

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 4 (2022)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/UNEK4627>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

Е. Көбеген¹, * Д. А. Есенғалиев², Б. С. Келаманов³.

^{1,2,3}Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актөбе

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМОВОЙ РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОКСА КНР

Восстановление элементов из оксидов относится к числу наиболее распространенных и сложных видов металлургических процессов. От глубины понимания этих процессов во многом зависят интенсификация и создание новых эффективных технологий переработки рудного сырья.

Знакомство и анализ значительного количества работ по термодинамике, кинетике и механизму восстановления элементов из хромсодержащих материалов показали, что у исследователей существуют разные взгляды по этим вопросам. Наиболее вероятный механизм восстановления хрома и железа из хромитовых руд твердым углеродистым восстановителем описывается газофазно-твердофазной схемой с участием неустойчивых газообразных частиц.

Статья посвящена изучению процессов твердофазного восстановления хромовой руды с использованием для восстановления кокса Китайской народной республики (КНР). В работе приводится описание методики проведения лабораторных исследований, расчет шихтовых материалов и результаты исследований. Представлены результаты твердофазного восстановления хрома из хроморудного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температурах 1450 °С, 1500 °С и 1600 °С. Представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома. Материалы статьи могут использоваться инженерами-металлургами и научными работниками занимающимися процессами улучшения технологии производства феррохрома.

Ключевые слова: хромовая руда, восстановление, хромовый концентрат, степень восстановления, феррохром.

Введение

Вопросами использования металлизированных хромитовых материалов (окатышей, брикетов) многие годы занимались различные исследователи [1–6]. Наиболее вероятный механизм восстановления хрома и железа из хромитовых руд твердым углеродистым восстановителем описывается газофазно-твердофазной схемой с участием неустойчивых газообразных частиц. Непосредственным восстановителем оксидов являются атомы углерода, которые доставляются к поверхности зерен хромита по трещинам в зернах и порам вмещающей породы

газообразными углеродсодержащими молекулами. Переносчиками углерода могут быть неустойчивые молекулы и радикалы: C_3O_2 , CH_4 , CH_3 , CH_2 , CH и др., которые в результате многократного повторения актов распада и соединения являются эстафетным механизмом, доставляющим химически активные атомы углерода в глубь куска руды. Вторая часть данной схемы предполагает, что восстановление элементов доставленным к оксидам углеродом, происходит за счет диффузии катионов и анионов в решетке хромита по направлению к поверхности зерна, т.е. является твердофазным и может иметь электрохимическую природу.

Для проведения экспериментальных исследований по предварительному восстановлению хрома из хромитовых руд необходимо учитывать следующее:

- температура начала восстановления железа из $FeO \cdot Cr_2O_3$ руды составляет $912\text{ }^\circ\text{C}$, следовательно, температура процесса предварительного восстановления железа должна быть выше данного значения;

- температура начала восстановления хрома из руды с образованием карбидов составляет $1130\text{--}1160\text{ }^\circ\text{C}$, следовательно, температура процесса предварительного восстановления хрома должна быть выше данного значения;

- температура начала восстановления хрома из руды с образованием металлического хрома выше, чем температура образования карбидов хрома и составляет $1240\text{ }^\circ\text{C}$, следовательно, процесс восстановления хромитовых руд всегда протекает с образованием карбидов хрома, что необходимо учитывать при расчете количества восстановителя;

- учитывая выбранную схему карботермического восстановления хромитовых руд, можно отметить, что диффузия катионов и анионов в решетке хромита является лимитирующим звеном по скорости процесса восстановления, поэтому, для снятия кинетических затруднений необходимо стремиться получить наименьшую фракцию шихтовых материалов.

Материалы и методы

Описана методика проведения экспериментов с характеристикой лабораторно-исследовательского оборудования. В таблицах 1 и 2 представлены химический состав рудных материалов и технический состав восстановителей.

Расчет расхода восстановителей разного типа

Расчет состава шихты выполняем на 100 г хромового сырья.

