

УДК:536.46;546.669;662.983

## АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОВОЛЬФРАМА

Н.Ю. Головченко, Г.И. Ксандопуло, С.Х. Акназаров, Б. Оразбаева,  
С.Б. Саматова, Д.А. КубаеваКазахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан  
Институт проблем горения, Алматы, Казахстан  
Казахстан, Алматы, Богенбай батыра 172, teya86@mail.ru

## Аннотация

Степень извлечения металлов из оксидов зависит от целого ряда физико-химических факторов: температурных условий плавки, скорости плавления шихты, полноты протекания диффузионных процессов. Определены скоростные параметры горения при совместном восстановлении оксида вольфрама и триоксида железа и факторы, влияющие на скорость горения шихты. Скорость горения шихты является одним из определяющих параметров, влияющих на показатели (выход сплава, извлечение металла) металлотермического процесса. Было установлено, что для получения металла и сплава рационально введение алюминия к качеству балласта от 10 до 20%. При этом скорость горения  $WO_3 - 17,2 - 17,9 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$ , для  $Fe_2O_3 - 2,0 - 2,25 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$ .

**Ключевые слова:** алюмотермия, ферровольфрам, оксиды, шихта, горение, сплав, металл

## Введение

Скорость алюмотермического процесса обусловлена влиянием большого числа факторов. Прежде всего скорость зависит от теплохимических параметров реакционной массы, тепловых условий протекания процесса и механизма алюмотермической реакции.

Для внепечных процессов более подробно изучено влияние технологических факторов: состав и масса шихты, температура процесса, предварительный подогрев шихты, форма и удельная поверхность порошков, внешнее давление, крупность шихтовых материалов, плотность шихты, применение подогревающих, балластных и флюсующих добавок и т.д.

Для оценки скорости процессов, протекающих в конденсированных фазах можно использовать следующие выражения [2]:

а) линейная скорость горения, определяемая по высоте столба прореагировавшего расплава  $h$ :

$$v_h = \frac{h}{\tau} \text{ (см/сек);} \quad (1)$$

б) объемная скорость горения:

$$v_s = V_n S = \frac{hS}{\tau} \text{ (см}^3\text{/сек),} \quad (2)$$

где  $S$  – поверхность протекания реакции;

в) масса прореагировавших веществ, определяется из соотношения:

$$v_m = v_s d = \frac{hSd}{\tau} = \frac{m}{\tau} \text{ (г/сек),} \quad (3)$$

где  $d$  – плотность шихтовых материалов.

Для нормального протекания промышленной внепечной плавки алюмотермических ферросплавов и лигатур необходимо, чтобы скорость проплавления шихты в зависимости от физико-химических свойств шихтовых материалов и продуктов плавки находилась в пределах от 100 до 400  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{мин}$ .

Для оценки скорости восстановления оксидов алюминием могут быть использованы различные выражения, характеризующие скорость протекания реакций в конденсированных фазах, в зависимости от цели и методов исследований характеристик алюмотермического процесса [3].

В лабораторных исследованиях часто используется линейная скорость  $V_h$ , см/с, горения экзотермических составов, определяемая как отношение высоты столба шихты  $h$  к времени горения состава.

Метод измерения линейной скорости очень прост – фиксируется время от запала шихты до начала резкого отклонения в показаниях термопары, установленной на дне тигля [4] и не требует сложных расчетов:

$$V_h = h/\tau \quad (4)$$

### Методика эксперимента

В работе для определения скорости горения использовалось выражение скорости реакции экзотермических смесей, пригодное для сравнения скоростей различных процессов – секундный расход массы  $V_m$ :  $\text{г/см}^2 \cdot \text{С}$ .

$$V_m = V_m/S = m/St, \quad (5)$$

где  $V_m = m/t$ ,  $S$  – площадь поверхности горения.

Скорость горения определялась термомпарным способом. Хромель-алюмелевые термопары размещались в отверстия боковых стенок фарфоровых необожженных стаканчиков. Термопары диаметром нитей 100 мкм заправленные в керамическую соломку подсоединялись к шлейфному осциллографу марки НО114М. после сбора установки и засыпки шихты в реактор она поджигалась нихромовой спиралью через лабораторный трансформатор. Сигналы от термопар фиксировались на фото-

бумаге осциллографа. По полученным данным скорости протяжки фотобумаги и времени горения шихты определялась скорость горения.

