

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОРУДНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ****Кассов В. Д., Сатонин А. В., Бережная Е. В., Чепель Ю. А.**

Применяя симплексно-решетчатое планирование эксперимента, получены математические модели, описывающие зависимости коэффициентов перехода легирующих элементов от соотношения газошлакообразующих компонентов. Определен оптимальный состав газошлаковой системы, обеспечивающей минимальное разбрызгивание электродного металла, высокий коэффициент перехода легирующих элементов, надежную защиту жидкого металла от вредного влияния воздуха. Установлено, что увеличение количества газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки в целом уменьшает коэффициенты перехода легирующих элементов, что объясняется повышением общего содержания окислителей газовой и шлаковой фаз.

Застосовуючи симплексно-гратчасте планування експерименту, отримано математичні моделі, які описують залежності коефіцієнтів переходу легируючих елементів від співвідношення газошлакоутворюючих компонентів. Визначено оптимальний склад газошлакової системи, що забезпечує мінімальне розбрикування електродного металу, надійний захист рідкого металу від шкідливого впливу повітря. Встановлено, що збільшення кількості газошлакоутворюючих компонентів в шихті порошкового дроту в цілому зменшує коефіцієнти переходу легируючих елементів, що пояснюється підвищенням загального вмісту окислювачів газової та шлакової фаз.

The mathematical models, that describe alloying elements transition coefficients dependences on gas and slag creating components correlation, are obtained, using simplex-lattice planning. An optimal gas and slag system composition, that provides minimal sprinkling of electrode metal, high coefficient of alloying elements transition, reliable protection of molten metal from harming influence of air, are determined. It is established that rising of amount of gas and slag creating components in charge of powder wire as a whole reduces alloying components transition coefficients, that can be explained by increasing of general containing of oxalic of gas and slag phases.

Кассов В. Д.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ПТМ ДГМА

Сатонин А. В.

д-р техн. наук, проф. кафедры АММ

Бережная Е. В.

канд. техн. наук, ассистент кафедры ОиТСП
sp@dgma.donetsk.ua

Чепель Ю. А.

ассистент кафедры ЭСА ДГМА

УДК 621.791.75.042

Кассов В. Д., Сатонин А. В., Бережная Е. В., Чепель Ю. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОРУДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Химические реакции между расплавленным металлом и окружающими его шлаком и газами развивается на торце проволоки в процессе образования, перехода капель жидкого металла и в сварочной ванне. Полнота протекания реакций определяется их скоростью, зависящей от условий контактирования взаимодействующих фаз, т. е. межфазной поверхности и продолжительности контактирования [1]. Большое влияние на кинетику и полноту протекания реакций оказывают характеристики макропереноса электродного металла, которые зависят от состава газшлакообразующих компонентов порошковой проволоки и режима наплавки [2]. Для расчета состава шихты сердечника самозащитной порошковой проволоки необходимо знание коэффициентов перехода η легирующих элементов, которые характеризуют конечный результат отдельных реакций, протекающих на различных этапах перехода легирующих элементов из порошкового электрода в наплавленный металл.

Цель работы – разработать математические модели, описывающие зависимости коэффициентов перехода легирующих элементов от соотношения газшлакообразующих компонентов в шихте сердечника самозащитной порошковой проволоки.

Для получения количественных зависимостей между концентрацией легирующих элементов в наплавленном металле и составом сварочных материалов исследовали влияние количества и состава газшлакообразующей части сердечника на коэффициенты перехода углерода, марганца, кремния, хрома, ванадия, молибдена, вольфрама и титана при наплавке самозащитной порошковой проволокой, построенной на основе: плавиковый шпат (X_1) – карбонатный шлак (X_2) – мартеновский шлак (X_3) – датолитовая руда (X_4) [2, 3]. Эксперименты проводили с порошковыми проволоками диаметром 3 мм с содержанием газшлакообразующих компонентов в шихте сердечника ($P_{ши}$) 15, 25 и 35 %. Коэффициент заполнения проволок 0,34–0,36. Содержание легирующих элементов в порошковой проволоке составляло (%): С 1,9–2,3; Мн 3,1–3,6; Si 0,95–1,25; Cr 9,6–11,6; V 1,5–1,8; Mo 1,25–1,6; W 2,5–3,2; Ti 0,3–0,45.

