



ВЛИЯНИЕ СПЛАВА Fe–C В ПОКРЫТИИ ИЛЬМЕНИТОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

Н. Г. ЕФИМЕНКО, канд. техн. наук, Н. А. КАЛИН, инж. (Укр. инж.-пед. акад., г. Харьков)

Предложены расчетные формулы, определено количество восстанавливаемых кремния, титана и алюминия из шлака при раскислении ильменитовых электродов сплавом Fe–C. Показано, что TiO₂ может служить дополнительным окислителем углерода наряду с FeO. Использование сплава Fe–C в ильменитовых электродах не приводит к существенному повышению содержания кремния и алюминия в наплавленном металле.

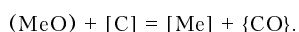
Ключевые слова: восстановление, окисление, оксиды, углерод, ильменит, электроды, чугунный порошок, наплавленный металл

Ильменитовый концентрат FeO·TiO₂ является основным шлакообразующим компонентом электродных покрытий ильменитового вида, содержащих также алюмосиликаты, карбонаты, ферромарганец и органические вещества. При использовании в качестве раскислителя, наряду с ферромарганцем, углерода в виде сплава Fe–C, термодинамически вероятным будет восстановление железа, марганца, кремния, титана и алюминия из их оксидов, находящихся в шлаке [1, 2].

Целью данной работы явилось исследование реакций восстановления кремния, титана и алюминия при сварке электродами ильменитового вида, содержащими в качестве раскислителя сплав Fe–C в виде чугунного порошка.

Исследовали опытные электроды, изготовленные методом опрессовки на проволоке Св-08А диаметром 4 мм. При этом коэффициент веса покрытия равнялся 0,47. Массовое содержание вводимых в покрытие компонентов составляло, %: ильменитового концентрата 45, ферромарганца 18; чугунного порошка в пределах 0... 15. Многослойную наплавку для проведения химического анализа наплавленного металла производили на постоянном токе (160... 180 А) обратной полярности в соответствии с ГОСТ 9466.

В [2] показано, что кремний, титан и алюминий восстанавливаются из оксидов при контакте с жидким сплавом Fe–C по следующей реакции:

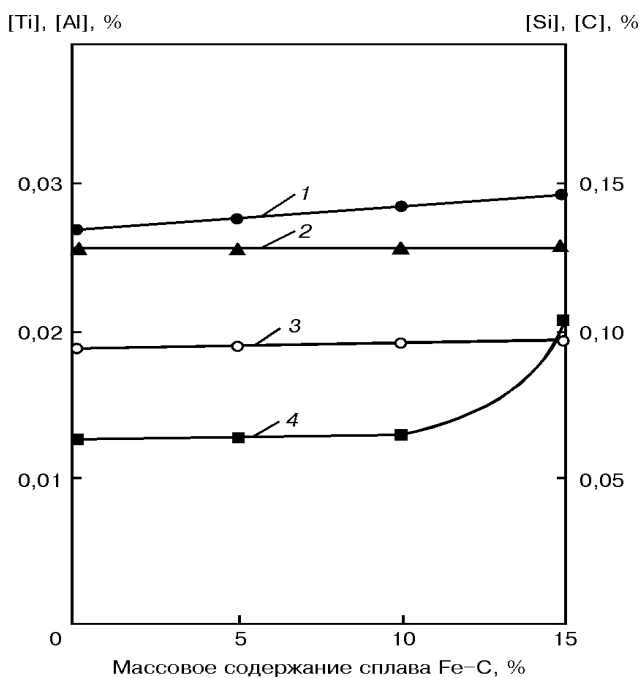


Титан образует серию оксидов (TiO, Ti₂O₃, Ti₃O₅, TiO₂), которые в свою очередь образуют с оксидами железа ильменит FeO·TiO₂ [3]. Известно [4], что в сварочной дуге TiO₂ может диссоциировать до TiO и Ti₂O₃ как наиболее устойчивых при высоких температурах.

На основании выполненных термодинамических расчетов реакций восстановления оксидов кремния, титана и алюминия растворенным в сплаве Fe–C углеродом выведены формулы расчета равновесных с углеродом содержаний восстановленных элементов в зависимости от температуры (табл. 1).

Учитывая, что массовое содержание углерода [C] в наплавленном металле не должно превышать 0,12 %, произведен расчет содержания восстановленных элементов (табл. 2). При этом использованы данные работ [2, 3, 5]. Температура кристаллизации металла шва принята равной 1810 К.

