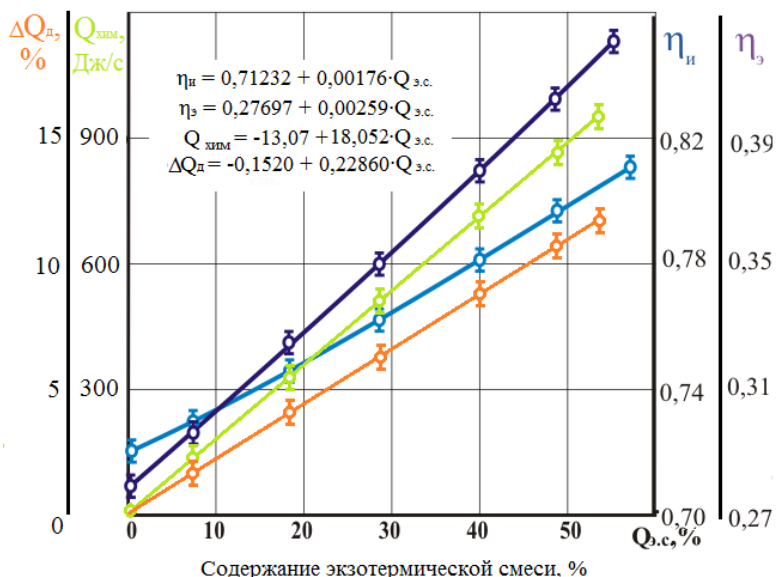
$$T_{\text{ср}} = 1798 + \frac{\Delta H - 1330}{0,92}, \text{ К}, \quad (7)$$

где  $\Delta H$  – энтальпия капель, Дж/г.

Значение эффективных к.п.д. нагрева электрода ( $\eta_{\text{э}}$ ) и основного металла ( $\eta_{\text{и}}$ ) и связанных с ними характеристик, в зависимости от количества экзотермической смеси и толщины покрытия электродов, рассчитанные по формулам (5, 6), приведены на рис. 1 и 2.

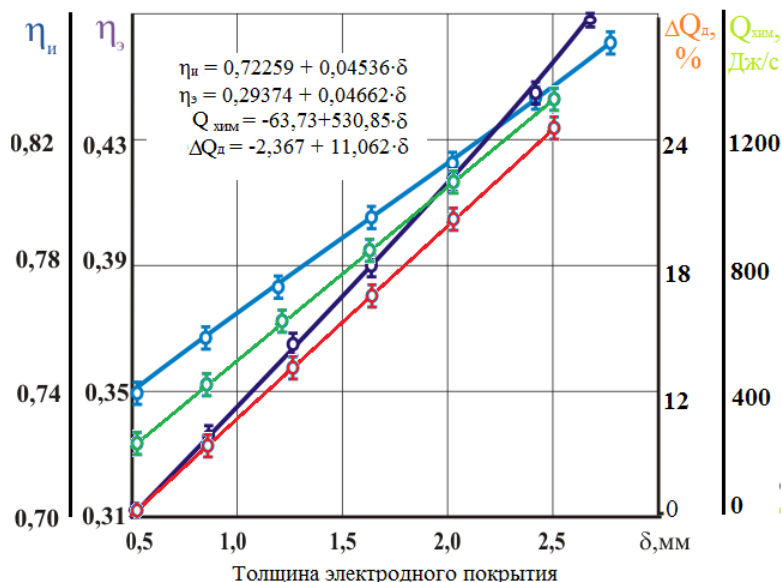
Введение в состав покрытия электродов экзотермической смеси до 53,4% (рис. 1) изменяет  $\eta_u$  от 0,715 до 0,815 и  $\eta_э$  от 0,28 до 0,415; при этом изменение носит прямопропорциональный характер.

Влияние толщины покрытия электродов ( $\delta_{пок}$ ) на технологические характеристики их плавления приведено на рис. 2.



