

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

№ 1 (2023)

---

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/UAET1531>

**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

МРНТИ 53.31.21

<https://doi.org/10.48081/LJZ8744>**Д. А. Есенғалиев<sup>1</sup>, \*Е. Көбеген<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,  
Республика Казахстан, г. Актөбе**ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
ТВЕРДОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХРОМОВОЙ РУДЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УГЛЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУБАРКОЛЬ**

*Накопленные к настоящему времени данные о термодинамике и кинетике восстановления твердых оксидов металлов углеродсодержащими материалами свидетельствуют о чрезвычайной сложности этого процесса. Процесс восстановления является совокупностью многих взаимосвязанных стадий, в зависимости от свойств вещества и условий (давление, температура, концентрации газов и конденсированных растворов; наличие промежуточных веществ, продуктов восстановления; полноты восстановления; пористости, крупности кусков; движения газов и др.). Ведущая роль стадий может меняться, что не позволяет сформировать единого механизма восстановления, справедливого во всех случаях.*

*Статья посвящена изучению процессов твердофазного восстановления хромовой руды с использованием для восстановления угля месторождения Шубарколь. В пояснительной записке приводится описание методики проведения лабораторных исследований, расчет шихтовых материалов и результаты исследований в виде таблиц и наглядных рисунков. 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 может использоваться инженерами-металлургами и научными работниками занимающимися процессами улучшения технологии производства феррохрома.*

*Ключевые слова: хром, восстановления, время выдержки, хроморудный концентрат, расчет шихты.*

**Введение**

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 хромосодержащих материалов показали, что существуют разные взгляды по этим вопросам. Накопленные к настоящему времени данные о термодинамике и кинетике восстановления твердых оксидов металлов углеродсодержащими материалами свидетельствуют о чрезвычайной сложности этого процесса. Процесс восстановления является совокупностью многих взаимосвязанных стадий, в зависимости от свойств вещества и условий. Ведущая роль стадий может меняться, что не позволяет сформировать единого механизма восстановления, справедливого во всех случаях.

Вопросами использования металлизированных хромитовых материалов (окатышей, брикетов) многие годы занимались различные исследователи [1–10]. 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.

**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. 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.

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

Наименование материала	Технический анализ					Химический состав золы					
	W	V	A	S	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO
У г о л ь Шубаркольский	7,6	42,3	4,1	0,225	0,008	18,3	6,4	46,7	–	4,7	5,9

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 15,22кг. В пересчете на Шубаркольского угля это значение составит, г:  $15,22 \cdot 100/45,77 = 33,24$ , где, значение 45,77 –  $C_{ТВ}$  в угле ( $C_{ТВ} = 100 - A - V - S - P - W$ ).

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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -52,8%) ДГОК фракция исходная 0-3 мм	100
	уголь Шубаркольский	33,24
2	Концентрат (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -52,8%) ДГОК фракция молотая менее 0,074 мм	100
	уголь Шубаркольский	33,24

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<sub>мет</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Химический анализ образцов в опытах с максимальным восстановлением хрома проводили на следующие компоненты: Cr<sub>мет</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>мет</sub>, FeO, C, P, S. Оценку степени восстановления производили сравнительным образом по содержанию Cr<sub>мет</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температурах 1450 °С, 1500 °С и 1600 °С. В таблице 9 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1450 °С, %

Выдержка, минут	Массовая доля и степень восстановления хрома	Варианты шихтовок	
		Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	44,8	48,4
	Cr <sub>мет</sub>	6,8	13,7
	С т е п е н ь восстановления	22,2	41,4
20	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	52,8	49,5
	Cr <sub>мет</sub>	13,1	15,7
	С т е п е н ь восстановления	36,3	46,4
30	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	48,5	51,7
	Cr <sub>мет</sub>	13,0	20,2
	С т е п е н ь восстановления	39,2	57,1
60	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	48,5	52,6
	Cr <sub>мет</sub>	14,2	21,5
	С т е п е н ь восстановления	42,8	59,7

90	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	51,5	53,4
	Cr мет	19,0	21,6
	С т е п е н ь восстановления	53,9	59,1
120	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	53,7	54,3
	Cr мет	23,5	25,0
	С т е п е н ь восстановления	64,0	67,3