Как видно из табл. 2, наиболее вероятным будет восстановление титана из TiO, образующегося при диссоциации TiO₂ в сварочной дуге. Вероятность восстановления титана из других оксидов и ильменита ничтожно мала. Восстановление кремния



Зависимость содержания титана (1), алюминия (2), кремния (3) и углерода (4) в наплавленном металле от количества сплава Fe–C в покрытии электродов

Таблица 1. Формулы расчета равновесных с углеродом содержаний кремния, титана и алюминия

Реакция взаимодействия	Константа равновесия реакции	Формула расчета содержания восстановленного элемента в наплавленном металле
(SiO ₂) + 2[C] = [Si] + 2{CO}	lg K _{Si-C} = -29024/T + 16,1	[Si] = K _{Si-C} [C] ² = 1,176[C] ²
(TiO ₂) + 2[C] = [Ti] + 2{CO}	lg K _{Ti-C} = -32014/T + 15,95	[Ti] = K _{Ti-C} [C] ² = 1,184[C] ²
(TiO) + [C] = [Ti] + {CO}	lg K _{Ti-C} = -16815/T + 8,70	[Ti] = K _{Ti-C} [C] = 0,25[C]
1/3(Ti ₂ O ₃) + 5/3[C] = [Ti] + 5/3{CO}	lg K _{Ti-C} = -27587/T + 13,22	[Ti] = K _{Ti-C} [C] ^{5/3} = 0,0095[C] ^{5/3}
1/2(Ti ₂ O ₃) + 3/2[C] = [Ti] + 3/2{CO}	lg K _{Ti-C} = -25572/T + 12,19	[Ti] = K _{Ti-C} [C] ^{3/2} = 0,0115[C] ^{3/2}
(FeO·TiO ₂) + 3[C] = [Ti] + Fe + 3{CO}	lg K _{Ti-C} = -35895/T + 19,43	[Ti] = K _{Ti-C} [C] ³ = 0,392[C] ³
1/2(Al ₂ O ₃) + 3/2[C] = [Al] + 3/2{CO}	lg K _{Al-C} = -30106/T + 13,46	[Al] = K _{Al-C} [C] ^{3/2} = 0,00068[C] ^{3/2}



Таблица 2. Массовое содержание в наплавленном металле, %, восстановленных из оксидов элементов при [C] = 0,12 %

Восстановленный элемент	SiO ₂	TiO ₂	TiO	Ti ₃ O ₅	Ti ₂ O ₃	FeO·TiO ₂	Al ₂ O ₃
Si	0,02	—	—	—	—	—	—
Ti	—	2,65·10 ⁻⁴	0,03	2,77·10 ⁻⁴	4,76·10 ⁻⁴	6,77·10 ⁻⁴	—
Al	—	—	—	—	—	—	2,81·10 ⁻⁵

из SiO₂ обеспечивает небольшой прирост содержания [Si], что не может существенно отразиться на изменении механических свойств наплавленного металла и его склонности к порообразованию. Восстановление алюминия также незначительно и не оказывает существенного влияния на сварочно-технологические свойства электродов. Восстановление титана до 0,03 % в наплавленном металле оказывает положительное влияние на измельчение структуры последнего и повышение его механических свойств.

Для проверки расчетного метода выполнен химический анализ металла, полученного наплавкой опытными электродами, — его результаты приведены на рисунке. При этом установлено, что восстановление кремния и алюминия углеродом в приведенном диапазоне содержания [C] практически не происходит, в отличие от наблюдающегося восстановления титана, которое довольно близко совпадает с расчетным.

Таким образом, при использовании в электродах ильменитового вида в качестве раскислителя сплава Fe–C в количествах, обеспечивающих массовое содержание [C] не более 0,12 %, можно не опасаться кремнийвосстановительного процесса, ухудшающего сварочно-технологические свойства ильменитовых электродов. Восстановление алюминия также незначительно и его можно не учитывать. Восстановление титана возможно в основном по реакции восстановления TiO, образующегося в результате диссоциации TiO₂ из ильменита. Таким образом, TiO₂ может служить дополнительным окислителем углерода наряду

с FeO, что необходимо учитывать при разработке ильменитовых электродов, раскисляемых сплавом Fe–C.

