

ХИМИЯ

ХИМТЕХНОЛОГИЯ

УДК 541.118+542.63+669.187

В.В. Брем, канд. техн. наук, доц.
В.Я. Кожухарь, д-р техн. наук, проф.,
И.В. Дмитренко, магистр,
 Одес. нац. политехн. ун-т

ПОВЫШЕНИЕ ВЛАГОСТОЙКОСТИ ФТОРИДНО-ОКСИДНЫХ ФЛЮСОВ

В.В. Брем, В.Я. Кожухарь, И.В. Дмитренко. Підвищення вологостійкості фторидно-оксидних флюсів. Для вибору оптимальних умов підвищення вологостійкості фторидно-оксидних флюсів проведено термодинамічний аналіз реакцій карбонізації деяких алюмінітів і силікатів, що входять до складу ряду промислових флюсів композицій. За допомогою лабораторних досліджень вирішено завдання вибору оптимальних умов проведення карбонізації флюсів і корегування їх складу з урахуванням різноманіття фактичного фазового складу.

В.В. Брем, В.Я. Кожухарь, И.В. Дмитренко. Повышение влагостойкости фторидно-оксидных флюсов. Для выбора оптимальных условий повышения влагостойкости фторидно-оксидных флюсов проведен термодинамический анализ реакций карбонизации некоторых алюминатов и силикатов, входящих в состав ряда промышленных флюсов композиций. С помощью лабораторных исследований решена задача выбора оптимальных условий проведения карбонизации и корректировки их состава с учетом многообразия фактического фазового состава.

V.V. Brem, V.Ya. Kozhukhar, I.V. Dmitrenko. Increase of moisture resistance of of fluoride-oxide fluxes. For the choice of optimal conditions of increasing moisture resistance of fluoride-oxide fluxes, the thermodynamic analysis of reactions of carbonating some aluminates and silicates ingressed in the composition of some industrial fluxes is conducted. By laboratory researches the task of choosing the optimal conditions of flux carbonizing and correction of their composition is solved subject to variety of actual phase composition.

Известные флюсы, получаемые сплавлением шихтовых компонентов в электрических печах с последующей грануляцией расплава инертными или активными газами, при хранении поглощают влагу воздуха, в результате чего содержание воды в них может достигать 0,2...0,5 масс. %. При затвердевании флюса в процессе происходит образование различных кристаллических оксидных фаз, по большей части химически активных по отношению к влаге воздуха. Вследствие этого флюсы гидратируются [1].

В связи с этим ставилась задача разработки таких методов получения флюсов, которые обеспечивали бы повышение их влагостойкости при открытом хранении на воздухе. С этой целью разработаны принципиальные основы двух возможных вариантов решения поставленной задачи.

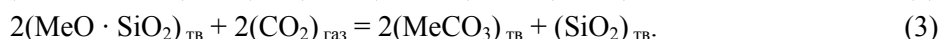
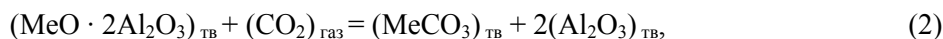
Принципиальный анализ предложенного метода показывает, что он позволяет вести обработку флюсов углекислым газом одновременно с их грануляцией и последующим охлаждением. Возможна так же обработка флюсов углекислым газом в смеси с инертными газами при различных давлениях. Рабочая атмосфера при проведении процесса может быть проточной, непроточной или циркуляционной. Снижение влагопоглотительной способности флюсов, полученных указанным путем, связано с поверхностной карбонизацией кристаллических фаз оксидов флюсов по схеме



Полученные при этом карбонатные пленки не образуют кристаллогидратов (не гидратируются на воздухе) и предотвращают взаимодействие заключенных в них оксидов с влагой воздуха.

Можно предполагать, что рассматриваемый метод применим не только для фторидно-оксидных флюсов, но и для большинства флюсов и шлаков на основе других солевых и оксидных соединений (в частности, хлоридно-оксидных), получаемых как при дроблении твердых расплавов или спеков, так и путем грануляции расплавов.