### Результаты и обсуждения

#### *Влияние количества восстановителя на скорость проплавления шихты*

Для определения скорости горения и ее пределов для систем  $\text{WO}_3\text{-Al}$  готовились образцы с разным содержанием алюминия от минус 10% до 300% от стехиометрического соотношения. Данные проведенных экспериментов в таблице 1. Здесь же даны результаты по определению плотности полученного металла. Величина плотности металла является важной характеристикой процесса, поскольку она косвенным образом характеризует состав металлической фазы: чем ближе ее значение к плотности вольфрама, тем меньше содержится примесей в сплаве.

Таблица 1 – Скорость горения триоксида вольфрама

№	Шихта, г		Превышение количества Al над стехометр. концентр., %	Скорость горения, $\text{г/см}^2 \cdot \text{с}$	Плотность сплава, $\text{г/см}^3$
	Триоксид вольфрама	Алюминий			
1	250	52,2	-10	16,3	18,8
2	250	58,0	0	18,1	18,9
3	250	63,8	10	17,7	19,0
4	250	69,6	20	17,4	19,1
5	250	87,0	50	16,8	18,9
6	250	116	100	16,1	-
7	250	145	150	6,9	-
8	250	232	300	4,0	-

При дальнейшем увеличении алюминия скорость падает и процесс приобретает более спокойный характер. При скорости горения  $3,8\text{--}4,0 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$  продукты реакции представляют собой, спек без фазоразделения. В интервалах отклонения от стехиометрии (-10) – (+100) скорость горения снижается в пределах 10%.

При 150% она снижается почти в 3 раза, а при 300% в 4 раза. При этом плотность сплава имеет свою максимальную величину  $19,1 \text{ г/см}^3$  при избытке алюминия на 20%. При дальнейшем увеличении алюминия плотность сплава

уменьшается (рис. 1). Особенно наглядно влияние алюминия в качестве балластной добавки на параметры процесса горения представлено на рисунке 1. Для кривой, характеризующей изменение плотности ( $\square$ ), наблюдается острый максимум, свидетельствующий о существовании оптимального значения отклонения содержания добавки от стехиометрического соотношения, превышение которого неблагоприятным образом скажется на качестве получаемого продукта реакции.

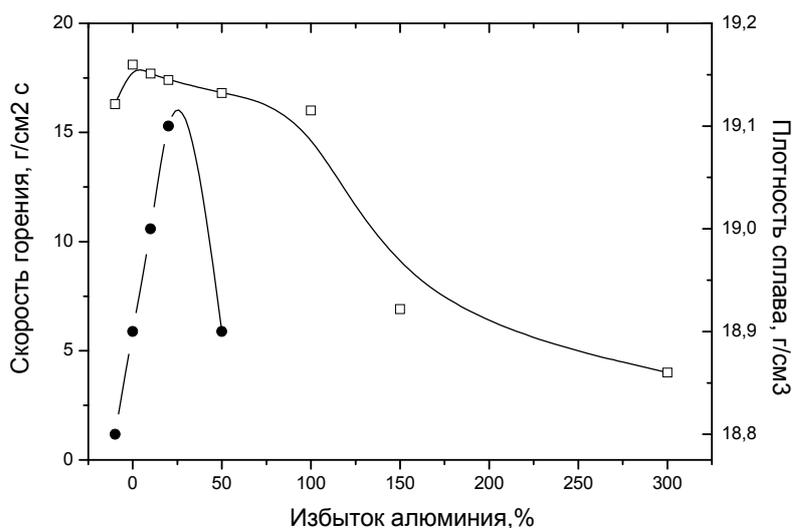


Рис. 1 – Зависимость скорости горения и плотности сплава от избытка алюминия

Используемое сырье для получения ферровольфрама представляет собой не монооксид вольфрама, а смесь оксидов ( $WO_3$ ;  $Fe_2O_3$ ;  $MnO$  и др.).

