

УДК 621. 791.621.73

Власов А. Ф., Цветков А. И., Гринь В. А.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ В СВАРОЧНОМ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Одной из главных задач, решаемых при совершенствовании сварочных и электрошлаковых процессов, является повышение их производительности и изыскание новых видов сырья для их осуществления. Одним из направлений решения данной задачи является использование эффекта экзотермических реакций путём введения в состав сварочных материалов экзотермических смесей в виде соответствующих окислителей (окалины, гематита, марганцевой руды и др.) и раскислителей (ферротитана, ферросилиция, алюминиевого порошка и др.) [1–3].

Существующие электрошлаковые процессы (электрошлаковая сварка, электрошлаковый переплав, электрошлаковое литьё) осуществляются на твердом или жидком старте. При твердом старте расплавление рабочего флюса, наведение шлаковой ванны необходимого объема осуществляется в дуговом режиме. Данный способ характеризуется нестабильностью (частыми короткими замыканиями), неравномерным и длительным расплавлением флюса (низкой производительностью).

Электрошлаковое литьё крупных заготовок осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием жидкого старта путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше по сравнению с твердым стартом.

Целью настоящей работы является исследование влияния экзотермической смеси (физико-химических свойств окалины как компонента экзотермической смеси) на повышение производительности сварочных и электрошлаковых процессов путем применения экзотермических металлофлюсовых смесей, проводящих электрический ток в твердом состоянии.

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 наплавленного металла.

На машиностроительных и металлургических заводах окалина является отходом кузнечно-прессового и прокатного производства. Исследования [4] показали, что окалина, образовавшаяся при прокатке металла, практически состоит из 2-х слоёв – вюстита FeO (92...95 %) и магнетита Fe_3O_4 (5...8 %).

Окалина кузнечно-прессового производства состоит из смеси 3-х оксидов железа [5], соотношение между которыми зависит в основном от условий её получения: от технологического процессаковки, марки проковываемой стали, температуры и времени образования. Закись железа по сравнению с другими оксидами железа содержит наименьшее количество кислорода и имеет самую низкую температуру плавления (табл. 1).

Проведенные в академии исследования [6] показали, что состав окалины в зависимости от марки проковываемой стали изменяется в достаточно узких пределах. Величина суммарного кислорода, рассчитанного по его содержанию в FeO и Fe_2O_3 , изменяется в узких пределах (23,4...23,8 %). Такие элементы как Mn и Si окисляются практически полностью, и содержание их оксидов в окалине находится в расчетных пределах, а содержание оксидов Ni, Cr, Mo, V – меньше их нижнего предела. Следовательно, эти элементы в процессе нагрева иковки окислялись не полностью, в окалине они находятся также и в неокисленном виде. Таким образом, окалины, взятые послековки заготовок из легированных сталей, могут быть

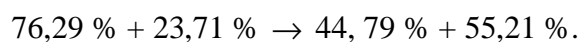
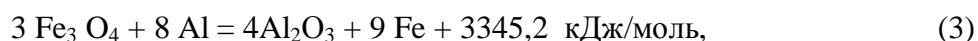
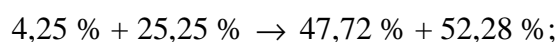
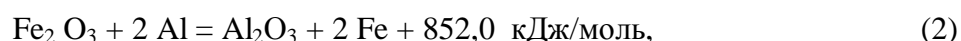
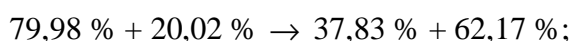
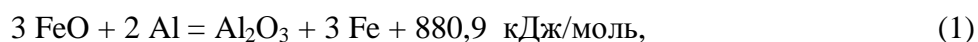
раціонально використані при наплавці і сварці низко і високолегірованих сталей при необхідності легірування металу шва указаними елементами без введення відповідного їх кількості в вигляді ферросплавів або металічних порошків.