Для выбора оптимальных условий повышения влагостойкости фторидно-оксидных флюсов оказалось необходимым проведение термодинамического анализа реакций карбонизации некоторых алюминатов и силикатов, входящих в состав ряда промышленных флюсов композиций. Для такого рода анализа необходимо было располагать значениями стандартных изменений Гиббса ΔG_T^0 в выбранном интервале температур (573...1273 К) для взаимодействий следующего типа:



Значения ΔG_T^0 вычислялись с помощью уравнений типа

$$\Delta G_T^0 = A + BT, \quad (4)$$

где A и B — коэффициенты, определенные с привлечением различных литературных данных [2].

Вычисленные значения коэффициентов A и B для процесса карбонизации по реакциям типа (2) и (3) позволили из соотношения

$$K_P = 1/P^n_{\text{CO}_2}, \quad (5)$$

где n — показатель степени, равный значению коэффициента в данном уравнении, определить значения P_{CO_2} для рассматриваемого интервала температур (573...1273 К).

Анализ полученных термодинамических данных позволил заключить, что проведение процесса карбонизации ($P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа) в исследованном интервале температур возможно не для всех рассмотренных реакций, а лишь для тех, в составе которых есть соединения: $\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$. Реакции карбонизации по другим схемам в указанных условиях не протекают. Реакция с $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ при $P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа идет только в интервале температур 573...973 К. Полученные результаты позволяют заключить, что некоторые реакции целесообразно проводить при повышенных давлениях, возможно даже при $P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа. Очевидно, что и карбонизацию флюсов с целью понижения их влагопоглотительной способности возможно проводить как при повышенных давлениях, так и при давлении диоксида углерода меньше 0,101325 МПа. В целом же оптимальные условия проведения карбонизации многокомпонентных производственных флюсов необходимо корректировать с учетом многообразия их фактического фазового состава.

Эти задачи, как оказалось, возможно решить только с помощью дополнительных лабораторных исследований, используя для этих целей различные марки флюсов промышленного производства.

Для изучения процессов разработаны лабораторные установки, которые позволяли проводить обработку флюсов диоксидом углерода как при $P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа, так и при повышенных давлениях.

Схема установки для получения флюсов, карбонизированных при $P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа, приведена на рис. 1.

Используемый в процессе карбонизации углекислый газ предварительно осушался, проходя через сосуды с силикагелем. Собственно процесс карбонизации проводился в кварцевой трубке диаметром 0,03 м. Относительно изометрической зоны печи трубка устанавливалась таким образом, чтобы можно было выводить из рабочей зоны для охлаждения лодочку без разгерметизации установки. Порядок операций был следующим. В тщательно промытую углекислым газом реакционную трубку, нагретую до заданной температуры, через 180 с вводилась лодочка с образцом флюса. Расход газа при этом составлял 2 л/мин ($333,6 \cdot 10^{-8}$ м³/с). По окончании выдержки образец выводился из горячей зоны печи, охлаждался до комнатной температуры и извлекался из установки.

Тотчас же (для фиксирования исходного веса образца) проводилось его взвешивание с точностью до $1 \cdot 10^{-4}$ г. В дальнейшем по принятой программе осуществлялся систематический контроль веса образца в процессе его гидратации на открытом воздухе.

Кроме того, была предпринята и попытка изучить процесс карбонизации флюсов при повышенных давлениях диоксида углерода, поскольку повышение давления в системе должно способствовать карбонизации большего числа сложных оксидных фаз. В этом варианте методики навеска флюса массой 20 г первоначально дегазировалась в течение 180 с в токе осушенного углекислого газа при $P_{\text{CO}_2} = 0,101325$ МПа и 1123 К. Затем лодочка с навеской прямо из печи сбрасывалась в автоклав (рис. 2). Выдержка флюса в автоклаве продолжалась 360 с. За это время обычно температура флюса снижалась с 1123 К до комнатной температуры. После полного охлаждения флюс извлекался из автоклава и оставался на воздухе для обычной гидратации. Контроль за гидратируемостью полученных таким образом проб осуществлялся с помощью газового анализа [3, 4].