Таблица 1 – Химический состав рудных материалов (ИХЛ Акт3Ф), %

Наименование рудного материала	Содержание компонентов								
	Cr_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	FeO	C	S	W
Хромовый концентрат ДОФ-1 ДГОК (0-3 мм)	52,8	6,4	0,3	19,6	7,5	12,3	0,05	0,01	0,24

Технический анализ восстановителей и анализ зольной части представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Технический анализ восстановителей, химический состав зольной части, %

Наименование материала	Технический анализ					Химический состав золы					
	W	V	A	S	P	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	MgO	CaO
Кокс КНР	0,98	3,1	13,2	0,36	0,008	12,5	15,4	40,4	–	7,1	10,8

При расчетах приняты следующие условия:

Степень восстановления хрома в расчете не закладывается, свыше стехиометрически необходимого для восстановителя коэффициент принимается 1,2. Степень восстановления железа, % – 100.

Методика расчета. Методика расчета стехиометрически необходимого количества восстановителя показана на примере хромового концентрата (таблица 1).

Потребность в углероде для восстановления 100г хромового концентрата составит:

Реакция	Расчет	Количество С, кг
$Cr_2O_3 + 3C = 2Cr + 3CO$	$(52,8 \cdot 0,85) \cdot 36/152 =$	10,63
$FeO + C = Fe + CO$	$(12,3) \cdot 12/72 =$	2,05
Итого		12,68

Часть углерода восстановителя пойдет на восстановление оксидов золы. Поэтому содержание активного углерода будет ниже. Однако, учитывая специфику процесса, отличающейся от электропечной плавки отсутствием жидкой фазы и крайне малым содержанием оксидов железа в зольной части восстановителя коэффициент избытка ($K_{изб}$) в расчетах с учетом угара принят равным 1,2. Тогда с учетом $K_{изб}$ количество необходимого твердого углерода составит 15,22 кг. В пересчете на кокс КНР это значение составит, г: $15,22 \cdot 100/82,35 = 18,48$, где, значение 82,35 - $C_{ТВ}$ в коксе ($C_{ТВ} = 100 - A - V - S - P - W$).

Полученное значение расхода кокса на 100г концентрата заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Соотношение материалов в брикете для полного восстановления хрома, г

Вариант	Материал	Вес
1	Концентрат (Cr_2O_3 -52,8%) ДГОК фракция исходная 0-3 мм	100
	кокс КНР	18,48
2	Концентрат (Cr_2O_3 -52,8%) ДГОК фракция молотая менее 0,074 мм	100
	кокс КНР	18,48

Изготовление опытных брикетов для полного восстановления хрома из руды

Общие условия – все восстановители имеют фракцию менее 0,074 мм; – соотношение восстановителя и руды не зависит от фракционного состава исходных материалов; – по каждому варианту изготовили 4 брикета (ориентировочный вес одного брикета 150 г.); - общее количество образцов - 16; - подбор влажности смеси устанавливается опытным путем; – сушка брикетов на воздухе в естественных условиях не менее 1 суток; – после полной сушки брикеты загружаются в печь для обработки. Изготовление брикетов производилось на промышленном прессе П-50.

Размеры формы для прессования образцов – 100×100×30 мм.

Режим предварительного восстановления для всех вариантов шихтовок:

– температура обжига 1450, 1500 и 1600 °С; - длительность обжига при рабочей температуре – 10 минут, 20 минут, 30 минут, 60 минут, 90 минут, 120 минут; – образцы загружались в печь с момента ее включения; – для опытов использовались алундовые тигли, закрытые крышкой из легковесного шамота для уменьшения окисления; – длительность нагрева печи с образцами всех вариантов до рабочей температуры 1 час; – охлаждение до комнатной температуры вместе с печью во всех вариантах опытов.

Химический анализ всех образцов проводили на следующие компоненты: $Cr_{мет}$, Cr_2O_3 . Химический анализ образцов в опытах с максимальным восстановлением хрома проводили на следующие компоненты: $Cr_{мет}$, Cr_2O_3 , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , CaO , $Fe_{мет}$, FeO , C , P , S . Оценку степени восстановления производили сравнительным образом по содержанию $Cr_{мет}$ на основе результатов химического анализа с хромом, введенным с рудным материалом.

Результаты и обсуждение

В таблицах 4, 5 и 6 представлены результаты твердофазного восстановления хрома из хроморудного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температурах 1450 °С, 1500 °С и 1600 °С. В таблице 7 представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1450 °С при разных фракциях концентрата и видах восстановителя.