Таблица 5 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1500°C, %

Выдержка, минут	М а с с о в а я доля и степень восстановления хрома	Варианты шихтовых	
		Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	47,3	50,8
	Cr мет	10,2	18,0
	С т е п е н ь восстановления	31,5	51,8
20	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	48,5	51,8
	Cr мет	14,6	19,6
	С т е п е н ь восстановления	44,0	55,3
30	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	52,4	54,5
	Cr мет	20,6	25,4
	С т е п е н ь восстановления	57,5	68,1
60	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	55,3	56,3
	Cr мет	22,0	28,5
	С т е п е н ь восстановления	58,1	74,0
90	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	53,0	54,5
	Cr мет	22,3	27,4
	С т е п е н ь восстановления	61,5	73,5
120	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	55,4	56,2
	Cr мет	25,0	25,5
	С т е п е н ь восстановления	66,0	66,3

Таблица 6 – Результаты твердофазного восстановления хрома из концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 52,8 %) при температуре 1600°C, %

Выдержка, минут	М а с с о в а я доля и степень восстановления хрома	Варианты шихтовых	
		Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	53,2	56,5
	Cr мет	20,0	27,8
	С т е п е н ь восстановления	54,9	71,9

20	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	55,2	56,9
	Cr мет	22,3	23,6
	С т е п е н ь восстановления	59,0	60,6
30	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	55,5	57,2
	Cr мет	20,0	27,0
	С т е п е н ь восстановления	52,7	69,0
60	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	58,2	59,7
	Cr мет	20,9	24,0
	С т е п е н ь восстановления	52,5	58,7
90	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	59,1	62,6
	Cr мет	23,8	26,6
	С т е п е н ь восстановления	58,86	62,10
120	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	58,6	62,8
	Cr мет	23,0	26,6
	С т е п е н ь восстановления	57,4	61,9

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 уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
	Степень восстановления, %	
10	22,2	41,4
20	36,3	46,4
30	39,2	57,1
60	42,8	59,7
90	53,9	59,1
120	64,0	67,3

На рисунке 1 показано зависимости степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 52,8 %) при температуре 1450 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Преимущества молотого концентрата для восстановителей 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.



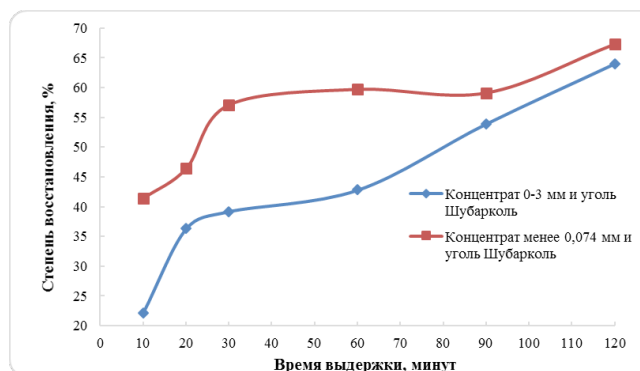


Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 52,8\%$ ) при температуре  $1450\text{ }^\circ\text{C}$  с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

Совсем другая картина при рассмотрении восстановительных процессов для молотого концентрата при температуре опытов  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ . В таблице 8 показаны зависимости степени восстановления хромородного концентрата ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 52,8\%$ ) фракции менее  $0,074\text{ мм}$  и  $0-3\text{ мм}$  от времени выдержки при температуре  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблица 8 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

В р е м я в ы д е р ж к и, минут	Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
	Степень восстановления	
10	31,5	51,8
20	44	55,3
30	57,5	68,1
60	58,1	74,0
90	61,5	73,5
120	66,0	66,3

На рисунке 2 представлена зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 52,8\%$ ) при температуре  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Зависимости по характеру такие же, как при температуре  $1450\text{ }^\circ\text{C}$ . Необходимо отдать предпочтение молотому материалу для улучшения восстановительных процессов.

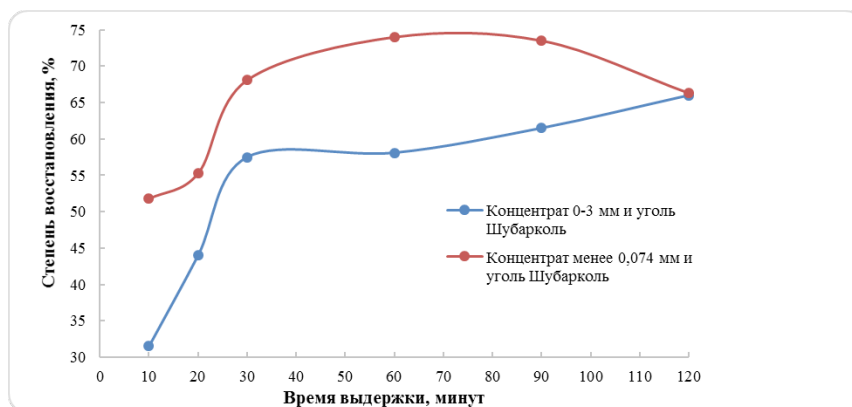


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата ( $Cr_2O_3 - 52,8\%$ ) при температуре  $1500\text{ }^{\circ}C$  с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