Таблиця 1

Фізическіє свійства окислів заліза

Оксид заліза	Маса молекули, г	Маса кислорода в оксиді, г	Кристаллічеська решітка	Температура плавлення, °С	Плотність, г/см ³
FeO	71,85	22,27	кубічеська	1370	5,28
Fe ₃ O ₄	231,55	27,64	кубічеська	1527	5,20
Fe ₂ O ₃	159,70	30,06	гексагональня	1565	5,12

При взаємодії алюмінія з оксидами заліза протікають наступні екзотермічеськіє реакції:



Из сравнения результатов реакций (1–3) следует:

- для протекания экзотермических реакций (1 и 2) требуется соответственно наименьшее и наибольшее количество алюминия;
- наибольшее количество железа восстанавливается при использовании закиси железа;
- наибольшее количество тепла выделяется при взаимодействии алюминия с оксидом железа, а наименьшее – с закисью железа;
- промежуточное положение по количеству восстановленного железа и выделяемого тепла занимает оксид закиси железа Fe₃O₄.

Следовательно, наиболее перспективно использование окалины, полученной в прокатном производстве. Окалина на машиностроительных заводах является отходом кузнечно-прессового производства, содержит 58...63 % FeO, 31...36 (Fe₂O₃ + Fe₃O₄) и позволяет так же эффективно использовать эффекты вышеприведенных трех реакций.

При термитной сварке стремятся к достижению более высоких температур, поэтому термитные смеси изготавливаются на основе окиси железа. Применительно же к дуговой сварке, особенно ручной, нежелателен перегрев электродного металла из-за образования крупнозернистой структуры и снижения его пластических свойств; поэтому, целесообразно применение в электродных покрытиях экзотермических смесей на основе закиси железа.

Таким образом, для изготовления сварочных материалов общего назначения с экзотермической смесью, в принципе, может быть использована окалина от любой проковываемой низколегированной конструкционной стали, прошедшая через сито с 567 отв/см² и оставшаяся на сите с 3460 отв/см² без дополнительной проковки. При необходимости использования окалины от средне – и высоколегированных сталей должен производиться более тщательный отбор их, не допуская смешивания окалины из различных марок сталей.

Использование окалины в покрытиях сварочных электродов общего назначения показало, что она на качество металла шва отрицательного влияния не оказывает, так как содержание окислов Cr_2O_3 , SiO_2 , NiO , MoO_3 , V_2O_5 в ней не превышает 1...1,5 % при содержании в электродных покрытиях до 50 масс. % окалины.

В результате проведенных исследований были разработаны электроды с экзотермической смесью в покрытие для сварки сталей марок СтЗпс, СтЗсп, 09Г2С и 10ХСНД. Усреднённые данные механических свойств и химического состава металла швов, содержание в них газов и неметаллических включений, выполненных различными партиями разработанных электродов, показали, что они полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ 9467-75 к электродам типов Э46(ЭТ-3), Э50А (ЭТ-2) и Э60 (ЭТ-4) [7].

На рис. 1 и 2 приведены результаты влияния экзотермической смеси на показатели расплавления исследованных электродов. Расплавление электродов ($d_{ст} = 5,0$ мм) с экзотермической смесью в покрытие производилось при силе сварочного тока 290А и напряжении холостого хода источника питания 60 В. Из рис. 1 следует, что влияние эффекта экзотермической реакции на показатели плавления электродов начинает сказываться при содержании в покрытии свыше 30 % окалины (35 % экзотермической смеси). При содержании покрытия электродов окалины в пределах 58 % по сравнению с электродами, содержащими такое же количество железного порошка, скорость плавления электродов увеличилась на 20 %, массовая скорость плавления покрытия – на 34 %, коэффициент расплавления электродов – на 14 %, а коэффициент наплавки – на 10 %.



Рис. 1. Показатели плавления электродов в зависимости от содержания в покрытии окалины или железного порошка

Влияние толщины покрытия электродов (0,5...3,3 мм) на показатели плавления исследованных электродов представлено на рис. 2, из которого следует, что их значения при одних и тех же условиях выше при наличии в покрытии экзотермической смеси.