Выводы

1. Получены расчетные формулы для определения количества восстановленных кремния, титана и алюминия в зависимости от содержания углерода в наплавленном металле.
2. Установлено, что в электродах ильменитового вида TiO₂ может служить дополнительным окислителем углерода наряду с FeO.
3. Использование сплава Fe–C в качестве раскислителя при условии обеспечения массового содержания [C] не более 0,12 % не приводит к повышению содержания кремния и алюминия выше допустимого уровня.
4. Экспериментально подтверждена правильность расчетного метода, получены данные о количествах восстановленных элементов при сварке опытными электродами.

1. *Ефименко Н. Г., Калин Н. А.* Раскисляющая способность редкоземельных элементов в сравнении с известными раскислителями // Свароч. пр-во. — 1978. — № 10. — С. 1–2.
2. *Ефименко Н. Г., Калин Н. А.* Термодинамический анализ окислительно-восстановительных процессов с участием углерода при сварке плавлением // Автомат. сварка. — 2000. — № 7. — С. 18–21.
3. *Куликов И. С.* Раскисление металлов. — М.: Металлургия, 1975. — 502 с.
4. *Потанов Н. Н., Волобуев Ю. С.* Особенности окисления металла двуокисью титана при сварке и наплавке под флюсом // Автомат. сварка. — 1981. — № 2. — С. 22–26.
5. *Меджибожский М. Я.* Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. — Киев, Донецк: Виц. шк., 1986. — 280 с.

Calculation formulae are presented and the amount of recovered silicon, titanium and aluminium from slag in deoxidizing ilmenite electrodes with Fe–C alloy is determined. It is shown that TiO₂ can serve an additional oxidizer of carbon alongside with FeO. The use of Fe–C alloy in ilmenite electrode does not lead to a significant increase in content of silicon and aluminium in the deposited metal.

Поступила в редакцию 23.10.2000

СОЗДАНИЕ СОВЕТА ПО ВОПРОСАМ РЕСУРСА И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ, СООРУЖЕНИЙ И МАШИН

В настоящее время наблюдается заметное увеличение доли эксплуатируемых конструкций и оборудования, отработавших свой нормативный срок. Особое беспокойство вызывает техническое состояние мостовых сооружений, а также магистральных газопроводов и нефтепроводов. Все более обостряются проблемы, связанные с выработкой ресурса энергетического и нефтехимического оборудования, подвижного состава на железнодорожном транспорте. Все эти факторы оказывают влияние на стабильность экономики и повышают вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций.

В связи с этим назрела необходимость в создании научно-координационного и экспертного совета по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин.

Для координации и научно-методического обеспечения работ по определению технического состояния, остаточного ресурса и надежности конструкций и промышленных объектов Президиум НАН Украины своим постановлением № 258 от 27.09.2000 обязал учредить Научно-координационный и экспертный совет по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин. Председателем совета избран академик НАН Украины Б. Е. Патон. В его состав вошли в качестве заместителей председателя — академики НАН Укра-

ины Л. М. Лобанов (ИЭС), В. В. Панасюк (ФМИ), В. Т. Трощенко (ИПМ); секретаря совета — д-р техн. наук О. Г. Касаткин (ИЭС); председателей секций — академик НАН Украины В. И. Махненко (секция «Общая научная методология оценки состояния объектов продолжительной эксплуатации», ИЭС), д-р техн. наук А. Я. Недосека (секция «Методы и средства технической диагностики конструкций», ИЭС); В. М. Гордеев (секция «Строительные металлические конструкции», УкрНИИ «Проектметаллконструкция»); канд. техн. наук П. И. Кривошеев (секция «Железобетонные конструкции и гидротехнические сооружения», НИИ строительных конструкций); д-р техн. наук А. И. Лантух-Лащенко (секция «Мосты и транспортные туннели», Украинский транспортный университет); канд. техн. наук А. А. Рыбаков (секция «Магистральные трубопроводы», ИЭС); чл.-кор. НАН Украины Ю. М. Мацевитый (секция «Конструкции и оборудование тепловой энергетики», ИП машиностроения); чл.-кор. НАН Украины И. М. Неклюдов (секция «Конструкции и оборудование атомной энергетики», ФТИ); чл.-кор. НАН Украины В. И. Пахмурский (секция «Оборудование для нефте-, газодобывающей, нефтеперерабатывающей и химической промышленности», ФМИ), д-р техн. наук Т. Г. Кравцов (секция «Конструкции и оборудование морского и речного транспорта»,