В таблице 9 представлены данные по влиянию времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре  $1600\text{ }^{\circ}C$  при разных фракциях концентрата и видах восстановителя.

Таблица 9 – Влияние времени выдержки на степень восстановления хрома при температуре  $1600\text{ }^{\circ}C$  при разных фракциях концентрата и типа восстановителя, %

В р е м я в ы д е р ж к и, минут	Концентрат 0-3 мм и уголь Шубарколь	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь
	Степень восстановления	
10	54,9	71,9
20	59,0	60,6
30	52,7	69,0
60	52,5	58,7
90	58,8	62,1
120	57,4	61,9

На рисунке 3 показано зависимость степени восстановления хрома от фракции хроморудного концентрата ( $Cr_2O_3 - 52,8\%$ ) при температуре  $1600\text{ }^{\circ}C$  с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля. Преимущества молотого Шубаркольского концентрата не вызывает сомнений. На рисунке 4 и в таблице 10 показаны зависимости степени восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки. Эти зависимости подтверждают преимущества угля Шубарколь.

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

Время выдержки, минут	Концентрат менее 0,074 мм и уголь Шубарколь		
	Степень восстановления		
	1450 °С	1500 °С	1600 °С
10	41,4	51,8	71,9
20	46,4	55,3	60,6
30	57,1	68,1	69,0
60	59,7	74,0	58,7
90	59,1	73,5	62,1
120	67,3	66,3	61,9

В целом, при температуре 1500 °С преимущества угля Шубарколь проявляются более рельефно.

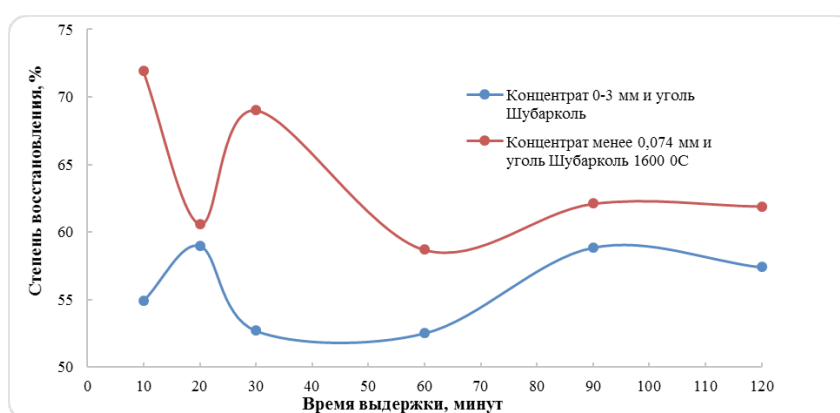


Рисунок 3 – Зависимость степени восстановления хрома от фракции хромородного концентрата ( $Cr_2O_3$  – 52,8 %) при температуре 1600 °С с изменением времени выдержки при использовании Шубаркольского угля

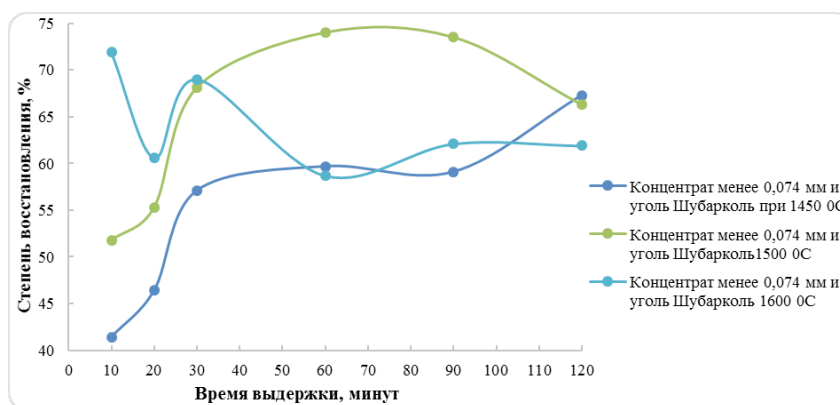


Рисунок 4 – Зависимость степени восстановления хрома для концентрата фракции менее 0,074 мм от температуры и времени выдержки при разных типах восстановителя

**Выводы**

Общие выводы по результатам исследований:

1 Целесообразно применять концентрат и уголь месторождения Шубарколь в молотом состоянии до фракции менее 0,074 мм;

2 Оптимальная температура восстановления 1500 °С с использованием угля месторождения Шубарколь с выдержкой около 60 минут. При этих параметрах достигается максимальная степень восстановления хрома, равной 74 %.