Коэффициенты перехода легирующих элементов определяли по формуле [1]:

$$\eta = \frac{Me_H (100 - \psi)}{Me(100 - \psi_{p.б.})} \times 100\%,$$

где Me_H , Me – содержание легирующего элемента в наплавке и проволоке;

ψ и $\psi_{p.б.}$ – коэффициенты общих потерь и потерь на разбрызгивание. Необходимые значения коэффициентов ψ , $\psi_{p.б.}$ брали из [3].

Для получения математических зависимостей между составом газшлакообразующих материалов порошковой проволоки и коэффициентами перехода легирующих элементов использовали симплексно-решетчатое планирование для четырех факторов [2]. По результатам опытов были построены адекватные неполные кубические модели. Максимальные ошибки расчета Δ по полученным моделям приведены в табл. 1. С увеличением количества газшлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоке погрешность расчета по полученным моделям несколько возрастает. На основании полученных моделей строились их графические представления при нулевом значении одного из компонентов четырехкомпонентной системы. В качестве примера приведено влияние газшлакообразующих компонентов на коэффициент перехода углерода при $P_{ши} = 25\%$ (рис. 1).

Таблица 1

Максимальные ошибки расчета по моделям

$P_{\text{ши}}$, %	Максимальная погрешность расчета (%)							
	η_{C}	η_{Mn}	η_{Si}	η_{Cr}	η_{V}	η_{Mo}	η_{W}	η_{Ti}
15	3,3	3,8	5,6	2,4	2,5	2,1	2,4	4,8
25	3,8	4,2	6,8	3,2	3,6	2,6	2,2	5,9
35	4,6	5,3	7,5	3,5	4,2	2,8	2,6	6,3

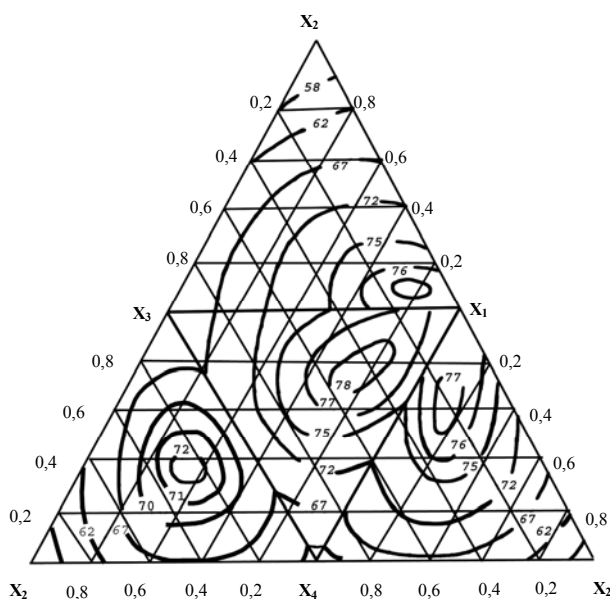


Рис. 1. Влияние газошлакообразующих компонентов на коэффициент перехода углерода

Увеличение содержания карбонатного шлама в газошлакообразующей части шихты приводит к значительному снижению коэффициентов перехода легирующих элементов С, Mn, Si, Cr, V, Mo, W, Ti. Наиболее существенно карбонатный шлак влияет на переход кремния и титана. При увеличении концентрации карбонатного шлама в газошлакообразующей части шихты до 80 % η_{Si} уменьшается от 80 до 30 %, а η_{Ti} – от 60 до 25 %. Увеличение количества CO_2 в газовой фазе способствует окислению кремния и титана. При повышении основности шлака активность кремнезема в нем резко уменьшается, так как он связывается более полно в стойкие силикаты оксида кальция 2CaOSiO_2 . Поэтому повышение основности шлака приводит к увеличению констант распределения Si и Ti между шлаком и металлом и снижению их содержания в металле. По отношению к марганцу или хрому увеличение углекислого газа способствует их окислению и снижению коэффициентов перехода η_{Mn} , η_{Cr} . В то же время увеличение основности шлака с ростом CaCO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 в шихте уменьшает потери Mn и Cr. По-видимому, при содержании карбонатного шлама в газошлакообразующей части шихты до 20–30 % преимущественное влияние на переход Mn и Cr оказывает основность образующегося шлака. При дальнейшем увеличении карбонатов в шихте увеличивается окислительный потенциал газовой фазы, и коэффициенты перехода всех легирующих элементов значительно уменьшаются. Замена части плавикового шпата мартеновским шлаком или датолитовой рудой ведет к некоторому снижению коэффициентов перехода легирующих элементов, что объясняется снижением межфазного натяжения на границе шлак-металл и усилению взаимодействия металла со шлаком. Это приводит к окислению легирующих элементов и снижению их коэффициентов перехода. Причем при увеличении содержания в шихте, как мартеновского шлака, так и датолитовой руды η_{Cr} , η_{Mn} , η_{C} изменяются по кривым с максимумом, т. е. эти компоненты оказывают также двойное влияние на