Для определения скорости горения шихты, вначале определялась скорость горения основных оксидов, содержащихся в концентрате – оксида вольфрама и триоксида железа – в зависимости от количества восстановителя; и смесь  $WO_3$  с  $Fe_2O_3$  в соотношении, необходимом для получения ФВ-70.

В необожженные керамические реакторы объемом 250 мл засыпалась шихта. Одна термомпара размещалась на поверхности шихты, вторая на дне реактора.

На рисунке 2 дана графическая зависимость изменения скорости горения шихты от количества алюминия.

В процессах, протекающих без заметного, или с незначительным образованием паровой фазы, максимум скорости при стехиометрическом составе реакционных смесей или близкого к нему.

Для скорости горения граничные условия содержание балластных добавок, в качестве которых выступает алюминий, колеблются в широких пределах, но для получения металла и сплава рационально введение алюминия в качестве балласта от 10 до 20%.

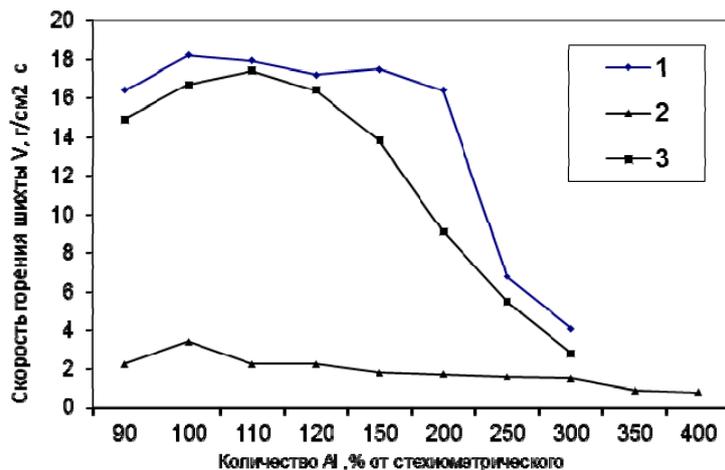
При этом скорость горения  $WO_3$  – 17,2 – 17,9 г/см<sup>2</sup> · с, для  $Fe_2O_3$  – 2,0 – 2,25 г/см<sup>2</sup> · с.

Характер изменения скорости процессов алюмотермического восстановления оксидов вольфрама и железа в зависимости от концентрации алюминия в реакционной смеси систем описывается кривыми с хорошо выраженным максимумом.

Эти эксперименты дают возможность сделать выводы о кинетике алюмотермического процесса оксидов вольфрама и железа и их смеси.

Скорость процессов взаимодействия оксидов с алюминием в зависимости от концентрации алюминия подразделяется на две области: кинетическую (восходящая ветвь кривой; область собственно химической кинетики, взаимодействие в которой обусловлено реакциями на поверхности конденсированных фаз с участием газовой фазы) и диффузионную (нисходящая ветвь кривой), где участвует только жидкая фаза благодаря избыточному количеству металла-восстановителя и расплавления оксидов.

Кинетика этих процессов определяется, в основном, явлением диффузий в сложных расплавах. Как отмечает Костфард [5], жидкие оксиды, по-видимому, не являются эффективным барьером для диффузии, а ее скорость очень велика по сравнению с диффузией в твердых телах.



1 – горение  $WO_3$ ; 2 – горение  $Fe_2O_3$ ; 3 – горение системы  $WO_3 + Fe_2O_3$

Рис. 2 – Зависимость скорости горения шихты от количества алюминия

### **Влияние различных железосодержащих компонентов на скорость горения**

На основании полученных результатов горения чистых оксидов вольфрама, триоксида железа их смеси с алюминием исследовалась скорость горения шихты из вольфрамитового концентрата разного состава.

При внепечном алюминотермическом способе в качестве вольфрамсодержащего сырья используются различные концентраты: шеелитовый и ферберитовый [6;7].

В нашей работе использовался вольфрамитовый концентрат ТОО «Караоба», содержащий в своем составе оксиды вольфрама, железа, марганца и кремния. Скорость горения многокомпонентной металлотермической системы отличается от характера горения чистых оксидов.

В шихту для получения ФВ-70 в качестве железосодержащего компонента вводилась железная стружка, играющая роль балласта, так как на плавление ее расходуется энергия алюминотермического процесса, окалина и смесь железной стружки и окалина.