**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 **Кудрявцев, 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 хромосодержащего сырья // *Электromеталлургия*, 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 **Zhunusov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // *Metalurgija* 60 (2021) 1–2, P. 101–103.

8 **Tolymbekova, L. B., Kim, A. S., Zhunusov, A. K., Babenko, A. A.** Thermal transformations in manganese ores in the zapadniy kamys deposit and in charge materials used to produce pellets in an air flow under nonisothermal conditions // *Metallurgist*, 2013. – 56(11–12), P. 919–924

9 **Шабанов, Е. Ж.** Разработка технологии выплавки алюмосиликохрома из высокозольных углей карагандинского бассейна и отсевов высокоуглеродистого феррохрома. Дисс.на соиск. уч. степени доктора философии PhD, Караганда, 2016. – 117 с.

10 **Кобеген, Е., Есенгалиев, Д. А., Келаманов, Б. С.** Исследования процессов высокотемпературного твердофазного восстановления хромовой руды с использованием для восстановления кокса КНР // *Наука и техника Казахстана.* – 2022. – № 4. – С. 68–79. – DOI 10.48081/ХМОК1552.

## REFERENCES

1 **Topilsky, S. P., Kozin, A. I., Esaulov, S. N.** Issledovaniya processov metallizacii xromitovy`x okaty`shej [Studies of the processes of metallization of chromite pellets] / Problems of scientific and technological progress in the electrothermy of inorganic materials: abstracts of reports. conf. – Dnepropetrovsk: DmetI, 1989. – 55 p.

2 **Kudryavtsev, V. S.** Fazovy`e prevrashheniya pri vosstanovlenii xromitougol`ny`x okaty`shej [Phase transformations during the reduction of chromite-coal pellets] // Metals, 1975., № 6. – P. 3–9.

3 **Kadarmetov, Kh. N., Povolotsky, V. D.** Obrazovanie zarody`shej metalla i shlaka pri tverdogfaznom ugletermicheskom vosstanovlenii xromovy`x rud [Formation of nuclei of metal and slag during solid-phase carbon-thermal reduction of chromium ores] // Metals. – 1987. – № 3. – P. 19–21.

4 **Nevraeva, K. I., Pashkeev, I. Yu., Mikhailov, G. G.** Issledovanie ugletermicheskogo tverdogfaznogo vosstanovleniya xromovy`x rud massiva Raj-Iz [Study of carbon-thermal solid-phase reduction of chrome ores of the Rai-Iz massif] // Steel. – 2009. – № 3. – P. 35–37.

5 **Zhuchkov, V. I.** Okuskovanie xromsoderzhashhego sy`r`ya [Agglomeration of chromium-containing raw materials] // Electrometallurgy. – 2003. – № 9. – P. 35–42.

6 **Zhuchkov, V. I.** Metody` okuskovaniya xromitovy`x rud [Methods of agglomeration of chromite ores] // Scientific bases and practice of processing ores and technogenic raw materials: tr. conf. – Yekaterinburg. – 2003. – P. 266–269.

7 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // Metalurgija 60 (2021). – 1–2. – P. 101–103.

8 **Tolymbekova, L. B., Kim, A. S., Zhunosov, A. K., Babenko, A. A.** Thermal transformations in manganese ores in the zapadnyi kamys deposit and in charge materials used to produce pellets in an air flow under nonisothermal conditions // Metallurgist. – 2013. – 56(11–12). – P. 919–924

9 **Shabanov, Ye. Zh.** Razrabotka tekhnologii vyplavki aliumosilikokhroma iz vysokozolnykh uglei karagandinskogo basseina i otsevvov vysokouglerodistogo ferrokhroma [Development of a technology for smelting aluminosilicochromium from high-ash coals of the Karaganda basin and screenings of high-carbon ferrochrome.]. Diss.na soisk. uch. stepeni doktora filosofii PhD, Karaganda. – 2016. – 117 P.