Таблица 4 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1450 °С

Выдержка, минут	Массовая доля и степень восстановления хрома, %	Варианты шихтовых	
		Концентрат 0-3 мм и кокс КНР	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР
10	Cr_2O_3 общ	49,5	52,8
	Сг мет	7,0	13,1
	Степень восстановления	20,7	36,3
20	Cr_2O_3 общ	51,6	56,1
	Сг мет	10,6	21,0
	Степень восстановления	30,0	54,7
30	Cr_2O_3 общ	54,0	58,4
	Сг мет	16,0	24,0
	Степень восстановления	43,3	60,1
60	Cr_2O_3 общ	53,5	58,1
	Сг мет	17,2	23,9
	Степень восстановления	47,0	60,1
90	Cr_2O_3 общ	55,0	57,8
	Сг мет	17,8	21,1
	Степень восстановления	47,3	53,4
120	Cr_2O_3 общ	55,6	56,8
	Сг мет	20,7	23,0
	Степень восстановления	54,4	59,2

Таблица 5 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr_2O_3 - 52,8 %) при температуре 1500 °С

Выдержка, минут	Массовая доля и степень восстановления хрома, %	Варианты шихтовых	
		Концентрат 0-3 мм и кокс КНР	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР
10	Cr_2O_3 общ	51,8	57,8
	Сг мет	11,4	22,5
	Степень восстановления	32,2	56,9
20	Cr_2O_3 общ	52,9	58,7
	Сг мет	14,9	25,3
	Степень восстановления	41,2	63,0
30	Cr_2O_3 общ	56,1	58,4
	Сг мет	21,0	24,0
	Степень восстановления	54,7	60,1

60	Cr ₂ O ₃ общ	57,2	58,7
	Cr мет	22,2	23,4
	Степень восстановления	56,7	58,3
90	Cr ₂ O ₃ общ	55,3	58,2
	Cr мет	21,0	24,3
	Степень восстановления	55,5	61,0
120	Cr ₂ O ₃ общ	57,2	57,0
	Cr мет	22,2	21,5
	Степень восстановления	56,7	55,1

Таблица 6 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr₂O₃ – 52,8 %) при температуре 1600 °С

Выдержка, минут	Массовая доля и степень восстановления хрома, %	Варианты шихтовок	
		Концентрат 0-3 мм и кокс КНР	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР
10	Cr ₂ O ₃ общ	55,9	59,1
	Cr мет	22,2	26,7
	Степень восстановления	58,0	66,0
20	Cr ₂ O ₃ общ	58,1	59,0
	Cr мет	26,0	28,5
	Степень восстановления	65,4	70,6
30	Cr ₂ O ₃ общ	56,5	58,3
	Cr мет	23,0	22,3
	Степень восстановления	59,5	55,9
60	Cr ₂ O ₃ общ	58,0	59,4
	Cr мет	28,1	29,3
	Степень восстановления	70,8	72,1
90	Cr ₂ O ₃ общ	57,9	59,5
	Cr мет	27,8	29,2
	Степень восстановления	70,17	71,73
120	Cr ₂ O ₃ общ	59,6	60,1
	Cr мет	29,3	30,8
	Степень восстановления	71,9	74,9

На рисунке 1 показана зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr₂O₃ – 52,8 %) при температуре 1450 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР. Преимущества молотого концентрата для кокса КНР не вызывает сомнений, особенно при длительности выдержки менее 90 минут. При выдержках более 90 минут преимущества молотого концентрата сохраняются, но с меньшей разницей в степени восстановления.