Высокие скорости характерны для экзотермических реакций, протекающих с избытком тепла, что приводит к бурному протеканию процесса и выбросом расплава (варианты шихты при использовании триоксида железа как железосодержащего компонента). В этих случаях необходимо применять меры к сниже-

нию удельной теплоты процесса (балластные добавки и др.).

Вариация смеси железа и железной стружки проводилась таким образом, чтобы количество железосодержащего компонента было равным количеству железа для вариантов шихты с чистым железом или только с чистым оксидом (таблица 2).

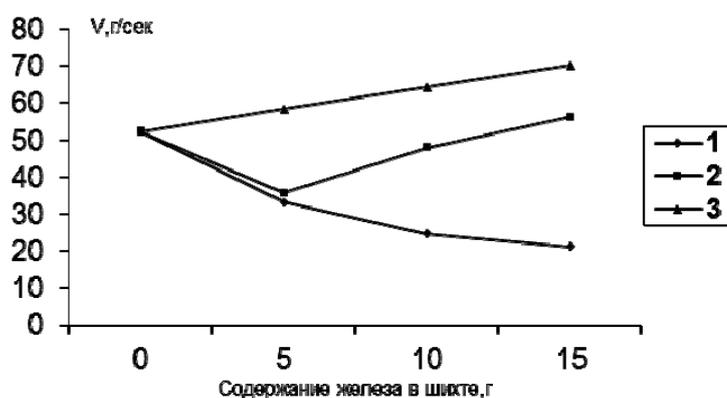
В составе шихты менялось количество железной стружки кривая 1 на рисунке 3, варьируется железная стружка и триоксид железа с соблюдением содержания железа в сплаве во всех вариантах. Кривая 2 часть железной стружки заменяется триоксидом железа в эквивалентной величине стружки.

В шихте самая высокая скорость горения при отсутствии в шихте железа, по мере увеличения количества стружки скорость горения падает, вследствие того, что вводимая стружка не привносит в металлотермическую систему дополнительное количество энергии, а является балластом, требующим расхода тепла на ее плавление.

Во втором и третьем вариантах экспериментов происходит повышение скорости горения по мере увеличения оксида железа, алюминия в шихте, так как триоксид железа с алюминием является высокотермической смесью. Максимальная скорость горения этого состава шихты при содержании оксида железа 15 г.

Таблица 2 – Скорость горения шихты в зависимости от содержания железосодержащих компонентов

	Состав шихты, г					Вес шихты, г	Скорость горения, г/сек
	Концентрат	Алюминий	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Железная стружка	Плавиновый шпат		
1	200	50	-	-	11,2	261,2	52,25
	200	50	-	5	11,2	266,2	33,28
	200	50	-	10	11,2	271,2	24,6
	200	50	-	15	11,2	276,2	21,2
2	200	50	-	-	11,2	261,2	52,3
	200	51,2	3,5	2,5	11,2	268,4	35,7
	200	53,0	8,6	4	11,2	276,8	48
	200	55,0	14,3	5	11,2	285,5	56,2
	200	57,3	21,5	-	11,2	290,0	69,7
3	200	50	-	-	11,2	261,2	52,25
	200	52,4	7,1	-	11,2	270,7	58,4
	200	54,8	14,3	-	11,2	280,3	64,2
	200	57,3	21,5	-	11,2	290,0	70,1



1 – шихта с железной стружкой; 2 – шихта со смесью железной стружки и окалины; 3 – шихта с триоксидом железа

Рис. 3 – Скорость горения шихты при различном количестве железосодержащего компонента

На рисунке 3 наглядно видно изменение скорости горения различных составов шихты.

Во втором и третьем вариантах экспериментов происходит повышение скорости горения по мере увеличения оксида железа, алюминия в шихте, т.к. триоксид железа с алюминием является высокотермической смесью.

Максимальная скорость горения этого состава шихты при содержании оксида железа составляет 15 г.

**Зависимость скорости горения от крупности шихтовых материалов**

Степень измельчения шихтовых материалов может существенно влиять на скорость проплавления шихты, поэтому в ряде случаев

изменение крупности материалов используется для подбора необходимой скорости процесса.