10 **Kobegen, E., Yesengaliev, D. A., Kelamanov, B. S.** Issledovaniya protsessov vysokotemperaturnogo tverdogfaznogo vosstanovleniya khromovoy rudy s ispol`zovaniyem dlya vosstanovleniya koksa KNR [Studies of the processes of high-temperature solid-phase reduction of chromium ore using PRC coke for reduction] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2022. – № 4. – P. 68–79. – DOI 10.48081/XMOK1552.

Материал поступил в редакцию 06.02.23

**Д. А. Есенғалиев<sup>1</sup>, \*Е. Көбеген<sup>2</sup>, Б. С. Келаманов<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

Материал 06.02.23 баспаға түсті.

## **ШҰБАРКӨЛ КЕН ОРНЫНЫҢ КӨМІРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ХРОМ КЕНІН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ҚАТТЫ ФАЗАЛЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Көміртегі бар материалдармен металдардың қатты оксидтерін тотықсыздандырудың термодинамикасы мен кинетикасы туралы осы уақытқа дейін жинақталған деректер бұл процестің өте күрделілігін көрсетеді. Қалпына келтіру процесі заттың қасиеттері мен жағдайларына байланысты көптеген өзара байланысты кезеңдердің жиынтығы болып табылады (қысым, температура, газдар мен конденсацияланған ерітінділердің концентрациясы; аралық заттардың, қалпына келтіру өнімдерінің болуы; қалпына келтірудің толықтығы; кеуектілік, кесектердің мөлшері; газдардың қозғалысы және т.б.). Кезеңдердің жетекші рөлі өзгеруі мүмкін, бұл барлық жағдайларда әділетті қалпына келтірудің бірыңғай механизмін құруға мүмкіндік бермейді.*

*Мақала Шұбаркөл кен орнындағы көмірді қалпына келтіру үшін хром кенін қатты фазалы қалпына келтіру процестерін зерттеуге арналған. Түсіндірме жазбада зертханалық зерттеулер жүргізу әдістемесінің сипаттамасы, шихта материалдарының есебі және кестелер мен көрнекі суреттер түріндегі зерттеу нәтижелері келтіріледі. 1450 °С, 1500 °С және 1600 °С температурада хром концентратынан ( $Cr_2O_3$ –52,8 %) хромның қатты фазалы тотықсыздану нәтижелері ұсынылған. Мақаланың материалдарын феррохром өндірісінің технологиясын жақсарту процестерімен айналысатын металлургтер мен ғылыми қызметкерлер қолдана алады.*

*Кілтті сөздер: хром, қалпына келтіру, ұстау уақыты, хроморуд концентраты, Шихтаны есептеу.*

*D. A. Esengaliyev<sup>1</sup>, \*E. Kobegen<sup>2</sup>, B. S. Kelamanov<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,

Republic of Kazakhstan, Aktobe.

Material received on 06.02.22.

## **RESEARCH OF PROCESSES OF HIGH-TEMPERATURE SOLID-PHASE REDUCTION OF CHROMIUM ORE USING COAL OF SHUBARKOL DEPOSIT FOR REDUCTION**

*The data accumulated to date on the thermodynamics and kinetics of the reduction of solid metal oxides by carbon-containing materials indicate the extreme complexity of this process. The reduction process is a combination of many interrelated stages, depending on the properties of the substance and conditions (pressure, temperature, concentrations of gases and condensed solutions; the presence of intermediate substances, reduction products; completeness of reduction; porosity, size of pieces; movement of gases, etc.). The leading role of the stages can change, which does not allow the formation of a single recovery mechanism that is fair in all cases.*

*The article is devoted to the study of the processes of solid-phase reduction of chromium ore using coal from the Shubarkol deposit for reduction. The explanatory note provides a description of the methodology for conducting laboratory studies, the calculation of charge materials and the results of studies in the form of tables and illustrative drawings. The results of solid-phase reduction of chromium from chromium ore concentrate ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 52.8 %) at temperatures of 1450 °C, 1500 °C and 1600 °C are presented. Data on the effect of holding time on the degree of chromium reduction are presented. The materials of the article can be used by metallurgical engineers and scientists involved in the processes of improving the technology of ferrochromium production.*

*Keywords: chromium, recovery, holding time, chromium ore concentrate, charge calculation.*

Теруге 06.02.23 ж. жіберілді. Басуға 30.03.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«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