Поглощение воды из воздуха особенно велико для флюсов, содержащих в значительных количествах оксид кальция [3, 4]. Поэтому прежде чем приступить к изучению влияния процесса карбонизации флюсов на их влагопоглощательную способность, была проведена серия опытов по снижению влагопоглощательной способности оксида кальция. В качестве объекта исследования был взят оксид кальция марки ч.д.а. различной дисперсности. Исходные пробы оксида кальция (фракции 0,4...0,8 и 0,8...1,5 мм) выдерживались на воздухе при комнатной температуре и относительной влажности 60...70 % в течение десяти суток, после чего анализировались на содержание в них водородосодержащих газов с помощью аналитической установки. Исходное содержание водородосодержащих газов в обеих фракциях было примерно одинаковым. Затем часть пробы оксида кальция (фракции 0,4...0,8 и 0,8...1,5 мм) дегазировалась в токе осушенного аргона марки "А" в течение 180 с при 873 К, после чего охлаждалась в той же атмосфере до комнатной температуры. Вторая часть проб оксида кальция (фракция 0,4...0,8 мм и 0,8...1,5 мм) дегазировалась – карбонизировалась в токе осушенного диоксида углерода в том же температурном режиме с той же выдержкой и последующим охлаждением. Затем полученные пробы выдерживались на воздухе (при комнатной температуре и влажности 60...70 %) в течение десяти суток. По истечении указанного срока выдержки содержание водородосодержащих газов в пробах, обработанных как в осушенном аргоне, так и в CO_2 , достигало постоянных значений. Оказалось, что гидратированность оксида кальция, дегазированного в аргоне, при выдержке во влажном воздухе достигает исходного уровня (табл. 1).

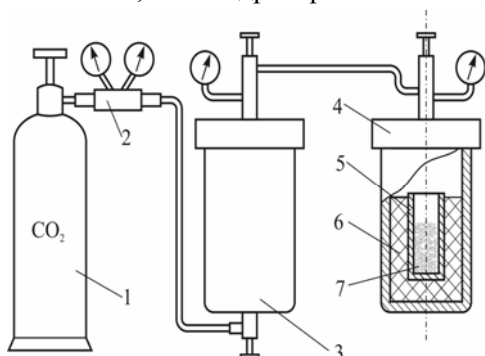


Рис. 2. Схема установки для проведения карбонизации при повышенных давлениях P_{CO_2} ; 1 — баллон с углекислотой; 2 — редуктор; 3 — стальной автоклав с силикагелем; 4 — стальной рабочий автоклав; 5 — корундовый тигель; 6 — засыпка из оксида алюминия; 7 — флюс

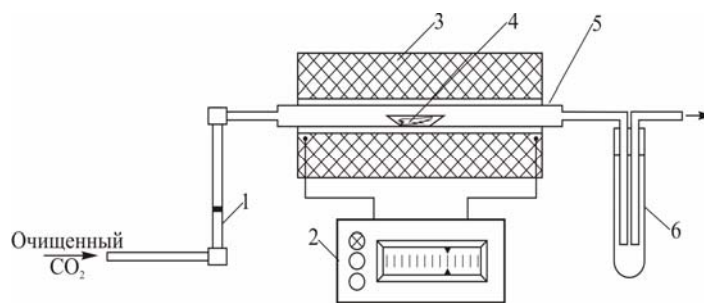
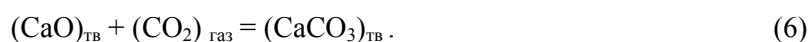


Рис. 1. Схема установки для проведения карбонизации: 1 — ротаметр; 2 — регулятор температуры; 3 — печь; 4 — корундовая лодочка с флюсом; 5 — кварцевая реакционная трубка; 6 — раствор щелочи для поглощения HF

Пределы гидратации $Q_{\text{гидр}}$ и снижение влагопоглощательной способности f в зависимости от вида обработки и фракционного состава оксида кальция

Размер фракции, мм	Газовая фаза	$Q_{\text{гидр}}, \text{см}^3/100\text{г}$				$f, \%$
		Данные параллельных опытов			Средние	
0,4...0,8	Ar	899,7	880,2	881,0	887,0	0,0
0,8...1,5		878,0	890,7	879,0	882,0	0,0
0,4...0,8	CO ₂	88,0	87,2	86,7	87,3	90,1
0,8...1,5		68,6	72,0	70,2	70,3	92,1

В обработанных углекислым газом пробах оксида кальция этот показатель значительно снижен, что позволило сделать вывод о том, что обработка оксида кальция углекислым газом повышает его влагостойкость. Очевидно, отмеченное является следствием протекания взаимодействия



В результате образования наружной карбонатной пленки, инертной к влаге воздуха, снижается влагопоглощительная способность препарата. Следует так же отметить, что более дисперсная фракция оксида кальция в большей степени подверглась карбонизации, и влагопоглощительная способность ее уменьшилась в большей степени.