Скорость химической реакции зависит от величины поверхности раздела фаз; поэтому увеличение крупности шихтовых материалов и вызвано тем самым сокращением удельной поверхности реагентов, скорость алуминотермического процесса уменьшается [8;9].

При определенной величине зерна тепла, выделяющегося в результате реакций, оказывается недостаточно для нагрева последующих порций шихты до температуры начала самопроизвольного процесса и проведение внепечной алуминотермической плавки становится невозможным. С другой стороны, переизмельчение шихтовых материалов ведет к повышенному угару восстановителя, значительному

выносу шихтовых материалов, что может явиться причиной взрыва.

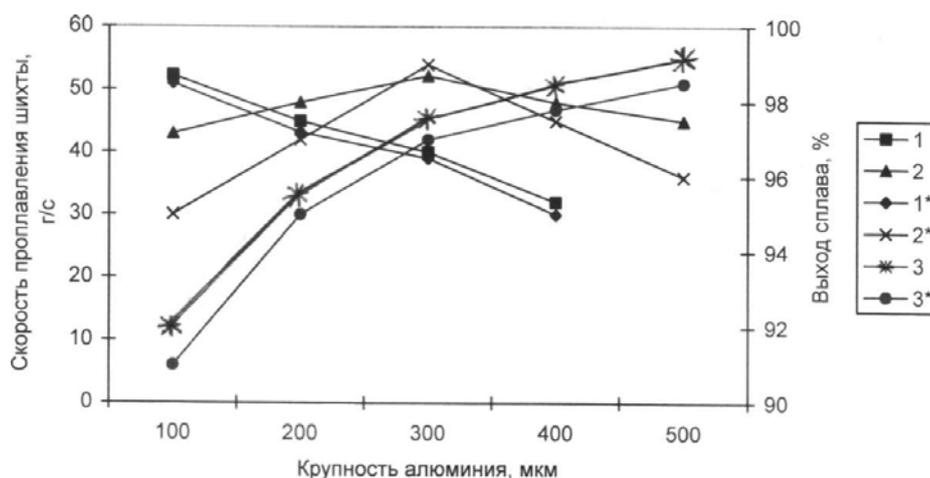
Для исследования влияния шихтовых материалов на скорость горения шихты из вольфрамитового концентрата. Вольфрамитовый концентрат и алюминиевый порошок, производства ТОО «Флога», рассеивались на фракции, а затем готовилась шихта из вольфрамита и алюминия одинаковой крупности.

Размер алюминиевого порошка выбирается в зависимости от крупности оксидов и условий проведения процесса. В целях максимального развития восстановительных реакций размер восстановителя должен выбираться

таким образом, чтобы после смешивания шихтовых материалов в каждой элементарной частицы, вступающей в реакцию, компоненты находились в стехиометрическом соотношении (с учетом коэффициентов восстановления оксидов). Очевидно, что для достижения стехиометрического соотношения реагентов в каждый момент проплавления шихты необходимо, чтобы отношение объемов зерен оксида и восстановителя соответствовало отношению их грамм-эквивалентных объемов, в таблице 3 данные для оксидов, присутствующих в используемом вольфрамитовом концентрате и триоксиде железа.

Таблица 3 – Соотношение грамм-эквивалентных объемов восстанавливаемых оксидов алюминием[3]

Восстанавливаемый оксид	Объем грамм – эквивалента оксида ( $V_{OK}$ )	$V_{OK}/V_{Al}$	$d_{Al}/d_{OK}$
$Fe_2O_3$	5,1	1,55	0,86
$SiO_2$	6,5	1,97	0,80
$Mn_2O_3$	5,9	1,78	0,83
$WO_3$	5,1	1,63	0,85



1 – скорость горения, 1\* – выход сплава при крупности концентрата 100 мкм;  
 2, 2\* – скорость горения и выход сплава при крупности концентрата 300 мкм;  
 3, 3\* – Скорость горения и выход сплава при крупности концентрата 500 мкм

Рис. 4 – Влияние размера зерна алюминия на скорость горения шихты и выход сплава при размере зерен концентрата 100, 300 и 500 мкм

Из приведенных в таблице данных следует, что для используемых оксидов для процессов внепечной алюминотермии, грамм-эквивалентный объем превышает объем грамм-эквивалента алюминия в 1,5-1,9 раз. На рисунке 4 дана графическая зависимость влияния крупности компонентов на скорость проплавления шихты и выход сплава. Чем ближе компоненты шихты по своей крупности, тем

выше скорость реакции и выход сплава. Максимальная скорость проплавления шихты при одинаковых размерах зерен восстановителя и восстанавливаемого оксида.