Повышение толщины покрытия электродов приводит к увеличению количества экзотермической смеси, восстанавливаемого железа, коэффициента наплавки (10,4...13,4 г/А·ч), к снижению коэффициента расплавления стержня (12,8...10,5 г/А·ч). Не смотря на снижение количества расплавляемого стержня с увеличением толщины покрытия электродов, количество наплавленного металла увеличивается, что возможно только при условии интенсивного восстановления железа из его оксидов. Уменьшение $a_{р.ст}$ с увеличением толщины покрытия электродов, указывает на то, что теплота, образующаяся при протекании экзотермической реакции, расходуется в основном на плавление покрытия, увеличивая его массовую скорость

плавления ($V_{\text{пок}}$). Кроме того, часть тепла покрытию передается от стержня при протекании по нему тока дуги, вследствие чего снижается его подогрев и скорость плавления. Так как процентное содержание экзотермической смеси в исследованных электродах было одинаково, а изменялось её массовое количество, то происходило лишь увеличение восстанавливаемого железа из его окислов, повышение скорости расплавления покрытия электродов и электродов в целом.

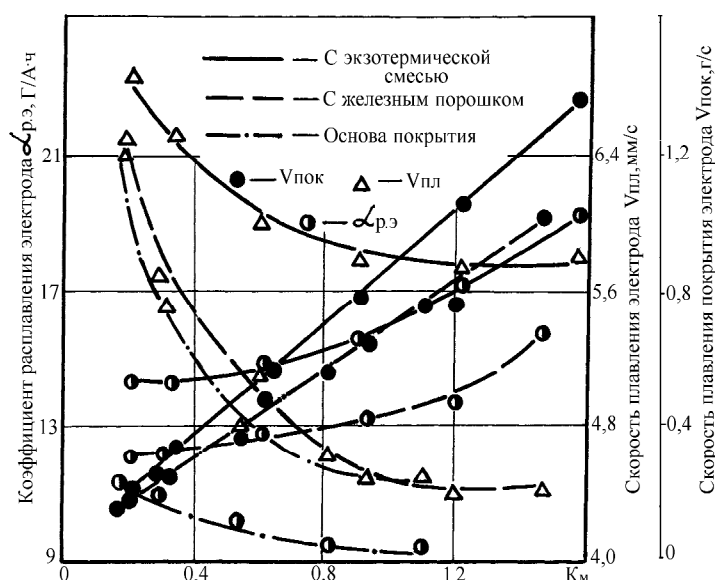


Рис. 2. Показатели расплавления электродов в зависимости от коэффициента массы покрытия K_m ($d_{\text{ст}} = 5$ мм, $I_{\text{св}} = 290$ А, $U_{\text{х.х}} = 60$ В)

Оптимальное количество экзотермической смеси в разработанных электродах для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей составляет 45...55 % от массы покрытия при отношении в нем окислы и алюминиевого порошка равному 3,5...4,0; при этом коэффициент наплавки составлял 11,1...11,5 г/А·ч.

В настоящее время в машиностроении крупные прессовые и молотовые штампы горячей штамповки в основном изготавливаются из ковального металла. Технология их изготовления имеет ряд недостатков [8]: низкое качество заготовок, выплавленных в открытых сталеплавильных агрегатах; повышенная анизотропия механических свойств стали при пластической деформации. Способ с использованием экзотермического легированного флюса [9] позволяет получать такие же отливки при разных способах ведения процесса с применением твердого старта. По сравнению с существующими способами увеличивается выход годного металла на 3 %; снижается расход рабочего флюса на 26 %; экономится на расплавлении 1 кг стандартного флюса 1,2...1,4 кВт·ч; сокращается время стартового периода процесса ЭШП до 25 %.