$Q_{хим}$ ,  $Q_д$  – теплоты химической реакции и дуги, %;  $\eta_э$  – эффективный к.п.д. нагрева электрода;  $\eta_u$  – эффективный к.п.д. нагрева изделия

Рис. 1. Влияние количества экзотермической смеси в покрытии электродов ( $Q_{э.с}$ ) на тепловые и другие характеристики их плавления



$Q_{хим}$ ,  $Q_д$  – теплоты химической реакции и дуги, %;  $\eta_э$  – эффективный к.п.д. нагрева электрода;  $\eta_u$  – эффективный к.п.д. нагрева изделия

Рис. 2. Влияние толщины покрытия электродов ( $\delta_{пок}$ ) на тепловые характеристики их плавления

## ВЫВОДЫ

1. Определено, что увеличение количества наплавленного металла ( $q_{н.м}^k=10,5...21,0\text{г}$ ) и тепловой мощности дуги ( $\frac{\Delta Q_{ид}}{Q_{1д}} = 0 \dots 12 \%$ ) при почти одинаковом количестве шлака на пластине показывает, что дополнительный нагрев пластины происходит в основном за счёт увеличения количества электродного металла за один и тот же промежуток времени и за счет увеличения тепловой мощности дуги. Введение в покрытия электродов экзотермической смеси при одном и том же коэффициенте массы покрытия увеличивает количество расплавленного стержня ( $q_{р.ст.}^k=14,0...19,0\text{ г}$ ) и покрытия ( $q_{р.л.}^k = 8,5...11,4\text{ г}$ ) за счёт повышения тепловой мощности дуги и тепла, выделяющегося при протекании экзотермической реакции.

2. Показано, что изменением толщины покрытия электродов от 0,5 до 2,6 мм повышается содержание экзотермической смеси; увеличивается количество тепла ( $\frac{Q_{хим}}{Q_{д}} = 3...17\%$ ) и восстановленного железа при протекании экзотермической реакции; количество наплавленного металла и шлака на основном металле при калориметрировании повысилось, соответственно, с 17,5 до 21,0 г и от 2,0 до 13,0 г, что привело к изменению  $\eta_i$  от 0,74 до 0,84; пропорциональное повышение  $\eta_s$  от 0,31 до 0,47, несмотря на снижение их скорости плавления, происходит из-за увеличения тепловой мощности дуги и удельных затрат теплоты ( $K_s + K_s^{хим}$ ) на плавление электрода.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.Ф. Влияние количества экзотермической смеси на нагрев изделия, электрода и показатели плавления / А.Ф. Власов, В.М. Карпенко // *Прогрессивные методы сварки в тяжелом машиностроении и наплавки в черной металлургии*. – Жданов: ЖдМИ. – 1977. – С.59–60.
2. Новожилов Н.М. Количество и состав металлических включений в металле швов при дуговой сварке / Н.М. Новожилов, А.М. Соколова // *Сварочное производство*. – 1963. – №6. – С.16–19.
3. Власов А.Ф. Тепловые характеристики электродов с экзотермической смесью в покрытии для наплавки инструментальных сталей / А. Ф. Власов // *Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития. Материалы II междунар. науч.-техн. конф. 05-08 октября 2010*. – Краматорск : ДГМА, 2010. – С.27–29.
4. Карпенко В. М. Показатели плавления сварочных электродов с экзотермической смесью в покрытии / В. М. Карпенко, А. Ф. Власов, Г. Б. Билык // *Сварочное производство*. – 1980. – № 9. – С.23–25.
5. Власов А.Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А.Ф.Власов, Н. А. Макаренко, А.М.Куций // *Автоматическая сварка*. – Киев, 2014. – №6-7. – С.151–154.
6. Носков И.Г. Применение комплексных сплавов в электродных покрытиях взамен железного порошка / И.Г. Носков // *Автоматическая сварка*. – №3. – С.76–79.
7. Брук Б.И. Определение коэффициентов перехода элементов при сварке с помощью радиоактивных изотопов.
8. Брюханов А. Н. Конструирование и расчет штампов / А. Н. Брюханов, А. В. Ребильский. – М.: Машигиз, 1952. – 664 с.
9. Использование изотермических ферросплавов для раскисления и легирования стали в ковше / Е. И. Исаев, Ю. И. Леусов, М. А. Таранай, Я. П. Янкилевич // *Металлургия и коксохимия*. – №14. – 1968. – С. 24–27.
10. Сравнительная гигиеническая оценка некоторых марок электродов / В. С. Виноградова, А. Т. Короткова, Б. Д. Зейгельзефер, З. К. Титинер // *Сварочное производство*. – 1973. – №10. – С. 48–49.