**Влияние флюсующих добавок на скорость проплавления алюминотермических шихт**

Влияние добавки флюсов на скорость проплавления алюминотермических шихт

определяется их технологической ролью в процессе восстановления оксидов металлов алюминием. Влияние состава шлака на выход восстанавливаемого оксида оказывается решающим при большинстве процессов получения ферросплавов. Важной характеристикой шлаков, от которой значительно зависят результаты плавки, является вязкость. На вязкость шлаков оказывает влияние температура и их химический состав. Во всех случаях повышение температуры уменьшает вязкость шлаков, в результате чего возрастает скорость восстановительных процессов вследствие увеличение подвижности реагирующих частиц; кроме того, понижение вязкости приводит к более полному осаждению частиц сплава, благодаря чему повышается выход восстанавливаемого элемента. Необходимые физико-химические свойства шлака часто можно получить введением в шихту флюсов: извести, плавикового шпата, кварцита и др. При алюминотермическом восстановлении, добавка извести приводит к положительному результату за счет того, что СаО резко понижает температуру плавления высокоглиноземистых шлаков и увеличивает их подвижность [10].

Основной целью ведения в состав шихты флюсующей добавки является получение после окончания восстановительных реакций шлакового расплава с определенными физико-химическими характеристиками с целью наиболее полного разделения металлической и

шлаковой фаз. Применение в качестве флюса оксида кальция, точка плавления которого превышает температуру процесса и переход которого в раствор происходит, очевидно, путем растворения извести в жидком глиноземистом шлаке [3]. Плавясь в ходе процесса за счёт тепла экзотермических реакций, оксид кальция (как и оксид магния) уменьшает температуру расплава, а, следовательно, и скорость проплавления шихты. Закономерности снижения скорости проплавления шихты от добавок оксида кальция или оксида магния установлены в работе [2;5]. Иное влияние на скорость проплавления шихты оказывают добавки плавикового шпата, роль которого, очевидно, отличается от роли оксидов кальция и магния. Добавка плавикового шпата значительно ускоряет миграцию восстановителя из гранулы алюминия и улучшает смачиваемость поверхности оксида.

Указанные обстоятельства должны ускорять процессы низкотемпературного восстановления оксидов металлов алюминием: о значительном снижении температуры возгорания смеси оксидов железа и вольфрама с алюминием и интенсификации протекания процесса при добавке фторида кальция свидетельствуют данные, приведенные в таблице 4, где количество плавикового шпата дается на 100 г оксида при стехиометрическом соотношении оксида с алюминием.

Таблица 4 – Влияние добавки плавикового шпата на температуру возгорания оксида железа и вольфрама [2]

Оксид	Количество добавки СаF <sub>2</sub>		Температура возгорания, ± 25 °К
	г	г-атом	
Оксид железа	-	-	1430
	1,69	0,07	1100
	6,75	0,26	1070
Оксид вольфрама	-	-	1160
	4,66	0,18	1070
	7,00	0,27	1050

Определение влияния добавок плавикового шпата на скорость горения шихты из вольфрамитового концентрата проводилось на образцах, состоящих из 200 г концентрата и 50 г алюминия. Добавка плавикового шпата производилась в процентах от количества алюминия и изменялась от 0 до 35%.