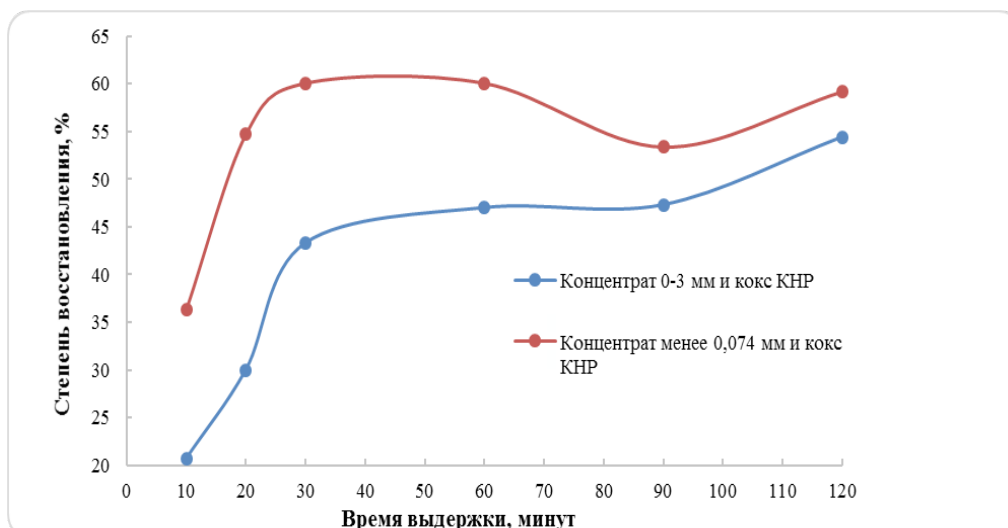


Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1450 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР

Таблица 7 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1450 °С при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

Время выдержки, минут	Концентрат 0-3 мм и кокс КНР	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР
	Степень восстановления	
10	20,7	36,3
20	30	54,7
30	43,3	60,1
60	47,0	60,1
90	47,3	53,4
120	54,4	59,2

Таблица 8 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре 1500 °С при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

Время выдержки, минут	Концентрат 0-3 мм и кокс КНР	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР
	Степень восстановления	
10	32,2	56,9
20	41,2	63,0
30	54,7	60,1
60	56,7	58,3
90	55,5	61,0
120	56,7	55,1

На рисунке 2 представлена зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1500 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР. Зависимости

по характеру такие же, как при температуре 1450 °С. Необходимо отдать предпочтение молотому материалу для улучшения восстановительных процессов.

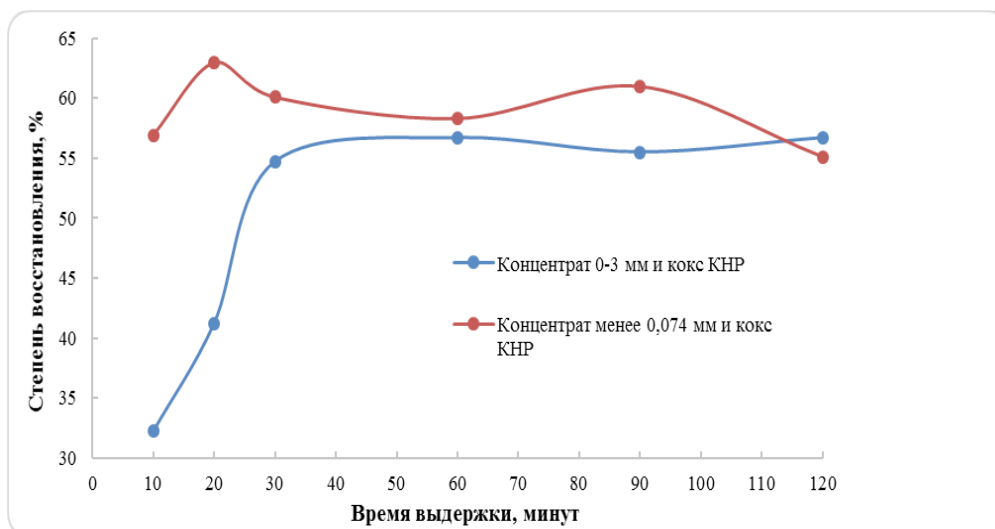


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1500 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР

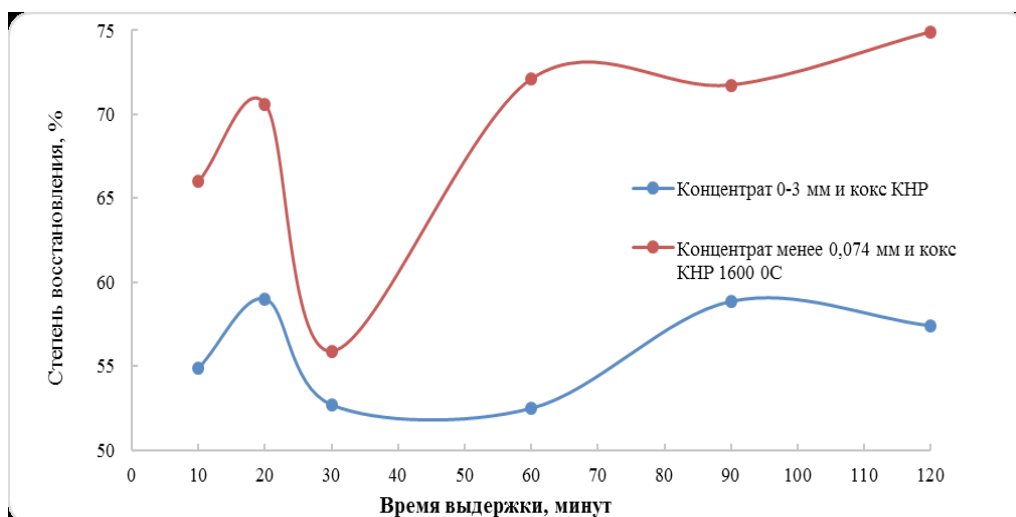


Рисунок 3 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1600 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР

На рисунке 3 показаны зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr_2O_3 – 52,8 %) при температуре 1600 °С с изменением времени выдержки при использовании кокса КНР. Преимущества молотого концентрата для обоих восстановителей не вызывает сомнений. На рисунке 4 и таблице 10 показаны зависимости степени восстановления хрома для концентрата

фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки. Эти зависимости подтверждают преимущества кокса КНР.

Таблица 10 – Влияние температуры и времени выдержки на степень восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм при разных типах восстановителя, %

Время выдержки, минут	Концентрат менее 0,074 мм и кокс КНР		
	Степень восстановления		
	1450 °С	1500 °С	1600 °С
10	36,3	56,9	66,0
20	54,7	63,0	70,6
30	60,1	60,1	55,9
60	60,1	58,3	72,1
90	53,4	61,0	71,7
120	59,2	55,1	74,9

В целом, при температуре 1600 °С преимущества коксом КНР проявляются более рельефно.

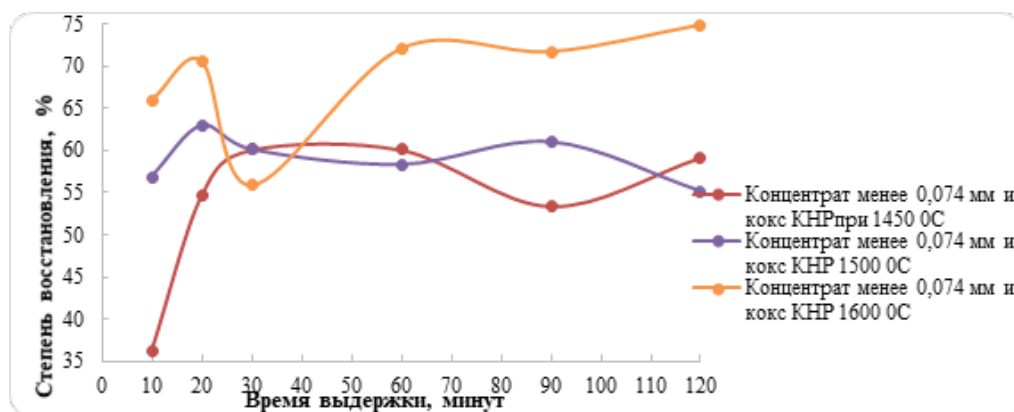


Рисунок 4 – Зависимость степени восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки при разных типах восстановителя

Выводы

1 Целесообразно применять концентрат и кокса КНР в молотом состоянии до фракции менее 0, 074 мм;

2 Оптимальная температура восстановления 1600 °С с использованием кокса КНР с выдержкой около 60 минут. При этих параметрах достигается максимальная степень восстановления хрома, равной 72,1 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Топильский, С. П., Козин А. И., Есаулов, С. Н.** Исследования процессов металлизации хромитовых окатышей / Проблемы научно-технического прогресса электротермии неорганических материалов: тезисы докл. конф. – Днепропетровск : ДМетИ, 1989. – 55 с.