переход легирующих элементов из шихты в наплавленный металл. Из рис. 1 видно, что каждая трехкомпонентная система обладает оптимальным соотношением газошлакообразующих материалов в шихте порошковой проволоки, которое обеспечивает минимальные потери легирующих элементов, однако для каждого легирующего элемента это соотношение различно. Так, например, система x_1, x_2, x_3 обеспечивает малые потери легирующих элементов С, Мn, Si, Cr, V, Мо, W, Ti при содержании карбонатного шлака в газошлакообразующей части шихты не более 20–30 %, мартовского шлака – не более 15–25 %, остальное – плавиковый шпат. В то же время четырехкомпонентная система газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки при их оптимальном соотношении обеспечивает более высокие коэффициенты перехода легирующих элементов, чем любая из исследованных трехкомпонентных. Кроющую способность шлака определяли из отношения площади поверхности наплавленного валика, покрытого шлаком, к общей поверхности валика. Оценку отделимости шлаковой корки выполняли следующим образом. Производили наплавку в три слоя на пластины размером 100×50×12 мм из стали Ст 3. В первом слое наплавливали три валика, во втором слое – два валика, в третьем слое – один валик. Перед наплавкой последующего валика предыдущий очищали от шлака. После наплавки третьего слоя пластину переворачивали наплавленными валиками вниз и прикладывали к ней ударную нагрузку с энергией 98 Дж. При этом температура пластины составляла 400–450 °С. С учетом получения минимального разбрызгивания электродного металла, высоких коэффициентов перехода легирующих элементов, надежной защиты жидкого металла капли и ванны от вредного влияния воздуха, а также хорошей кроющей способности и отделимости шлаковой корки определено оптимальное соотношение газошлакообразующих компонентов исследованной четырехкомпонентной системы – плавиковый шпат : карбонатный шлак : мартовский шлак : датолитовая руда = 4 : 2 : 2 : 2 – при общем их количестве в шихте порошковой проволоки 20–25 %. Для установленного оптимального соотношения и содержания газошлакообразующих компонентов шихты в рассмотренном диапазоне изменения легирующих элементов получено: $\psi = 6-7\%$, $\psi_{PB} = 3-4\%$, $\eta_C = 78-79\%$, $\eta_{Mn} = 85-86\%$, $\eta_{Si} = 42-45\%$, $\eta_{Cr} = 95-96\%$, $\eta_V = 90-91\%$, $\eta_{Mo} = 93-94\%$, $\eta_W = 94-95\%$, $\eta_{Ti} = 50-52\%$, кроющая способность шлака 0,88–0,92, отделимость шлаковой корки 0,007–0,0075 см²/Дж.

ВЫВОДЫ

Применяя симплексно-решетчатое планирование эксперимента, получены математические модели, описывающие зависимости коэффициентов перехода С, Мn, Si, Cr, V, Мо, W, Ti от соотношения газошлакообразующих компонентов плавикового шпата, карбонатного шлака, мартовского шлака и датолитовой руды при их содержании в шихте порошковой проволоки 15, 25, 35 %. Для получения минимального разбрызгивания электродного металла, высоких коэффициентов перехода легирующих элементов, надежной защиты жидкого металла от вредного влияния воздуха, хорошей кроющей способности и отделимости шлаковой корки целесообразно применять в качестве газошлакообразующих компонентов порошковой проволоки плавиковый шпат, карбонатный шлак, мартовский шлак, датолитовую руду в соотношении 4:2:2:2 при их общем количестве в шихте 20–25 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.
2. Кассов В. Д. Влияние газошлакообразующих компонентов порошковой проволоки на характеристики макрореноса / В. Д. Кассов, А. П. Литвинов, В. С. Скрипниченко // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ, 2002. – № 7(53). – С. 90–95.
3. Кассов В. Д. Исследование потерь электродного металла при восстановительной наплавке порошковой проволокой / В. Д. Кассов, А. П. Литвинов // Тез. докл. II междунар. науч.-техн. конф. «Новые технологии, методы обработки и упрочнения деталей энергетических установок». – Запорожье, 2002. – С. 66–69.

Статья поступила в редакцию 04.11.2011 г.