Небольшие добавки плавикового шпата приводят к заметному возрастанию скорости

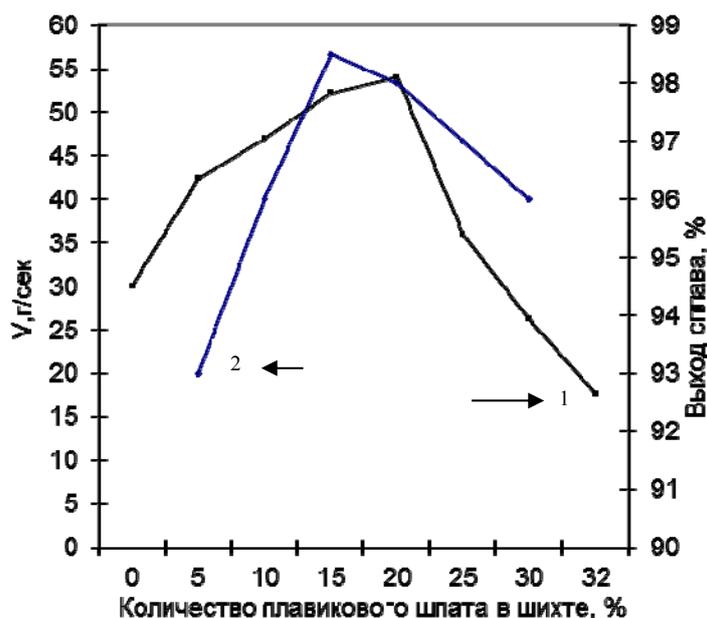
проплавления шихты. При дальнейшем увеличении количества плавикового шпата скорость проплавления шихты начинает снижаться.

Роль плавикового шпата как активатора алюминотермического восстановления, можно объяснить в первую очередь его способностью растворять глинозем с уменьшением температуры ликвидуса расплава по сравнению с точкой плавления чистого оксида алюминия [11].

Это способствует удалению твердой оксидной пленки с алюминия и облегчению растворения глинозема, получаемого в результате реакций, что особенно важно в начальных стадиях восстановления, когда температура расплава еще не достигла точки ликвидуса образующегося шлака. В результате протекания процессов растворения оксида алюминия, обусловленных присутствием плавикового шпата, снижается температура начала взаимодействия жидких расплавов и облегчается диффузия

реагентов к границе их раздела, чем, по-видимому, объясняется увеличение как скорости проплавления шихты, так и выход сплава. По результатам экспериментов определено оптимальное количество добавки плавикового шпата при выплавке ферровольфрама из концентрата (15-18% от количества алюминия).

На основании полученных экспериментальных данных представлены результаты зависимости изменения скорости горения шихты и выход сплава (рис. 5).



1 – выход сплава, %; 2 – скорость горения шихты, г/сек

Рис. 5 – Влияние количества плавикового шпата на скорость горения шихты и выход сплава

Использование плавикового шпата увеличивает не только скорость проплавления шихты, но и выход сплава.

Как следует из рисунка максимум на кривых 1 и 2 (скорость проплавления и выход сплава) при получении ферровольфрама из вольфрамитового концентрата достигается примерно при одной и той же величине добавок плавикового шпата.

### Выводы

Установлены концентрационные и скоростные пределы горения системы  $WO_3-Al-Fe_2O_3$ . Пределы горения системы находятся в интервале 4,0-18,1 г/см<sup>3</sup> при разбавлении от 10

до 300% балластом и шихты из вольфрамитового концентрата.

Определены скоростные параметры горения при совместном восстановлении оксида вольфрама и триоксида железа и факторы, влияющие на скорость горения шихты.

Было установлено, что для скорости горения и граничные условия содержания балластных добавок, в качестве которых выступает алюминий, колеблются в широких пределах, но для получения металла и сплава рациональное введение алюминия к качеству балласта от 10 до 20%. При этом скорость горения  $WO_3$  – 17,2 – 17,9 г/см<sup>2</sup> сек., для  $Fe_2O_3$  – 2,0 – 2,25 г/см<sup>2</sup> сек.