Для изучения влияния процесса карбонизации на влагостойкость сложных оксидов в лабораторных условиях был специально синтезирован алюминат кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Для получения указанного соединения выбрана смесь из трех эквивалентов карбоната кальция и одного эквивалента диалюминия триоксида. Полученную смесь при температуре 1653 К в токе осушенного аргона обжигали в печи Таммана. Обжиг осуществлялся в четыре приема с продолжительностью выдержки при каждом обжиге по 1800 с и с тщательными промежуточными перетиранием спека. Окончательное охлаждение спека вели медленно до 1273 К, при этом падение температуры составляло 3,5 К/мин, затем печь выключали, а образцы подвергали дальнейшему охлаждению до полного остывания. Полученный образец был разделен на две части, одна из которых находилась на воздухе в течение 10 сут, а вторая часть пробы была дополнительно обработана в осушенном диоксиде при температуре 873 К в течение 180 с и затем охлаждена в той же атмосфере. Карбонизированную часть пробы выдерживали затем в течение 10 сут на воздухе. Полученные по двум вариантам пробы $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ были проанализированы на содержание в них водородосодержащих газов (табл. 2). На основании полученных результатов можно заключить, что такая обработка данного алюмината кальция CO₂ способствовала значительному снижению его влагопоглощительной способности, поскольку $Q_{\text{гидр}}$ карбонизированной пробы ниже, чем у той части пробы, которая не подверглась дополнительной обработке.

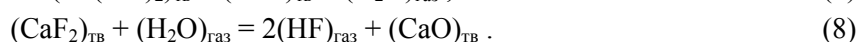
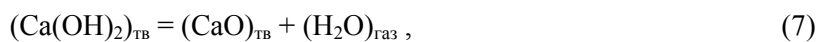
Таблица 2

Пределы предварительной гидратации $Q_{\text{свод}}$ и снижение влагопоглощительной способности f в зависимости от обработки

Размер фракции, мм	Газовая фаза	$Q_{\text{гидр}}, \text{см}^3/100\text{г}$				$f, \%$
		Данные параллельных опытов			Средние	
0,4...0,8	Ar	3603,1	3555,6	3619,0	3592,6	–
	CO ₂	769,5	784,5	799,8	784,5	78,2

Дополнительные сведения об особенностях гидратации исследованных образцов $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ получены при изучении термокинетических кривых дегазации их в токе осушенного аргона или азота [4]. Полученные кривые дегазации для карбонизированного и некарбонизированного алюмината кальция свидетельствуют, что обработка диоксидом углерода примерно в равной степени снижает содержание всех форм связанной с исследованным алюминатом кальция воды.

Положительные результаты по снижению влагопоглощительной способности оксида и алюмината кальция путем их карбонизации позволили предположить, что карбонизация оксидно-фторидных флюсов также окажет благоприятное влияние на их влагостойкость. С этой целью в качестве объекта дальнейшего изучения был выбран флюс марки АНФ-7, который содержит в своем составе около 20 % оксида кальция. Причем, удаление воды из флюса в процессе термической дегазации происходит в соответствии с реакциями



При непрерывном удалении фтористого водорода реакция (7) будет протекать вправо до завершения, и удаления воды будет сопровождаться уменьшением содержания фторида кальция и увеличением содержания оксида кальция во флюсе. Было установлено, что предварительная дегазация и последующая гидратация на воздухе приводят к увеличению влагопоглощительной способности флюса АНФ-7 на 20 %. Поэтому выявить влияние высокотемпературной обработки флюса в диоксиде углерода на его влагопоглощительную способность оказалось возможным только методом сравнения проб одинаковой дисперсности, обработанных в осушенном аргоне и осушенном диоксиде углерода. Дегазация в аргоне и карбонизация в диоксиде углерода проводилась при атмосферном давлении; в аргоне – при 1123 К (в течение 180 с с последующим охлаждением), в CO_2 — в течение 60 с при 1123 К и затем 120 с при 873 К с последующим охлаждением. Дегазация при 1123 К обеспечивала полное удаление водородосодержащих газов из флюса, а выдержка при 873 К в атмосфере диоксида углерода — карбонизацию. Результаты этих исследований приведены в табл. 3.