Для исследований по бифилярной схеме производилась электрошлаковая отливка в стальном кристаллизаторе 2 штампового кубика 3 размером 320 × 320 × 370 мм. В качестве расходных электродов 1 использовались кованные заготовки сечением 80 × 200 мм и длиной 2150 мм из стали 5ХНМ (рис. 3).

В работе [10] приведены результаты исследования качества штамповой стали 5ХНМ из выплавленного штампового кубика Установлено, что литой металл донной части слитка плотный; трещины, пустоты и другие дефекты отсутствуют, столбчатые кристаллы направлены почти параллельно осевой линии темплета. Испытания механических свойств исследуемого кубика показали, что они находятся на уровне ковального металла открытой выплавки,

а высокие значения коэффициента анизотропии (0,91...0,98) свидетельствуют о высокой однородности литого электрошлакового металла. Химический анализ осадка, полученного способом электролитического растворения образцов, изготовленных из исследуемого штампового кубика, показали, что металл как по высоте, так и по сечению характеризуется более низким содержанием неметаллических включений, чем кованный металл.

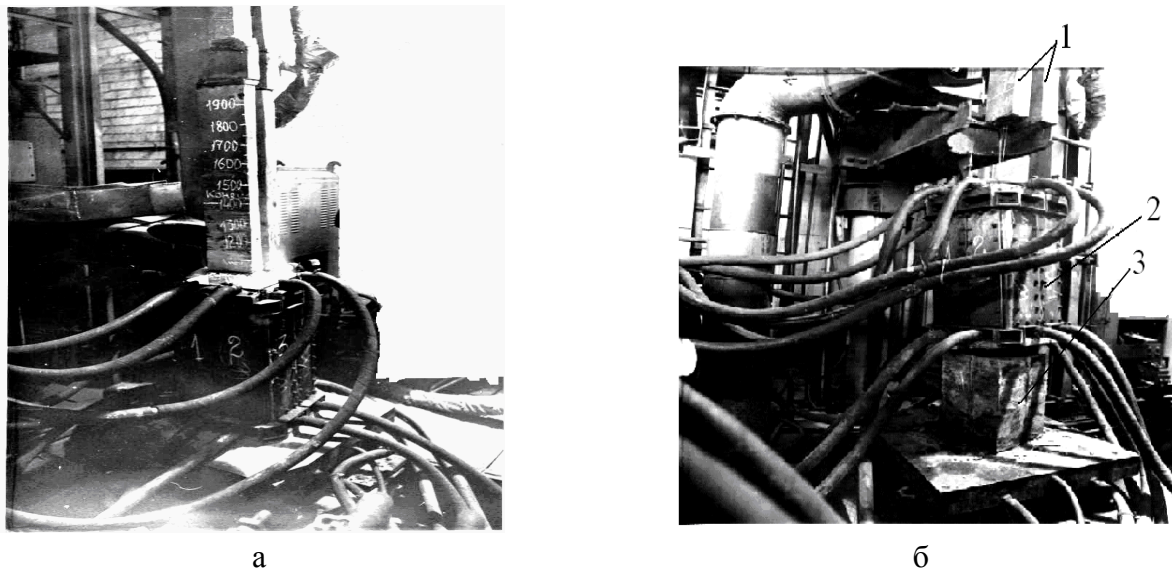


Рис. 3. Вид электрошлаковой отливки штампового кубика в процессе выплавки (а) и после окончания плавки (б)

В работе [11] приведены результаты исследования влияния экзотермического легированного флюса на физико-химические свойства (химический и газовый состав, содержание неметаллических включений, микроструктуру) восстановленного легированного металла в нижней части слитка валковых сталей марок 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ, которые соответствуют тем же показателям в средней и верхней части слитка.

На печи ЭШП-10Г в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе высотой 2600 мм и диаметром 800/850 мм производилась выплавка слитка расходуемым электродом отработанного валка диаметром 500 мм и длиной 3500 мм из стали 60Х2СМФ с применением разработанного твердого способа старта [12] (рис. 4).