## Литература

- 1 Рысс М.А. Производство ферросплавов. – М.: Металлургия, 1985. – 244 с.
- 2 Плинер Ю.Л., Дубровин А.С. О скорости процесса алюминотермического восстановления. – М.: ЖПХ, 1964.
- 3 Golovchenko N.Yu., Bairakova O.S., Ksandopulo G.I., Aknazarov S.Kh. Reception Ferrotungsten from Wolframite Concentrate by Aluminotermic Method // Eurasian Chem.-Technol. Journal. – Almaty. – 2011. – № 13. – P.205-212.
- 4 Плинер Ю.Л., Игнатенко Г.Ф., Рубинштейн Е.А. Металлотермия. Труды Ключевского завода ферросплавов. М.: Металлургия, 1965. – Вып. 2. – С. 27-35.
- 5 S. Aknazarov, N. Golovchenko, O. Bayrakova, O. Golovchenko Mechano-Activation and SHS of Difficultly Taken Ore // ISSN 2308-4804 International scientific journal "Science and World". – Volgograd. – 2013. – №1(1). – P.58-65.
- 6 Зеликман А.Н., Никитина Л.С. Вольфрам. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.
- 7 Golovchenko N.Yu., Aknazarov S.Kh., Golovchenko O.Yu., Bayrakova O.S. The use of wet mechanical activation for opening refractory ores and precious metal recovery. – Germany. – 2013. – P. 750-756.
- 8 Плинер Ю.Л., Сучильников С.И., Рубинштейн Е.А. Алюминотермическое производство ферросплавов и лигатур. – М.: Металлургиздат, 1963. – 176 с.
- 9 Коновалов Р.П., Шнееров Я.А., Поляков В.Ф. и др. Применение гранулированного алюминия в смесях для утепления прибыльной части слитка // Сталь. – 1984. – №4. – С.29-30.
- 10 Алюминотермия / под ред. Лякишева Н.П. – М.: Металлургия, 1978. – 424 с.
- 11 Golovchenko N. Yu., S. Kh. Aknazarov, G.I. Ksandopulo, A. Mukasyan Extraction of ferrotungsten from the ore with low WO<sub>3</sub> concentration // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – Russia. – 2012, vol. 21. – № 3, P. 156-161.

---

## STUDY OF SPEED FOR ALUMINOTERMIC PROCESS OF OBTAINING FERROTUNGSTEN

**N.Y. Golovchenko, G.I. Ksandopulo, S.Kh. Aknazarov, B. Orazbaeva, S.B.Samatova, D.A.Kubaeva**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan  
Institute of Combustion Problems, Bogenbai batyr st. 172, Almaty, Kazakhstan

### Abstract

The degree of extraction of metals from oxides depends on a number of physical and chemical factors: temperature conditions of melting, melting rate of the charge, the completeness of diffusion processes. Speed combustion parameters defined under the joint recovery of tungsten oxide and iron trioxide and the factors influencing the rate of combustion of the mixture. The burning rate of the charge is one of the key parameters that affect the performance (yield of alloy, metal recovery) of metallothermic process. It has been found that to obtain a metal alloy and aluminum to efficiently introducing ballast from 10 to 20%. The rate of combustion of WO<sub>3</sub> – 17,2 – 17,9 g/cm<sup>2</sup> · s, for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,0 – 2,25 g/cm<sup>2</sup> · s.

**Keywords:** aluminotermic, ferrotungsten, oxides, charge, gorenje, alloy, metal

**ЖЫЛДАМДЫҚТЫҢ БАЙҚАУЫ АЛЮМИНОТЕРМИЯНЫҢ  
ФЕРРОВОЛЬФРАМНЫҢ АЛ-ҮДЕРІСІНІҢ**

**Н.Ю. Головченко, Г.И. Ксандопуло, С.Х. Акназаров, Б. Оразбаева,  
С.Б. Саматова, Д.А. Кубаева**

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
Жану проблемалары институты, Богенбай батыра 172, Алматы, Қазақстан

**Аннотация**

Оксидтерден металдарды алу дәрежесі бірқатар физика-химиялық факторларға байланысты: балқудың температуралық жағдайлары, шихтаның балқу жылдамдығы, диффузиялық процестердің толықтығы. Шихтаның жану жылдамдығы металлотермиялық процестің көрсеткіштеріне (қорытпаның шығуы, металдың алынуы) әсер ететін анықтаушы параметрлердің бірі болып табылады. Металл мен қорытпаны алу үшін алюминийді балласт ретінде 10-нан 20% - ға дейін енгізу ұтымды екендігі анықталды. Бұл ретте  $WO_3$  жануының жылдамдығы –  $17,2 - 17,9 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$ ,  $Fe_2O_3$  үшін –  $2,0 - 2,25 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$ .

**Түйін сөздер:** алюмотермия, ферровольфрам, оксидтер, шихта, жану, қорытпа, металл