На основании этих данных и полученных термокинетических кривых, можно заключить, что высокотемпературная обработка флюса АНФ-7 по описанному способу способствует снижению влагопоглощительной способности f его более, чем на 90 %. К дальнейшему снижению влагопоглощительной способности у указанного флюса (до 95 %) приводит многократное перетирание пробы (в агатовой ступке) с последующей карбонизацией.

Исследовано также влияние высокотемпературной обработки в диоксиде углерода на влагопоглощительную способность флюсов АНФ-6 и АН-291. С целью определения оптимальных условий проведения обработки карбонизацию вели при 473...1273 К и различных временных выдержках.

Таблица 3

Пределы гидратации флюса АНФ-7 $Q_{\text{гидр}}$ и снижение влагопоглощительной способности f в зависимости от вида его обработки

Газовая фаза	$Q_{\text{гидр}}, \text{см}^3/100\text{г}$				$f, \%$
	Данные параллельных опытов			Средние	
Ar	1442,8	1400,0	1384,0	1408,9	–
CO_2	140,2	138,2	138,0	138,8	90,2

Анализ зависимости влагопоглощительных способностей флюсов АНФ-6 и АН-291 от температур и времени их обработки в осушенном CO_2 позволил заключить, что наибольшему снижению влагопоглощительной способности способствует карбонизация флюсов в интервале температур 673...873 К. Для эффективного проведения карбонизации флюсов в указанном интервале температур достаточно 300 с выдержки в токе CO_2 . Полученные прокаливанием в диоксиде углерода при 873 К и при такой же температуре прокаливании в аргоне пробы флюсов выдерживались на воздухе. Оказалось, что обработка флюсов диоксидом углерода значительно снижает их влагопоглощительную способность (для исследованных флюсов 1,5...2,0 раза).

Карбонизация при повышенном давлении углекислого газа существенно изменяет пределы предварительной гидратации флюсов. В табл. 4 приведены результаты исследований влияния карбонизации, проведенной при повышенных давлениях, на влагопоглощительную способность некоторых флюсов.

Таблица 4

Пределы предварительной гидратации $Q_{\text{гидр}}$ и снижение влагопоглощительной способности f флюсов в зависимости от вида их обработки

Марка флюса	Газовая фаза	Давление, Па	$Q_{\text{гидр}}, \text{см}^3/100\text{г}$				$f, \%$
			Для параллельных опытов			Среднее	
“Бисра”	Ar	101325	24,7	26,0	24,9	25,2	–
		101325	12,9	18,2	15,8	15,6	38,1
	CO_2	101325	12,8	10,0	16,2	13,0	48,4
		2026500	25,7	26,6	28,1	26,8	–
АНФ-29	Ar	101325	29,5	26,4	–	27,9	–
		101325	19,7	21,6	–	20,7	25,8
	CO_2	101325	9,9	8,7	8,9	9,3	66,6
		2026500	34,9	28,8	36,2	33,3	–

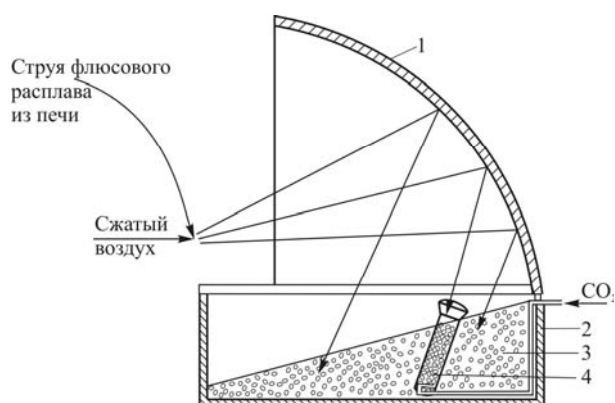


Рис. 3. Схема расположения трубы-сборника в системе технологического оборудования: 1 — экран; 2 — корзина-сборник; 3 — слой гранулированного флюса; 4 — труба-сборник