2 **Жудрявцев, В. С.** Фазовые превращения при восстановлении хромитоугольных окатышей // *Металлы*. – 1975. – № 6. – С. 3–9.

3 **Кадарметов, Х. Н., Поволоцкий, В. Д.** Образование зародышей металла и шлака при твердофазном углетермическом восстановлении хромовых руд // *Металлы*. – 1987. – № 3. – С. 19–21.

4 **Невраева, К. И., Пашкеев, И. Ю., Михайлов, Г. Г.** Исследование углетермического твердофазного восстановления хромовых руд массива Рай-Из // *Сталь*. – 2009. – № 3. – С. 35–37.

5 **Жучков, В. И.** Окускование хромсодержащего сырья // *Электрометаллургия*. – 2003. – № 9. – С. 35–42.

6 **Жучков, В. И.** Методы окускования хромитовых руд // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья : тр. конф.* – Екатеринбург, 2003. – С. 266–269.

7 **Spanov, S. S., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B.** Pilot Plant Melting of Steel Using Ferro-Silico-Aluminum at KSP Steel // *Metallurgist*. – 2017. – 60(11–12). P. 1149–1154.

8 **Shabanov, E., Izbembetov, D. D., Baisanov, S. O., Shadiev, M. F.** Technology for the production of high-carbon ferrochromium using mono-briquettes / *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. – 2018. – 9. – P. 702–707.

9 **Koryakova, O. F.** Preparation of manganese ores for smelting in powerful closed electric furnaces / *Ferrous metallurgy. Bulletin of Chermetinformation*. – 1985. – 14. – P. 3–16.

10 **Samuratov, Ye., Kelamanov, B., Akuov, A., Zhumagaliyev, Ye., Akhmetova, M.** Smelting standard grades of Manganese ferroalloys from agglomerated thermo-magnetic manganese concentrates, *Metallurgija* 59 (2020) 1, P. 85–88.

REFERENCES

1 **Topilski, S. P., Kozin, A. I., Esaulkov, S. N.** Issledovania processov metallizacii hromitovyh okatyshei [Studies of metallization processes of chromite pellets] / Problems of scientific and technological progress of electrothermia of inorganic materials : theses of reports of the conference – Dnepropetrovsk : DMetI, 1989. – 55 p.

2 **Kudryavcev, V. S.** Fazovye prevrascheniya pri vostonovlenii hromitougolnyh okatyshei [Phase transformations during reduction of chromite pellets] // *Metals*. – 1975. – № 6. – P. 3–9.

3 **Kadarmetov, H. N., Povolockii, V. D.** Obrazovanie zarodyshei metalla I shlaka pri tverdofaznom ugletermicheskom vostonovlenii xromovyh rud [Metal and

Slag Nucleation during Solid-phase Carbonothermic Reduction of Chromium Ores] // Metals. – 1987. – № 3. – P. 19–21.

4 **Nevraeva, K. I., Pashkeev, I. U., Mihailov, G. G.** Issledovanie ugletrmicheskogo tverdogaznogo vosstanovleniya hromovyh rud massiva Rai-Iz [Investigation of the carbon-thermal solid-phase reduction of chromium ores of the Rai-Iz massif] // Steel. – 2009. – №. 3 – P. 35–37.

5 **Zhuchkov, V. I.** Okuskovanie hromsoderzhashego syria [Pelletizing of chrome-containing raw materials] // Electrometallurgy. – 2003. – № 9. – P. 35–42.

6 **Zhuchkov, V. I.** Metody okuskovania hromitovyh rud [Methods of chromite ore pelletizing] // Scientific bases and practice of ore and technogenic raw material processing : proc. of the conference – Yekaterinburg, 2003. – P. 266–269.

7 **Spanov, S. S., Zhunusov, A. K., Tolymbekova, L. B.** Pilot Plant Melting of Steel Using Ferro-Silico-Aluminum at KSP Steel // Metallurgist. – 2017. – 60(11–12). – P. 1149–1154.

8 **Shabanov, E., Izbembetov, D. D., Baisanov, S. O., Shadiev, M. F.** Technology for the production of high-carbon ferrochromium using mono-briquettes // Izvestiya Ferrous Metallurgy. – (2018) 9, 702–707).