Рис. 4. Вид поперечного сечения пятитонного слитка, отлитого на печи ЭШП-10Г

На затравку внутрь кристаллизатора было засыпано 200 кг экзотермической смеси и 400 кг флюса АНФ-6. Электрошлаковый переплав производился на следующем режиме: сила тока – 20...22 кА, напряжение 60...65 В. Заданный устойчивый электрошлаковый процесс (выход на заданный режим) был установлен на исходе 30-ой минуты. Время выплавки слитка диаметром 810 мм и высотой 1340 мм составило 6,5 ч; при выплавке такого же слитка на обычном твердом старте – 8,5 ч, а при жидком старте – 6,5 ч без учета расплавления флюса в флюсоплавильной печи (1,5 ч). Внешних и внутренних дефектов в выплавляемом слитке не обнаружено.

ВЫВОДЫ

1. Эффективным способом повышения производительности ручной дуговой сварки и электрошлаковых процессов является введение в состав покрытия электродов или флюса экзотермической смеси (окалины, ферросплавов и алюминиевого порошка в количествах, достаточных для её образования).

2. В качестве компонента экзотермической смеси целесообразно использование окалины, являющейся отходом прокатного или кузнечно-прессового производства.

3. Разработаны электроды с экзотермической смесью в покрытии для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, обеспечивающие повышение производительности ручной дуговой сварки по сравнению с существующими электродами аналогичного назначения в 1,3...1,7 раза.

4. Бифилярная схема ведения электрошлакового процесса с использованием твердого старта и экзотермического легированного флюса не оказывает отрицательного влияния на качество металла и позволяет использовать высвобождающиеся флюсоплавильные печи под электрошлаковое литьё крупногабаритных деталей ответственного назначения.

5. Свойства литой электрошлаковой стали 5ХНМ, выплавленной на твердом старте по бифилярной схеме ведения процесса, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к механическим свойствам ковального металла открытой выплавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Иоффе И. С. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки / И. С. Иоффе [и др.] // Сварочное производство. – 1980. – № 3. – С. 26–28.
3. Зареченский А. В. Особенности плавления порошковых лент с термитными смесями / А. В. Зареченский [и др.] // Сварочное производство. – 1985. – № 8. – С. 39–41.
4. Гончаров Ю. В. Микроструктура и механические свойства печной и воздушной окалины / Ю. В. Гончаров // Научные труды. Днепропетровский металлургический институт. – М. : Металлургия, 1967. – С. 208–220.
5. Федорова А. А. Новые методы анализа металлических порошков и шлаков / А. А. Федорова. – М. : Металлургия, 1971. – 248 с.
6. Власов А. Ф. Физико-химические свойства окалины как компонента экзотермической смеси в сварочных материалах / А. Ф. Власов // Вісник ДДМА. – 2006. – № 2 (4). – С. 65–68.
7. А. с. 737175 СССР МКл В23К 35/36. Состав электродного покрытия. – № 2541967/25-27 ; заявлено 10.11.77 ; опубл. 30.05.08, Бюл. № 20. – 3 с.
8. Латаш Ю. В. Электрошлаковый переплав / Ю. В. Латаш, Б. И. Медовар. – К. : Металлургия, 1970. – 239 с.
9. А. с. 1533346 СССР, МКИ С22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава / А. Ф. Власов.
10. Власов А. Ф. Исследование качества литой электрошлаковой штамповой стали 5ХНМ / А. Ф. Власов, В. М. Карпенко, В. К. Лысак // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ, 2004. – С. 139–144.
11. Власов А. Ф. Физико-химические свойства валковых сталей 9ХФ, 9Х2МФ и 60Х2СМФ / А. Ф. Власов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематич. зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ, 2004. – С. 643–646.
12. А. с. № 1396618 СССР, МКИ С22 В 9/18. Способ старта электрошлакового переплава / А. Ф. Власов, Г. А. Молодан, А. С. Волков, А. И. Боровков, С. С. Анциферов. – № 4090560/23–02 ; заявл. 09.07.86.