АН-291	Ar	101325	20,0	22,1	—	22,1	—
	CO ₂	101325	15,7	11,4	—	13,6	35,5
		101325	8,7	8,6	—	8,65	59,5
		2026500	8,6	6,4	—	7,5	64,5

Так, для флюса АН-291 карбонизация при 101325 Па CO₂ снижает влагопоглощительную способность на 35,5 %, а при 1013250 Па CO₂ — на 59,7 %. При дальнейшем повышении P_{CO₂} до 2026500 Па величина хотя существенно и не меняется, но остается очень высокой (64,5 %). Менее однозначным являются результаты по флюсам АНФ-29 и “Бисра”, хотя переход от P_{CO₂}= 101325 Па характеризуется изменением понижения влагопоглощительной способности соответственно от 25,7 до 66,7 % и от 38,1 до 48,4 %. Что касается очень низких значений при переходе к карбонизации при 2026500 Па, то для их осмысления и объяснения необходимо привлечение методов физико-химического анализа для уточнения фазового состава образцов карбонизированных флюсов. В целом, как показали результаты анализов, карбонизацию флюсов, как при повышенных давлениях, так и при давлении диоксида углерода 101325 Па, следует признать эффективным путем снижения их влагопоглощительной способности.

В производственных условиях Никопольского завода ферросплавов проведены промышленные испытания способа получения флюсов, обеспечивающего повышение их влагостойкости при открытом хранении на воздухе. В качестве объектов исследования были выбраны флюсы АНФ-29 и АНФ-25, содержащие в своем составе до 30 % оксидов кальция и магния. Выплавка флюсов производилась в трехфазных печах СКБ-6063 мощностью 2,5 МВт. Расплавленный флюс гранулировали потоком сжатого воздуха. Для использования остаточного тепла массы гранулированного флюса карбонизацию осуществляли в некотором ограниченном объеме корзины-приемника с помощью специальной трубы-сборника, которая представляет собой стальную трубу, заканчивающуюся в верхней части стальной воронкой, способствующей лучшему попаданию гранул внутрь. В нижней части трубы-сборника вварена газоподводящая трубка с серией мелких отверстий, обращенных к днищу во избежание их забивания. Схема расположения трубы-сборника в системе технологического оборудования изображена на рис. 3. Подача диоксида углерода в трубу-сборник начиналась перед выпуском флюса с целью предварительного вымывания воздуха и продолжалась в течение нескольких часов до полного охлаждения всей массы гранул.

Отбор проб осуществляли в трех точках: из струи расплава, из слоя флюса в корзине-приемнике и из трубы-сборника. Это давало возможность сопоставить данные о содержании водорода в гидратированных пробах после проведения карбонизации с водородосодержанием гидратированных, но предварительно не карбонизированных частей флюса той же плавки и с исходными значениями Н в жидком флюсе. Из струи расплава отбор производился с помощью специального механического пробоотборника, обеспечивающего получение застеклованных негидратирующихся проб в виде пластинок. Пробы застеклованных флюсов до анализа хранились в специальном герметичном эксикаторе. Пробы гранулированных флюсов (для обеспечения протекания процесса гидратации) хранились на воздухе в течение двух недель. В табл. 5 приведен

состав шихты промышленных флюсов для проведения плавки. Температура струи жидкого флюса в момент его выпуска составляла 1853...1823 К. Результаты анализа проб, взятых в различных плавках, на содержание водорода и снижение влагопоглощительной способности f гранулированных флюсов после их гидратации представлены в табл. 6. Как следует, гранулированные флюсы подвергались гидратации, в результате чего содержание водорода в них увеличилось по сравнению с исходным.

Таблица 5

Состав шихты промышленных флюсов АНФ-29 и АНФ-25

Марка флюса	Состав шихты флюсов, кг				
	Флюоритовый концентрат	Глинозем	Негашеная известь	Магнезит каустический	Кварцевый песок
АНФ-25	2100	400	170	400	70
АНФ-29	1400	400	700	80	320

Таблица 6

Содержание водорода H и снижение влагопоглощительной способности f флюсов в зависимости от условий их получения

Марка флюса	Условия получения	H , см ³ /100 г			
		Данные параллельных опытов		Средние	Δf , %
АНФ-25	Застеклованные	27,3	27,1	27,2	–
	Некарбонизированные	53,8	54,6	54,2	–
	Карбонизация в трубе-сборнике	45,4	45,2	45,3	16,4
	Грануляция-карбонизация смесью воздуха и CO ₂	54,3	58,2	56,3	–
АНФ-6	Застеклованные	17,9	17,7	17,8	–
	Некарбонизированные	54,9	53,9	54,5	–
	Карбонизация в трубе-сборнике	41,8	40,8	41,3	24,1
	Грануляция-карбонизация смесью воздуха и CO ₂	56,2	55,1	55,7	–

Прежде чем приступить к обсуждению остальных данных таблицы 6, следует принять во внимание и результаты анализа части тех проб гранулированного, но не карбонизированного в цеховых условиях флюса (отобранных из корзины-приемника), которые затем подвергались карбонизации в лабораторных условиях при 873 К и атмосферном давлении CO₂. Их анализу предшествовала также выдержка на воздухе. С учетом данных о существенном снижении влагопоглощительной способности этих же флюсов после их карбонизации в лабораторных условиях представлены в табл. 7. Причина отсутствия высокого положительного результата карбонизации в цеховых условиях по флюсу АНФ-29 и незначительного эффекта по флюсу АНФ-25 может быть объяснена, прежде всего, низкой температурой гранул, омываемых диоксидом углерода в трубе-сборнике.

Таблица 7

Содержание водорода H и снижение влагопоглощительной способности f флюсов в зависимости от вида их обработки в лабораторных условиях

Марка флюса	Газовая фаза	H , см ³ /100 г			
		Данные параллельных опытов		Средние	Δf , %
АНФ-25	Ar	58,0	57,6	57,8	–
	CO ₂	32,1	30,6	31,3	45,9
АНФ-6	Ar	55,1	55,2	55,2	–
	CO ₂	36,8	36,2	36,5	34,2
АНФ-29	Ar	35,1	33,4	34,3	–
	CO ₂	7,5	7,9	7,7	77,6

Согласно замерам, проведенным в этом сборнике с помощью хромель-алюмелевых термопар на различных уровнях, максимальная температура там не превышала 473 К и в течение 180 с после заполнения флюсом снижалась до 323 К.

Поскольку предварительные лабораторные исследования и термодинамический анализ указывали на необходимость проведения карбонизации в условиях весьма высоких температур, была предпринята попытка совместить процесс карбонизации с сухой грануляцией. Для исследований были использованы флюсы АНФ-6 и АНФ-25. Оказалось, что процесс их карбонизации в трубе-сборнике протекал более интенсивно. Влагопоглотительная способность флюса АНФ-6 в результате карбонизации (процесс осуществлялся в трубе-сборнике) была снижена на 24 %, а АНФ-25 на 16,4 %. Определенную роль сыграла температура в трубе-сборнике, которая оставалась в течение $36 \cdot 10^2$ с в пределах 873...573 К. Низкие результаты совмещенного процесса карбонизации и грануляции можно, очевидно, объяснить двумя факторами: очень высокой температурой расплава и недостаточным количеством содержащегося в смеси углекислого газа. В целом же экспериментально подтверждена эффективность способа применительно к производству флюсов АНФ-6 и АНФ-25.

Литература

1. Водород в процессах электрошлакового переплава сталей /И.А. Новохатский, В.Я. Кожухарь, О.Н. Романов, В.В. Брем. — Одесса: Астропринт, 1997. — 212 с.
2. Термохимические свойства неорганических веществ: справочник. — М.: Атомиздат, 1965. — 460 с.
3. Брем В.В. Фізико-хімічні властивості наплавлених флюсів / В.В. Брем, В.Я. Кожухар, Ю.М. Спутатов. — Одеса: Екологія, 2005. — 108 с.
4. Брем В.В. Розчинність водню у фторидно-оксидних розплавах / В.В. Брем, В.Я. Кожухар. — Одеса: Екологія, 2008. — 124 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Эрайзер Л.Н.

Поступила в редакцию 16 сентября 2009 г.