9 **Koryakova, O. F.** Preparation of manganese ores for smelting in powerful closed electric furnaces // Ferrous metallurgy. Bulletin of Chermetinformaton. – 1985. – 14. – P. 3–16.

10 **Samuratov, Ye., Kelamanov, B., Akuov, A., Zhumagaliyev, Ye., Akhmetova, M.** Smelting standard grades of Manganese ferroalloys from agglomerated thermo-magnetic manganese concentrates // Metallurgija 59. – 2020. – 1. – P. 85–88.

Материал поступил в редакцию 12.12.22

*Е. Кобеген¹, * Д. А. Есенгалиев², Б. С. Келаманов³*

^{1,2,3}Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.
Материал 24.11.22. баспаға түсті

ҚХР КОКСЫН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН ХРОМ КЕНІН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚАТТЫ ФАЗАЛЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Оксидтерден элементтердің тотықсыздануы металлургиялық процестердің ең көп таралған және күрделі түрлерінің бірі болып табылады. Кен шикізатын өңдеудің жаңа тиімді технологияларын қарқындату және құру көбінесе осы процестерді түсіну тереңдігіне байланысты.

Термодинамика, кинетика және құрамында хром бар материалдардан элементтерді қалпына келтіру механизмі бойынша жұмыстардың едәуір санын таныстыру және талдау зерттеушілердің бұл мәселелер бойынша әртүрлі көзқарастары бар екенін көрсетті. Хромит кендерінен хром мен темірді қатты көміртекті тотықсыздандырығышпен қалпына келтірудің ең

ықтимал механизмі тұрақсыз газ тәрізді бөліктерді қамтитын газ фазалы-қатты фазалы схемамен сипатталады.

Мақала Қытай Халық Республикасының (ҚХР) коксын қалпына келтіру үшін хром кенін қатты фазалы қалпына келтіру процестерін зерттеуге арналған. Жұмыста зертханалық зерттеулер жүргізу әдістемесінің сипаттамасы, шихта материалдарының есебі және зерттеу нәтижелері келтіріледі. 1450 °С, 1500 °С және 1600 °С температурада хром концентратынан (Cr_2O_3 – 52,8 %) хромның қатты фазалы тотықсыздану нәтижелері ұсынылған. Мақала материалдарын феррохром өндіру технологиясын жақсарту процестерімен айналысатын Металлург-инженерлер мен ғылыми қызметкерлер пайдалана алады.

Кілтті сөздер: хром кені, тотықсыздану, хром концентраты, тотықсыздану дәрежесі, феррохром.

E. Kobegen¹, * D. A. Esengaliev², B. S. Kelamanov³.

^{1,2,3} Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe.

Material received on 24.11.22.

STUDIES OF THE PROCESSES OF HIGH-TEMPERATURE SOLID-PHASE REDUCTION OF CHROMIUM ORE USING THE PRC COKE RECOVERY

The reduction of elements from oxides is one of the most common and complex types of metallurgical processes. The intensification and creation of new efficient technologies for processing ore raw materials largely depend on the depth of understanding of these processes.

Acquaintance and analysis of a significant number of works on thermodynamics, kinetics and the mechanism of recovery of elements from chromium-containing materials have shown that researchers have different views on these issues. The most probable mechanism for the reduction of chromium and iron from chromite ores by a solid carbon reducing agent is described by a gas-phase-solid-phase scheme involving unstable gaseous particles.

The article is devoted to the study of the processes of solid-phase reduction of chromium ore using coke recovery of the People's Republic of China (PRC). The paper describes the methodology of laboratory research, calculation of charge materials and research results. The results of solid-phase reduction of chromium from chromium ore concentrate (Cr_2O_3 – 52.8 %) at temperatures of 1450 °C, 1500 °C and 1600 °C. are presented. Data on the effect of exposure time on the degree of chromium recovery are presented. The materials of the article can be used by metallurgical engineers and scientists involved in the processes of improving the production technology of ferrochrome.

Keywords: chrome ore, reduction, chrome concentrate, degree of reduction, ferrochrome.

Теруге 24.11.22 ж. жіберілді. Басуға 27.12.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

66,9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 93,80 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4009

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz