

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН**

**Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева**

**Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова**

**Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии  
специальных материалов**

**Амангелдина Айсулу Нур-Мустафақызы**

**Исследование влияния механической активации оксидов хрома и железа на  
последующее алюминиотермическое восстановление**

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**специальность 5В070900 – Metallургия**

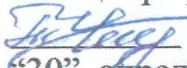
**Алматы 2019**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии  
специальных материалов

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующая кафедрой МПТ и ТСМ  
Ассоц. проф. канд. техн. наук  
 Чепуштанова Т.А.  
“30” апреля 2019 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: " Исследование влияния механической активации оксидов хрома и  
железа на последующее алюминиотермическое восстановление "

по специальности 5В070900 – Металлургия

Выполнил

Амангелдина А.Н.

Руководитель от РГП ИПГ  
Магистр технических наук  
 Осеров Т.Б.  
“30” апреля 2019 г

Научный руководитель  
Ассоц. проф. канд. техн. наук  
 Гусейнова Г.Д.  
“30” апреля 2019 г



Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова  
Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии  
специальных материалов  
5В070900 – Металлургия



УТВЕРЖДАЮ  
Заведующая кафедрой МПТ и ТСМ  
Ассоц. проф. канд. техн. наук  
Чепуштанова Т.А.  
«30» апреля 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Амангелдина Айсулу Нур-Мустафақызы

Тема: Исследование влияния механической активации оксидов хрома и железа на последующее алюминиотермическое восстановление.

Утверждена приказом Ректора Университета № 1113-б от «8» октября 2018 г.

Срок сдачи законченной работы: «2» мая 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: разработка фундаментальных основ взаимодействия предварительно активированных систем в реакциях алюминиотермического восстановления, лабораторное оборудование (центробежно-планетарная мельница), электрическая печь СНОЛ;

Краткое содержание дипломной работы:

а) критический обзор: оксид хрома, оксид железа, механохимическая обработка, алюминиотермические процессы, аппараты для механической обработки твердых веществ;

б) основная часть: материалы и методы исследования, механохимическая обработка, исследование состояния структуры механоактивированных оксидов и алюминиотермического горения активированных оксидов хрома и железа;

в) экономическая часть: расчет экономического эффекта за 2 года;

г) безопасность и охрана труда: анализ опасных производственных факторов и расчет.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 15 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 9 наименований

## ГРАФИК

### ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	5.02.2019 г.	
Литературный обзор	20.02.2019 г.	
Экспериментальная часть	18.03.2019 г.	
Экономическая часть	19.04.2019 г.	
Безопасность и охрана труда	25.04.2019 г.	
Заключение	27.04.2019 г.	
Нормоконтроль	02.05.2019 г.	

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу  
(проект)  
с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты И.О.Ф (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	канд. техн. наук, ассоц. проф. Г.Д. Гусейнова	19.04.2019 г.	
Охрана труда	канд. техн. наук, ассоц. проф. Г.Д. Гусейнова	25.04.2019 г.	
Нормконтролер	канд. техн. наук С.С. Коныратбекова	02.05.2019 г.	

Научный руководитель \_\_\_\_\_

*подпись*

Гусейнова Г.Д.

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_

*подпись*

Амангелдина А.Н.

Дата

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс 35 беттен, 5 суреттен және 7 кестеден тұрады. Дипломдық жұмыс тапсырмадан, кіріспеден, негізгі бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен құралған. Дипломдық жұмысты жазу барысында 9 әдебиет көздері қолданылды.

Дипломдық жұмыстың мақсаты механикалық белсендірілген оксидтердің құрылымын және темір мен хром негізіндегі алюминотермиялық жану жүйесін зерттеу болып табылады.

Зерттеу нысаны ретінде планетарлы-ортадантепкіш диірменде механохимиялық өңдеуден өткен темір мен хром оксиді болып табылады.

Сондай-ақ бұл жұмыста қоршаған ортаны қорғау мен экономикалық зерттеулердің көрсеткіштері қарастырылады.

Жұмыста планетарлық-тепкіш тартқыштың параметрлерінің есептері келтірілген. Механикалық өңдеу кезіндегі ұнтақтағыш зат және өңделген материалдың өзара іс-қимылының математикалық модельдеуі өткізілген.

Бұл әсер түрі ғана емес (әсер, абразивті), сонымен қатар тегістеу органдарының әсер ету жиілігі. Нәтижесінде жоғары дисперсті белсендірілген ұнтақ қоспалары алынды.

Темір және хром оксидтерін механикалық өңдеу олардың бетін арттыруға мүмкіндік береді. Кинетикаға және олардың қатысуымен процестердің толық өтуіне әсер ететін материал параметрлерін айтарлықтай өзгертуге мүмкіндік туады. Бұл жұмыста механикалық активтендіру заттың қасиеттерінің механикалық энергияның әсерінен өзгеру процесі болып табылады, оның мақсаты, әдетте, қатты фазаның қатысуымен физика-химиялық процестерді жеделдету болып табылады.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 35 листов, 5 рисунков и 7 таблиц. Дипломная работа состоит из задания, введения, основной части, заключения и списка использованной литературы. В составлении дипломной работы использованы 9 источников литературы.

Цель дипломной работы состоит в исследовании состояния структуры механоактивированных оксидов и алюминиотермического горения активированных систем на основе железа и хрома.

Объектом исследования являются оксиды железа и хрома, прошедшие механохимическую обработку в планетарно – центробежной мельнице динамического действия.

В работе приведены расчеты параметров центробежно-планетарной мельницы. Проведено математическое моделирование взаимодействия мелющего тела и обрабатываемого материала при механической обработке. Отмечено, что при механической обработке важен не только вид воздействия (удар, истирание), но и частота соударения мелющих тел.

В работе также рассмотрены разделы, касающиеся охраны окружающей среды и рассчитаны экономические показатели проведенных исследований.

Механическая обработка оксидов железа и хрома позволяет не только увеличивать их поверхность. Возникает возможность существенным образом изменить параметры материала, влияющие на кинетику и полноту протекания процессов с их участием. В данной работе механическая активация является процессом изменения свойств вещества под действием механической энергии, целью которого являются, как правило, ускорение физико-химических процессов с участием твердой фазы.

## ANNOTATION

The thesis consists of 35 sheets, 5 drawings and 7 tables. The thesis consists of a task, introduction, main part, the conclusion and the list of the used literature. In drawing up the thesis 9 sources of literature are used.

The purpose of the thesis consists in research of a condition of structure of the mechanoactivated oxides and alyuminotermichal burning of the activated systems on the basis of iron and chrome.

Object of research are the oxides of iron and chrome which passed mechanochemical processing in planetary – centrifugal mill of dynamic action.

In work also discussed topics relating to environmental protection and economic indicators designed studies.

The paper presents calculations of the parameters of a centrifugal planetary mill. Mathematical modeling of the interaction between the body and the grinding of the processed material during machining.

This is not only the type of impact (impact, abrasion), but also the frequency of impact of the grinding bodies. As a result, highly dispersed activated powder additives were obtained.

Mechanical treatment of iron and chromium oxides allows not only to increase their surface. It is possible to significantly change the material parameters that affect the kinetics and completeness of the processes with their participation. In this paper, mechanical activation is a process of changing the properties of a substance under the influence of mechanical energy, the purpose of which is, as a rule, the acceleration of physical and chemical processes involving the solid phase.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Критический обзор	11
2	Экспериментальная часть	13
2.1	Материалы и методы исследования	13
2.2	Механохимическая обработка	13
2.2.1	Характеристики механохимического реактора. Режимы обработки	13
2.2.2	Моделирование ударно-фрикционного взаимодействия мелющих тел и обрабатываемого материала	15
2.2.3	Условия проведения алюминотермического горения систем оксид металла-алюминий	16
2.3	Исследование состояния структуры механоактивированных оксидов и алюминотермического горения активированных оксидов хрома и железа	17
2.3.1	Расчет процесса механической активации оксидов	17
2.3.2	Термодинамические расчеты алюминотермического восстановления оксидов	20
2.3.3	Исследование структуры активированных материалов	25
2.3.4	Определение характеристик горения предварительно активированных систем на основе оксидов хрома и железа	26
3	Экономическая часть	29
4	Безопасность и охрана труда	32
	Заключение	34
	Список использованной литературы	35

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Современное состояние научно-технической проблемы**

Механические методы активации химических процессов путем обработки твердых веществ в измельчительных аппаратах в последнее время все шире используются в промышленности. С их помощью можно существенно интенсифицировать гетерогенные процессы. Сюда относятся процессы, которые тормозятся кинетикой межфазного взаимодействия и диффузией в твердой фазе: растворение плохо растворимых веществ, твердофазные реакции и т. п. Механическая активация природных минералов позволяет ускорить процессы их взаимодействия с кислотами или щелочами, а обработка содержащих оксиды смесей в высокоэнергонапряженных измельчительных аппаратах приводит к существенному снижению температуры синтеза и спекания керамических материалов, а в ряде случаев к синтезу продуктов непосредственно в измельчительном аппарате. Исследование закономерностей этих процессов привело к появлению новой науки – механохимии. По определению академика П.А. Ребиндера, «цель механохимии состоит в использовании или предотвращении тех химических реакций, которые вызываются или ускоряются механической активацией». К настоящему времени с помощью механической активации реализован синтез большого числа соединений и установлены некоторые закономерности протекания механо-химических реакций.

Для проведения механической активации необходимы высокоэнергонапряженные измельчительные аппараты, поскольку в обычных аппаратах эффекты активации незначительны. Для этих целей разрабатываются специальные измельчители-активаторы. В частности, серия аппаратов планетарного и центробежного типов. Планетарные мельницы являются эффективными измельчительными аппаратами. Высокая скорость измельчения и активации в них обеспечивается центробежными силами, возникающими при вращении барабанов вокруг своей и общей оси. Они в десятки раз превышают силу тяжести, что позволяет во столько же раз уменьшить размеры мелющих тел без снижения их кинетической энергии.

### **Актуальность работы**

Механическая обработка оксидов железа и хрома позволяет не только увеличивать их поверхность. Возникает возможность существенным образом изменить параметры материала, влияющие на кинетику и полноту протекания процессов с их участием. В данной работе механическая активация является процессом изменения свойств вещества под действием механической энергии, целью которого являются, как правило, ускорение физико-химических процессов с участием твердой фазы.

В связи с этим представляется актуальным применение подходов, использующих дискретные представления о природе явлений, протекающих в твердой фазе при активации, последствий активации и ее влиянии на кинетику технологических процессов с участием активированных тел.

**Объектом исследования** являются оксиды железа и хрома, прошедшие механохимическую обработку в планетарно – центробежной мельнице динамического действия.

**Цель работы** состоит в исследовании состояния структуры механоактивированных оксидов и алюминотермического горения активированных систем на основе железа и хрома.

**Задачи работы:** Исследование предварительной механохимической обработки систем на основе оксидов d-переходных металлов железа и хрома, расчет термодинамических характеристик восстановления оксидов в процессах алюминотермии.

**Научная новизна:** проведен расчет параметров ударно-фрикционного взаимодействия на контакте мелющих тел и оксидов d-переходных металлов. Рассчитаны и проанализированы изменения термодинамических характеристик, конкретно свободной энергии при восстановлении оксидов хрома и железа алюминием в зависимости от температуры. Определены условия, обеспечивающие максимальную степень восстановления хрома и железа.

**Теоретическая основа** – анализ литературных данных, промежуточные научные отчеты ИПГ.

**Методологическая основа** – методы анализа: микроскопический, рентгенофазовый, хроматографический.

**Практическая база написания** – РГП «Институт проблем горения».

**Обоснованием** для написания работы послужили выполненные дипломантом эксперименты и лабораторные испытания, которые показали принципиальную возможность осуществления предлагаемой технологии.

## 1 Критический обзор

Механохимическая обработка со специально подобранными химическими добавками и сепарация угля позволяют значительно понизить вязкость ВУТ.

Механохимическая обработка металла заключается в одновременном силовом механическом и химическом воздействии на очищаемую поверхность. Механическое воздействие осуществляется очистными элементами из спрессованных стальных проволочек (жестких щеток) при величинах сил, обеспечивающих хрупкое разрушение пленок окислов и микрорезание поверхности металла. В качестве химически активных сред применяют водные растворы минеральных кислот, ПАВ и пеногасителей [1].

Интенсивная механохимическая обработка возможна тогда, когда обеспечивается максимальная концентрация механической энергии в единице объема полимера.

Проведенные исследования показали, что механохимическая обработка позволяет применять ХАС, в которых концентрация химреактивов в 1,5 раза меньше, чем в обычно рекомендуемых для травления окалины композициях; совмещать процессы обезжиривания, травления и фосфатирования; уменьшить физико-химическую гетерогенность поверхностного слоя металла за счет более полного удаления продуктов коррозии и его пластифицирования в результате проявления хемомеханического эффекта. По сравнению с обработкой проволочными щетками в среде воздуха применение ХАС позволяет повысить производительность очистки в 1,5 - 2 раза [2-5].

Для измельчения твердых веществ применяются аппараты различных конструкций, различающиеся видом механического воздействия на вещество: раздавливанием, ударом, раскалыванием, истиранием и т.д. В современных измельчителях обычно сочетаются два или более видов таких воздействий. Для тонкого измельчения (диспергирования) применяют мельницы, обладающие высокой энергонапряженностью. Использование планетарных мельниц приводит не только к процессу диспергирования, но и к возрастанию роли сопутствующих процессов высокой концентрации дефектов и образованию активных центров в поверхностном слое обрабатываемого вещества. Вклад их может быть настолько велик, что влияет на физико-химические свойства вещества, то есть приводит к его активации [6].

Одним из ведущих факторов, влияющих на степень структурных изменений материалов, является способ разрушения, определяемый типом измельчителя. Наиболее наглядно влияние способа разрушения проявляется при анализе физико-химического состояния веществ с близкими удельными поверхностями, полученными при измельчении в аппаратах различного типа. Так, например, сравнение кварцевого песка, измельченного в шаровой, вибрационной и струйной мельницах, а также в атриторе и дезинтеграторе

показано, что в результате сухого измельчения в дезинтеграторе и струйной мельнице кварц близкого гранулометрического состава растворяется в плавиковой кислоте значительно меньше, чем после измельчения в других аппаратах [7].

Алюмотермические процессы с использованием алюминиевого порошка связаны, прежде всего, с получением чистых металлов как хром, марганец, ванадий, а также ферросплавов. Считается, что количество тепла менее 2500 кДж/кг недостаточно для осуществления внепечных алюмотермических процессов, от 2500 до 4600 кДж/кг – достаточным, а более 4600 кДж/кг – избыточным.

Возможность восстановления оксидов порошками алюминия была впервые обоснована в 1856 г. Девиллем С. Применимость этого способа для восстановления оксида хрома продемонстрирована в 1859 г. одновременно Велером Ф. и Бекетовым Н.Н. Однако промышленное освоение этого процесса задерживалось до появления сравнительно дешевого алюминия [8].

В производственных условиях важно, чтобы алюмотермическое восстановление, самопроизвольно распространяющееся на всю шихту, состоящую из смеси порошков алюминия и оксида металла, давало достаточное количество тепла для расплавления продуктов реакции, а также разделения металла и шлака. Всплывающий шлак предохраняет металл от взаимодействия с атмосферой.

Успешность протекания алюмотермической реакции зависит от размера частиц оксида металла и алюминия, а также от состава их смеси: чем тоньше порошок, тем интенсивнее идут реакции. Однако, применение грубых порошков алюминия позволяет избежать пылевого уноса и сильного окисления алюминия при подготовке шихты и нагревании на воздухе, но может привести к тому, что в ходе реакции алюминий частично растворится в восстановленном металле и осядет на дно тигля, не успев восстановить находящийся в тигле оксид. Накопившийся в расплаве алюминий может вступить в дальнейшем во взаимодействие с остывшим в шлаке невосстановленным оксидом, что приведет к неконтролируемому повышению температуры и «вскипанию» загрузки [9].

## 2 Основная часть

### 2.1 Материалы и методы исследования

#### Материалы:

Для экспериментальных работ были выбраны:

- оксид хрома (III) марки «чда», крупностью частиц  $\leq 12,5$  мкм, с содержанием основного вещества – 99,0%;
- оксид железа (III), крупностью частиц 30 - 140 мкм;
- порошок алюминиевой марки ПА-4, чистотой – 99,0%, Fe – 0,17%, Si – 0,1%, Cu – 0,003% и 0,7% п.п. по ГОСТу 6058 - 73;
- порошок хромита Кемпирсайского месторождения, с крупностью частиц  $\leq 30$  мкм, с % содержанием:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 54,1; MgO – 16,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8; FeO – 7,5;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6;  $\text{SiO}_2$  – 4,8; CaO – 0,4;
- железорудные отходы производства из Темиртау, с крупностью частиц  $\leq \dots$  мкм, следующего состава:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 84%, FeO – 5,25%, Ca(OH)<sub>2</sub> – 2,0%,  $\text{SiO}_2$  – 3,1%,  $\text{V}_2\text{O}_5$  – 1,0%, MgO – 2,4%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,65%, S – 0,6%.

### 2.2 Механическая обработка твердых веществ в центробежно-планетарных мельницах

#### 2.2.1 Характеристики механического реактора. Режимы обработки

Для измельчения и механической активации твердых тел используются аппараты различных конструкций, различающиеся видом механического воздействия на вещество: удар, раскалывание, истирание и т.д. В наших исследованиях механическую обработку порошков проводили в энергонапряженной планетарно-центробежной мельнице, работающей по принципу гравитационного измельчения, который реализуется за счет взаимодействия двух центробежных полей. Схема аппарата представлена на рисунке 1.

Скорость вращения платформы составляла 700 оборотов в минуту. Скорость вращения размольных сосудов – 1200 оборотов в минуту. При этом движение платформы и размольных барабанов реализовалось в противоходе. Величина ускорения при обработке в центробежной планетарной мельнице достигала 20 g.

К параметрам, оказывающим влияние на эффективность измельчения, относятся также объем, занимаемый шарами, размер шаров, объем измельчаемого вещества и др. В работе, учитывая эти параметры, проводилось измельчение при соотношении массы порошка к массе шаров ( $M_{\text{п}}/M_{\text{ш}}$ ): 1/4, оптимальном при обработке данных

веществ. При проведении экспериментов по механохимической обработке оксидов отдельно и с варьировали продолжительность обработки – 3, 6, 9, 12, 30, 60 минут.



Рисунок 1 – схема центробежно-планетарной мельницы

Важное значение при механической активации имеет скорость мелющего тела. Теоретическое значение скорости его в момент отрыва от стенки барабана под углом  $180^\circ$  или близким к нему ( наиболее часто реализующаяся ситуация в мельницах планетарного типа ) составляет:

$$v = v_1 + v_2 = 2\pi[\omega_1(R_1 + R_2) + \omega_2 R_2], \quad (1)$$

где  $\omega_1, \omega_2$  – число оборотов вокруг общей оси и планетарной оси соответственно;

$R_1, R_2$  – радиусы общего и планетарного вращений.

Выражая  $(v)$  через характеристики мельницы, получим

$$v = 2\pi\omega_1 R_2 [k + (m + 1)], \quad (2)$$

где  $k$  – кинетический фактор  $= \omega_2/\omega_1 = -1,7$  ( $k$  принимает отрицательное значение т.к. в мельнице противоположное направление векторов скоростей относительного и собственного вращения барабанов);

$m$  – геометрический фактор  $m = 1_1/1_2 = 2,3$ ;

Расчет мощности мельницы при работе выполнен по формуле:

$$W_{\text{план}} = W_{\text{шар}} (4\pi^2 R^2 N^2 / 981) (n_1/n_2), \quad (3)$$

где  $W_{\text{шар}}$  – мощность мельницы в режиме работы ее как шаровой:

$$W_{\text{шар}} = 6,1 D, \text{ кВт}; \quad (4)$$

$D$  – диаметр барабана, м;  $N$  – число оборотов ротора,  $\text{с}^{-1}$ ;

$n_1$  – критическое число оборотов центробежной мельницы:

$$n_1 = 0,8N\sqrt{R_1/R_2}, \quad (5)$$

$n_2$  – критическое число оборотов центробежной мельницы в условиях ее работы как шаровой:

$$n_2 = 32/\sqrt{D}, \quad (6)$$

Эти параметры использовались нами при расчете процесса механической обработки в центробежно-планетарной мельнице.

### 2.2.2 Моделирование ударно-фрикционного взаимодействия мелющих тел и обрабатываемого материала

Расчет взаимодействия мелющих тел и обрабатываемого материала проводился на основании модели, предложенной в работах с использованием базовых формул:

- определения толщины подвижного слоя обрабатываемого материала ( $\delta$ ):

$$\delta = M_1 / [\rho_1 (\Pi + \Pi_b) (1 - p)] \approx 4M_1 / [\rho_1 (\Pi + \Pi_b) \pi], \quad (7)$$

где  $p$  – пористость подвижного слоя, принятая равной для максимально плотной упаковки сферических частиц ( $p \approx 1 - \pi/4$ );  $M_1$  – масса измельчаемого оксида ( $\Gamma$ );  $\rho_1$  – плотность оксида;  $\Pi$  – цилиндрическая составляющая поверхности барабана ( $\text{см}^2$ );  $\Pi_b$  – суммарная поверхность шаров;

- относительной скорости  $W$  соударения шара со стенкой барабана мельницы, моделируемой плоским слоем ( $R_1 \ll R_2$ ):

$$W = 2\pi\omega_1 R_2 [(k+1)^2 + m^2 - 2m(k-1)\cos\varphi + (m+1)^2]^{0.5}, \quad (8)$$

где  $\cos\varphi = -(1+k)/m \approx 0,3$  определяет угол отрыва шара от стенки.

При этом нормальная составляющая скорости соударения шаров равна:

$$W_n = W \cos\varphi, \quad (9)$$

и тангенсальная составляющая, соответственно равна:

$$W_t = W \sin \varphi; \quad (10)$$

– время взаимодействия шара с плоским слоем оксида (t), с:

$$t = 4,1 R_q^{0,4} \Theta_1^{0,4} W^{-0,2} \quad (11)$$

максимальная сила взаимодействия шара с оксидом (f), Н:

$$f = 4,0 R_q^2 \Theta_1^{0,6} W^{1,2} \quad (12)$$

– максимальное нормальное давление в центре площадки контакта ( $P_n$ ), Па:

$$P_n = 1,5 \Theta_1^{0,2} W^{0,4} \quad (13)$$

– среднее давление на контакте  $\langle P_n \rangle$ , Па:

$$\langle P_n \rangle = 1,0 \Theta_1^{0,2} W^{0,4} \quad (14)$$

– максимальный радиус площади контакта (r), м:

$$r = 1,1 R_q^{0,2} \Theta_1^{0,2} W^{0,4} \quad (15)$$

– максимальная площадь контакта (s), м<sup>2</sup>:

$$s = 4,1 R_q^2 \Theta_1^{0,4} W^{0,8} \quad (16)$$

– максимальная общая деформация ( $\epsilon$ ), м:

$$\epsilon = 1,3 R_q^{0,4} \Theta_1^{0,4} W^{0,8} \quad (17)$$

### 2.2.3 Условия проведения алюминотермического горения систем оксид металла-алюминий

Из механически обработанных порошков прессовали образцы на лабораторном прессе марки "Carver" при усилии 5 т размерами: 4,5 x 2,5 x 1,0 см и Ø 2,0 x 1 см. Соотношение компонентов смеси рассчитано по стехиометрии согласно уравнениям:



Синтез образцов проводили как в электрической лабораторной печи СНОЛ, так и внепечном режиме на воздухе. Определение скорости горения в исследуемых образцах проводили по стандартной методике, впрессовывая на определенном расстоянии по две хромель-алюмелевые термопары, соединенные с осциллографом. Для записи температурного профиля волны горения использовали вольфрам-рениевые термопары, отличающиеся высокой чувствительностью в интервале температур 2000-3000 К.

## **2.3 Исследование состояния структуры механоактивированных оксидов и алюминотермического горения активированных оксидов хрома и железа**

### **2.3.1 Расчет и анализ процесса механической активации оксидов**

Среди разнообразных путей повышения реакционной способности твердых тел особое место занимают методы механохимической активации, являющиеся простым и эффективным способом изменения энергетического состояния веществ. Как правило, механохимическая активация является результатом импульсных ( $10^{-4} - 10^{-6}$ с) воздействий в локальных областях поверхностных слоев, что затрудняет прямое исследование процесса механической активации. В этом случае возможно применение метода математического моделирования и расчета силовых и температурных изменений на контактах взаимодействующих частиц для прогнозирования поведения материалов в последующих физико-химических процессах. В работах на основе нелинейной упругопластической теории соударения твердых тел проведена теоретическая оценка импульса давления и температуры в локальных зонах механического воздействия, что позволило предсказать специфику механохимических реакций в обрабатываемых оксидных системах.

Параметры взаимодействия мелющих тел (шаров) и обрабатываемых оксидов хрома и железа рассчитали с использованием упругих постоянных твердых тел.

Механическую обработку оксидов проводили в стальной шаровой 3-х барабанной центробежно-планетарной мельнице (ЦПМ) со следующими характеристиками:

- геометрический фактор  $m = 2,3$ ;
- кинетический фактор  $k = -1,7$  ( $k$  принимает отрицательное значение т.к. в мельнице противоположное направление векторов скоростей относительного и собственного вращения барабанов);
- объем барабана  $V \approx 450\text{см}^3$ ;

– цилиндрическая составляющая поверхности барабана  $\Pi \approx 170 \text{ см}^2$  (воздействие шаровой загрузки на обрабатываемый материал преимущественно осуществляется именно на этой поверхности).

– отношение массы шаровой загрузки ( $M$ ) и оксида ( $M_1$ ) составляло  $M + M_1 = 100 + 400 = 500 \text{ г}$  (экспериментально определенное оптимальное соотношение массы шаров к массе обрабатываемого оксида)

– радиус шаров  $R \approx 5 * 10^{-3} \text{ м}$ ;

– плотность стальных шаров  $\rho = 7,86 * 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,

– число шаров  $N \approx 100$ ,

– суммарная поверхность  $\Pi_b \approx 320 \text{ см}^2$

– относительная скорость ( $W$ ) соударения шара со стенкой барабана мельницы, моделируемая плоским слоем ( $R_1 \ll 1_2$ ):

$$W=16,20 \text{ м/с}; \quad (20)$$

при этом нормальная составляющая скорости соударения шаров равна:

$$W_n=4,90 \text{ м/с}; \quad (21)$$

и тангенсальная составляющая скорости, соответственно равна:

$$W_t=15,40 \text{ м/с} \quad (22)$$

Таблица 1 – Исходные данные для расчета ударно-фрикционного взаимодействия

Параметры	Мелющее тело (шар)	Оксид d-переходного металла	
		$\text{Cr}_2\text{O}_3^*$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Плотность ( $\rho$ ), $\text{кг/м}^3$	$7,86 * 10^3$	$5,21 * 10^3$	$5,24 * 10^3$
Модуль Юнга ( $E$ ), Па	$2,23 * 10^{11}$	$3,57 * 10^{11}$	$2,12 * 10^{11}$
Коэффициент Пуассона ( $\nu$ ),	0,29	0,24	0,14
Податливость $\Theta=4[1-(\nu)^2]/E$ , $\text{Па}^{-1}$	$1,65 * 10^{-11}$	$1,06 * 10^{-11}$	$1,76 * 10^{-11}$

Так как изменение упругих свойств зависит от типа решетки, из-за отсутствия справочных данных ( $\nu$ ,  $E$ ) для оксида хрома, можно воспользоваться характеристиками упругости с близкими к нему параметрами решетки. Для оксида хрома с гексагональной сингонией с

параметрами:  $a = 0,495$  нм;  $c = 1,3665$  нм;  $c/a = 2,76$  нм – оксид алюминия с гексагональной сингонией с параметрами:  $a = 0,4758$  нм;  $c = 1,2991$ ;  $c/a = 2,72$ .

При механической обработке оксидов в ПЦМ происходит процесс самофутеровки стенок барабана и шаров. Базовые формулы выбраны для ударного взаимодействия футерованного шара с плоским слоем обрабатываемого оксида.

Таблица 2 – Параметры взаимодействия на ударно-фрикционном контакте

Параметры	Расчетные значения	
	$Cr_2O_3$	$Fe_2O_3$
Время взаимодействия ( $\tau$ ), с	$1,73 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^{-5}$
Максимальная сила взаимодействия ( $f$ ), Н	$1,51 \cdot 10^4$	$1,23 \cdot 10^4$
Макс. нормальное давление ( $P_n$ ), Па	$1,65 \cdot 10^{10}$	$1,10 \cdot 10^4$
Среднее давление $\langle P_n \rangle$ , Па	$1,19 \cdot 10^9$	$7,92 \cdot 10^9$
Макс. радиус площ. конт. ( $r$ ), м	$6,43 \cdot 10^{-4}$	$7,12 \cdot 10^{-4}$
Макс. площ. конт. ( $s$ ), м <sup>2</sup>	$1,40 \cdot 10^{-6}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$
Макс. общая деф. ( $\varepsilon$ ), м	$9,89 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-4}$

Минимальные температуры на контакте:  $T = (T_0 + T_m)/2$ , где  $T_m$  – температура плавления обрабатываемого оксида, а  $T_0 = 400$  К – фоновая температура в мельнице.  $Cr_2O_3 = 1490$ ,  $Fe_2O_3 = 1120$  К.

Результаты расчета свидетельствуют, что на ударно-фрикционном контакте при обработке твердофазных оксидов в планетарно-центробежной мельнице развиваются кратковременные ( $10^{-5}$ ) высокие давления  $1,19 \cdot 10^9$  и  $7,92 \cdot 10^9$  Па – для оксида хрома и оксида железа соответственно. Механическая обработка в мельницах со стальной фурнитурой приводит к истиранию и износу мелющих тел и включению их в процесс взаимодействия с обрабатываемыми оксидами. Высокие локальные давление и температуры вызывают твердофазные реакции, наблюдаемые и отмеченные в наших экспериментах.

Механическая активация является эффективным способом воздействия на различные оксиды d-переходных металлов, отличающихся нестехиометричностью, обусловленную многовалентностью самих d-металлов. Механическая активация позволяет влиять на температурно-концентрационные области фазовых переходов и тем самым воздействовать на условия и кинетику протекания химических реакций в предварительно активированных системах.

### 2.3.2 Термодинамические расчеты алюминотермического восстановления оксидов

#### Анализ реакций восстановления хрома

Термодинамические расчеты можно применить к анализу восстановления хрома из его оксида алюминием. Хром образует с кислородом несколько соединений:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{CrO}_2$ . При взаимодействии оксида хрома (III)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с алюминием образуются хромоалюминиевая шпинель, восстановленный металлический хром и оксид алюминия или хрома. С помощью термодинамических расчетов можно прогнозировать какой из процессов более вероятен при взаимодействии алюминия на оксид хрома: процесс получения чистого хрома или его шпинели. Первому отвечает реакция алюминотермического процесса:



Для этой реакции уравнение зависимости воспользуемся справочными данными из таблицы 3.

Таблица 3 – Справочные данные для реакции (23)

Реагенты	$\Delta M$	$\Delta N$
$-\text{Cr}_2\text{O}_3$	-59016,6	+14,3
$-2\text{Al}$	0	0
$+2\text{Cr}$	0	0
$+\text{Al}_2\text{O}_3$	+87432,0	-16,4
$\Delta f$	28415,4	-2,1

$$\lg K_p = -28,4/T - 2,5 \quad (24)$$

$$\Delta G^\circ_T = \Delta H^\circ - T \cdot S \quad (25)$$

Условиям термодинамического равновесия реакции отвечает температура:

$$T = -\Delta M / \Delta N = -28,4 / -2,1 = 13,5 \text{ К}; \quad (26)$$

При  $T < 13,5 \text{ К}$  энергия Гиббса реакции будет характеризоваться положительным знаком и, следовательно, процесс будет термодинамически невозможен.

Основной характеристикой устойчивости соединений, служащей мерой энергии межатомной связи, является изобарный термодинамический потенциал или свободная энергия их образования, определяемая уравнением Гиббса-Гельмгольца:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (27)$$

Однако более полные данные имеются по теплотам образования, которые сравнительно мало отличаются от значений свободных энергий. Поэтому при сопоставлении прочности химической связи соединений лучше воспользоваться данными по стандартным теплотам их образования. Для нахождения величины  $\Delta G^{\circ}_{298}$  реакции осуществляют алгебраическое сложение стандартных теплот образования исчезающих и образующихся по реакции веществ.

В случае восстановления хрома из оксида (III) алюминием возможны варианты реакций:



Свободная энергия образования, характеризующая потенциальную возможность взаимодействия оксида (III) хрома с алюминием, рассчитывают по формуле:

$$\Delta G^{\circ}_{298} = \Delta H^{\circ}_{298} - \Delta S_{298}, \quad (29)$$

где  $\Delta H_{298}$  – изменение энтальпии (тепловой эффект) при образовании соединений в стандартных условиях, кал/моль;  $\Delta S_{298}$  – стандартное значение энтропии, э.е. Изменение теплоты образования с температурой по уравнению:

$$\Delta G_T = \Delta H^{\circ}_{298} - T^* \Delta S^{\circ}_{298} \quad (30)$$

Исходные данные для веществ, участвующих в реакции восстановления оксида хрома алюминием следующие:

$\Delta H^{\circ}_{298}$ в Дж	$\Delta S^{\circ}_{298}$ в э.е.
для Al – 0	- 6,77
-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – (- 400290)	- 12,16
-Cr – 0	- 5,68
-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – (- 272650)	- 19,4

Стандартная теплота образования ( $\Delta G^{\circ}_{298}$ ) алюминотермического восстановления оксида хрома составляет соответственно для реакции полного восстановления:

$$\Sigma \Delta H^{\circ}_{298} = - 127640$$

$$\Sigma \Delta S^{\circ}_{298} = - 22,9$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 534748,3 \text{ Дж}$$

и для реакции неполного восстановления хрома:

$$\Sigma \Delta H^{\circ}_{298} = - 127640$$

$$\Sigma \Delta S^{\circ}_{298} = - 28,82$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 534690,8 \text{ Дж}$$

Таблица 4 - Термодинамический расчёт реакции (18)

2Al + Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 2Cr + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)	
C	kcal	cal/K	kcal			
400,000	-130,837	-13,309	-121,878	1,189E+034	39,573	
500,000	-131,008	-13,546	-120,536	6,767E+029	29,830	
600,000	-131,208	-13,789	-119,168	2,534E+026	26,404	
700,000	-136,489	-19,451	-117,560	3,522E+023	23,547	
800,000	-136,523	-19,485	-115,613	1,503E+021	21,177	
900,000	-136,467	-19,436	-113,666	1,517E+019	19,181	
1000,000	-136,317	-19,314	-111,728	3,007E+017	17,478	
1100,000	-136,069	-19,126	-109,806	1,022E+016	16,010	
1200,000	-135,716	-18,879	-107,905	5,391E+014	14,732	
1300,000	-135,252	-18,574	-106,032	4,082E+013	13,611	
1400,000	-134,671	-18,217	-104,192	4,180E+012	12,621	
1500,000	-133,967	-17,808	-102,390	5,523E+011	11,742	
1600,000	-133,135	-17,352	-100,632			
				<b>Amount</b>	<b>Volume</b>	
<b>Formula</b>	<b>FM</b>	<b>Conc.</b>	<b>Amount</b>	<b>g</b>	<b>l or ml</b>	
	<b>g/mol</b>	<b>wt-%</b>	<b>mol</b>	53,963	19,986	ml
Al	26,982	26,202	2,000	151,990	29,117	ml
Cr2O3	151,990	73,798	1,000	<b>g</b>	<b>l or ml</b>	
	<b>g/mol</b>	<b>wt-%</b>	<b>mol</b>	103,992	14,463	ml
Cr	51,996	50,493	2,000	101,961	25,715	ml
Al2O3	101,961	49,507	1,000			

С повышением температуры значение свободной энергии образования продуктов реакции меняется. Обе реакции термодинамически возможны.

Термодинамический расчет возможности протекания реакций (18) выполнен с помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering. И представлен в таблице 4.

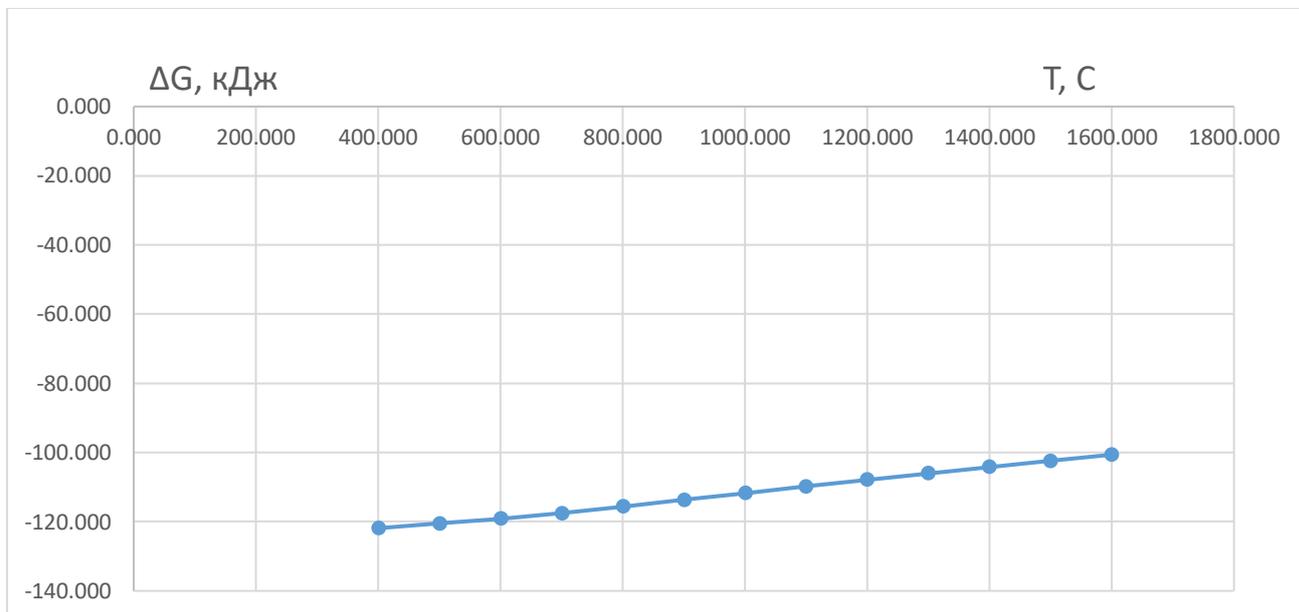
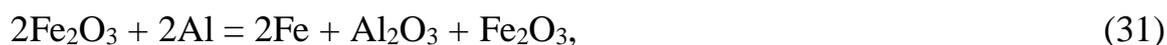


Рисунок 2 – Зависимость  $\Delta G=f(T)$  реакции (18)

### Анализ реакций восстановления железа

Термитные системы типа  $Fe_2O_3 - Al$  хорошо изучены и давно нашли практическое применение (классический пример – сварка рельсов). Использование таких систем в качестве импульсных источников тепловой энергии для нагрева каких-либо сред затруднено из-за их особенностей, таких как слишком большое энерговыделение в единицу времени, образование фазы расплавленного металла и значительного объема (или давления) парогазовой фазы. Однако потребность в достаточно мощных тепловых источниках существует.

Результаты расчетов, проведенные для полного восстановления оксида железа (III) и неполного, свидетельствуют о термодинамической возможности обоих вариантов.



Исходные данные для веществ, участвующих в реакции восстановления оксида железа алюминием следующее:

$\Delta H^\circ_{298}$  в Дж  
для Al - 0

$\Delta S^\circ_{298}$  в э.е.  
- 6,77

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – (- 400290 ) - 12,16
- Fe – 0 - 6,49
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ( - 196800 ) - 21,15

Стандартная теплота образования ( $\Delta G^{\circ}_{298}$ ) алюминотермического восстановления оксида железа составляет соответственно для реакции полного восстановления:

$$\Sigma \Delta H^{\circ}_{298} = - 209490$$

$$\Sigma \Delta S^{\circ}_{298} = - 23,44$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 852524,9 \text{ Дж}$$

и для реакции неполного восстановления железа:

$$\Sigma \Delta H^{\circ}_{298} = - 203490$$

$$\Sigma \Delta S^{\circ}_{298} = - 9,9$$

$$\Delta G^{\circ}_{298} = - 852581,6 \text{ Дж}$$

Отрицательные значения свободной энергии Гиббса свидетельствуют о термодинамической возможности протекания этих реакций.

Термодинамический расчет возможности протекания реакций (19) выполнен с помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering. И представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Термодинамический расчёт реакции (19)

2Al + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 2Fe + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						
T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)	
C	kcal	cal/K	kcal			
400,000	-205,639	-13,351	-196,652	7,108E+063	63,852	
500,000	-206,058	-13,930	-195,288	1,613E+055	55,208	
600,000	-206,549	-14,527	-193,865	3,377E+048	48,528	
700,000	-212,121	-20,507	-192,164	1,444E+043	43,160	
800,000	-211,518	-19,919	-190,142	5,323E+038	38,726	
900,000	-211,236	-19,666	-188,165	1,139E+035	35,057	
1000,000	-210,890	-19,370	-186,230	9,353E+031	31,971	
1100,000	-211,017	-19,466	-184,287	2,155E+029	29,334	
1200,000	-211,095	-19,521	-182,338	1,130E+027	27,053	
1300,000	-211,124	-19,540	-180,385	1,153E+025	25,062	
1400,000	-210,694	-19,290	-178,419	2,029E+023	23,307	
1500,000	-210,530	-19,195	-176,495	5,697E+021	21,756	
1600,000	-203,868	-15,516	-174,804	2,495E+020	20,397	
Formula	FM	Conc.	Amount	Amount	Volume	
	g/mol	wt-%	mol	g	l or ml	
Al	26,982	25,257	2,000	53,963	19,986	ml
Fe2O3	159,692	74,743	1,000	159,692	30,476	ml
	g/mol	wt-%	mol	g	l or ml	
Fe	55,847	52,278	2,000	111,694	14,210	ml
Al2O3	101,961	47,722	1,000	101,961	25,715	ml

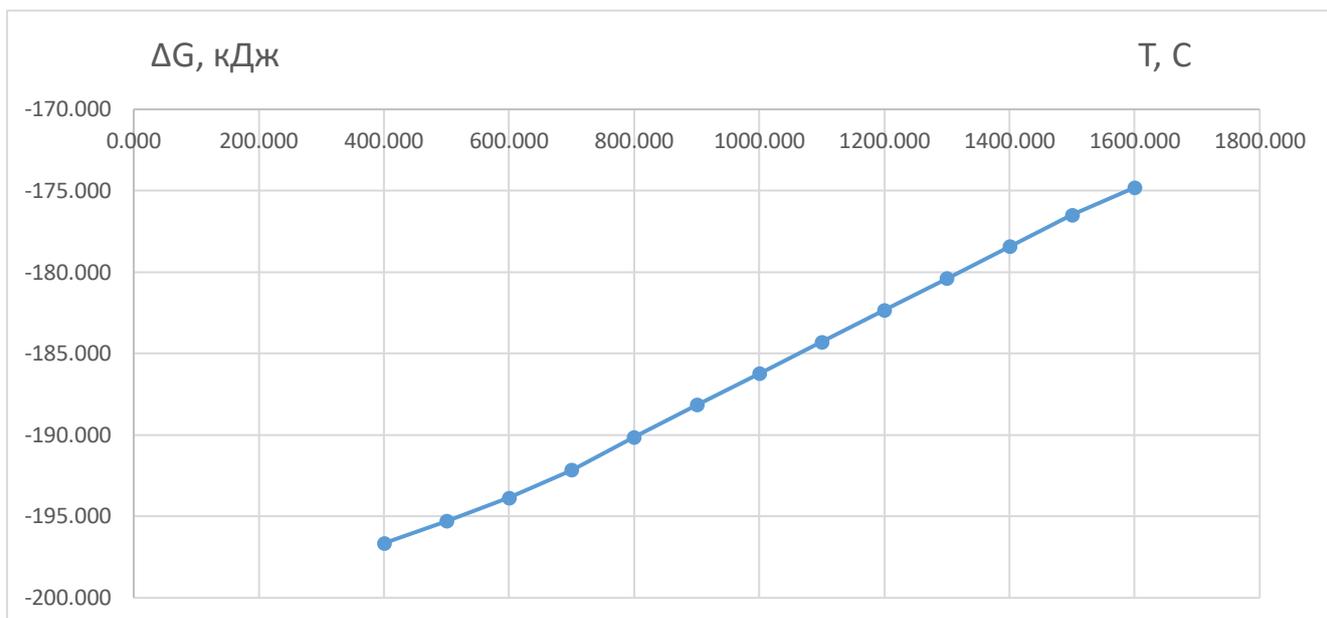


Рисунок 3 – Зависимость  $\Delta G=f(T)$  реакции (19)

### 2.3.3 Исследование структуры активированных материалов

Исследовано влияние механической активации оксидов хрома и железа, а также хромитовой руды и отходов железорудного производства на последующий алуминотермический процесс в системах оксид металла – алюминий. Изучено влияние обработки отдельно оксида и совместно его с алюминием на кинетические характеристики горения. Продолжительность обработки – 3, 6, 9, 12, 30, 60 минут.

Высокие истирающие свойства оксидов вызывают абразивный износ стальных мелющих тел и барабанов мельницы, в результате чего в обрабатываемый оксид попадают ультрадисперсные частицы железа, регистрируемые методом рентгенофазового анализа и количественно определенные волюметрическим методом. Количество железа зависит от продолжительности механической обработки, отношения массы шаров к массе обрабатываемого материала и истирающих свойств оксида. Обработка велась при доступе атмосферного кислорода, способствующего окислению реакционных ультрадисперсных частиц железа по реакции:



которая имеет место при температурах выше 873 К.

Высокие температуры и давления в локальных областях контакта при обработке оксидов в мельнице теоретически обоснованы моделью ударно-фрикционного взаимодействия. Рассчитанные условия существования областей локальных разогревов, возникающих в местах контакта между самофутерованным мелющим телом и частицами оксида d-переходного

металла при их механической обработке показывают возможность протекания твердофазных реакций на поверхности частиц по схемам:

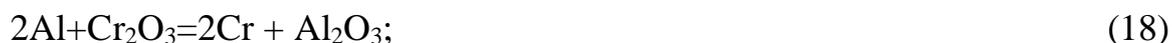


В результате абразивно-окислительного износа образующиеся ультрадисперсные частицы железа и кислород адсорбируются на свежееобразованной поверхности частиц обрабатываемого оксида. Протекание гетерогенных твердофазных реакций возможно только на участках тесного соприкосновения фаз с формированием слоя шпинели нестехиометрического состава. Образованные в поверхностном слое шпинели и ультрадисперсные частицы железа вызывают ингибирование последующего высокотемпературного синтеза, аналогично отмеченному ранее для системы  $\text{SiO}_2 - \text{Al}$ .

Совместная активация оксида и алюминия приводит к значительно меньшему износу мелющих тел, что возможно связано с высокой пластичностью алюминия.

#### **2.3.4 Определение характеристик горения предварительно активированных систем на основе оксидов хрома и железа**

Их механически обработанных порошков прессовали образцы на лабораторном прессе марки "Carver" при усилии 5 т размерами: 4,5 x 2,5 x 1,0 см и Ø 2,0 x 1 см. Соотношение компонентов смеси рассчитано по стехиометрии согласно уравнениям:



Скорость горения в исследуемых образцах определяли по стандартной методике, впрессовывая на определенном расстоянии по две хромель – алюмелевые термопары, соединенные с осциллографом. Для записи температурного профиля волны горения использовали вольфрам-рениевые термопары, отличающиеся высокой чувствительностью в интервале температур 2000 - 3000 К. Синтез проводили как в электрической лабораторной печи СНОЛ, так и внепечном режиме на воздухе. Анализ продуктов синтеза проводили на дифрактометре "ДРОН-4М" в излучении

Со-К<sub>а</sub>. Образованные в поверхностном слое шпинели и ультрадисперсные частицы железа вызывают ингибирование последующего высокотемпературного синтеза, аналогично отмеченному ранее для системы SiO<sub>2</sub> – Al.

Совместная активация оксида и алюминия приводит к значительно меньшему износу мелющих тел, что возможно связано с высокой пластичностью алюминия. Зависимость температуры горения и объемной скорости волны горения от продолжительности обработки для системы Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21 % Al представлена на рисунке 4.

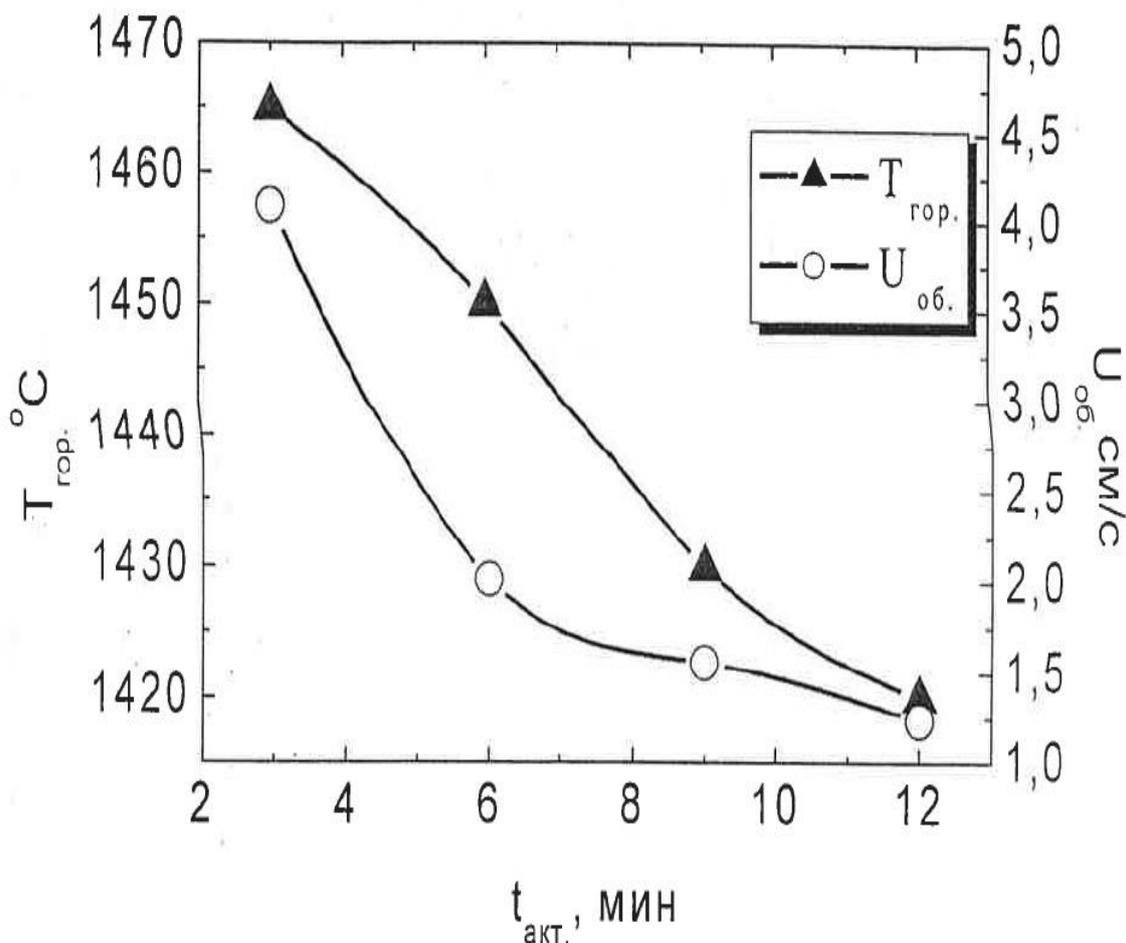


Рисунок 4 – Зависимость температуры горения и объемной скорости распространения волны горения системы Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21 % Al от продолжительности обработки (внепечной режим)

Эксперименты показали положительную роль совместной активации оксидов и алюминия. Разрушение оксидной пленки алюминия при обработке, увеличение площади контакта и повышение теплопроводности стимулирует самовоспламенение образцов при температуре печи 750 – 800 °С. Образцы хорошо сохраняют форму после синтеза. Горение образцов в печи

характеризуется одно волноволновым стационарным режимом, (рис. 5а) в отличие от спиновое стационарного при внепечном (рис. 5б).

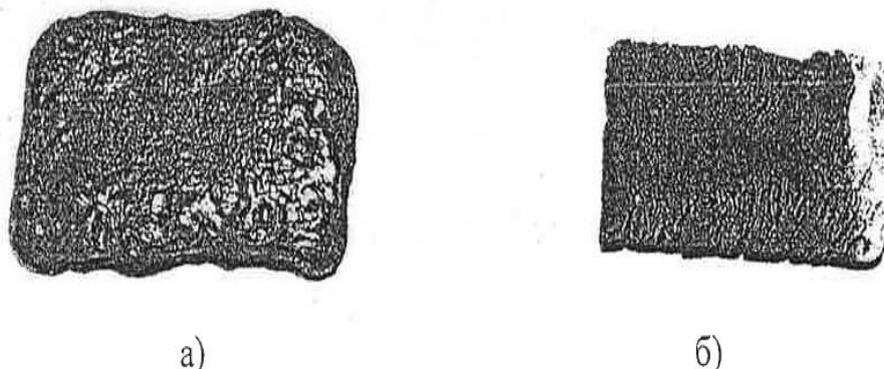


Рисунок 5 – Внешний вид образцов после синтеза  
а)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 21\% \text{ Al}$  (печной режим),  
б) тот же состав (внепечной режим)

В результате горения системы оксид хрома – алюминий, согласно рентгенофазовому анализу образуется керамика, состоящая из металлического хрома, оксидов хрома и алюминия в виде твердых растворов.

В системе хромит – алюминий скорость горения лимитируется реакциями взаимодействия алюминия с  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ . Таким образом, при механической обработке отдельно оксидов, образующиеся на поверхности продукты твердофазного взаимодействия ультрадисперсных частиц железа и оксида металла ингибируют дальнейший процесс алюминотермического горения, а совместная механическая активация реагирующих компонентов обеспечивает не только процесс диспергирования и увеличение площади контакта, но и создание энергетических условий, стимулирующих стационарное протекание синтеза.

### 3 Экономическая часть

Расчет общей суммы затрат включает в себя затраты на сырье, реактивы, воду, электроэнергию, амортизационные отчисления за оборудование и заработную плату. Все затраты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Общие затраты на научно-исследовательскую работу

Наименование затрат	Сумма затрат, тг
Амортизационные отчисления за 3 месяца, тг	2499
Основные и вспомогательные материалы, тг	1693
Затраты на потребление электричества, кВт · ч	2473,5
Затраты на потребление холодной воды, л	34,6
Заработная плата, тг	299700
Итого	306400,1

Таким образом, сумма затрат на исследования составляет 306400,1 тг.

Для того, чтобы рентабельность была хотя бы на 10 %, экономический эффект должен составлять:

$$\mathcal{E}_0 = (Z + A) \cdot 0,1 \cdot (3/12). \quad (36)$$

Так как работа проводилась в течение 3 месяцев, то экономический эффект будет равен:

$$\mathcal{E}_0 = Z + C_n \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e) \cdot (3/12). \quad (37)$$

Экономический эффект данной работы составляет:

$$\mathcal{E}_0 = 306400,1 + 200000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) \cdot (3/12) = 326002,1 \text{ тг.}$$

Тогда 10 % рентабельности производства экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_0 = (Z + C_n \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e) \cdot (3/12)) \cdot 0,1; \quad (38)$$

$$\mathcal{E}_0 = (306400,1 + 200000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) \cdot (3/12)) \cdot 0,1 = 32600,21 \text{ тг.}$$

Таким образом, экономический эффект научно – исследовательской работы определяется по формуле:

$$\Xi_0 = 3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^2 \cdot (3/12); \quad (39)$$

$$\Xi_0 = 306400,1 + 200000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 \cdot (3/12) = 345604,1 \text{ тг.}$$

Тогда 10 % рентабельности производства на второй год экономический эффект составит:

$$\Xi_0 = (3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^2 \cdot (3/12)) \cdot 0,1; \quad (40)$$

$$\Xi_0 = (306400,1 + 200000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 \cdot (3/12)) \cdot 0,1 = 34560,4 \text{ тг.}$$

Таблица 7 - Техничко-экономические показатели

Показатели	Значения
Капитальные затраты на оборудование, тг	200000
Затраты на исследования, тг	306400,1
Заработная плата и начисления, тг	299700
Накопления на исследования, тг	71289
Накопления на исследования за 1 год, тг	78408
Накопления на исследования за 2 год, тг	86408,52
Стоимость проекта, тг	377689,1
Стоимость проекта за 1 год, тг	384808,1
Стоимость проекта за 2 год, тг	392808,62
Срок окупаемости, года	1,9
Экономическая эффективность исследовательской работы при 10 % рентабельности за первый год, тг	32600,21
Экономическая эффективность исследовательской работы при 10 % рентабельности за второй год, тг	34560,4

Таким образом, экономический эффект НИР при 10 % рентабельности на второй год составит:

$$345604,1 + 34560,4 = 380164,5 \text{ тг.}$$

Срок окупаемости проекта рассчитываем по формуле:

$$T = \frac{K}{U}, \quad (41)$$

где  $K$  – годовая стоимость оборудования;  
 $U$  – изменение себестоимости;

$$T = 200000 / 103208,45 = 1,9 \text{ года.}$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составит 1,9 года.

На основании рассчитанных данных составим таблицу основных технико-экономических показателей (таблица 7), характеризующих данную научно - исследовательскую работу.

Таким образом, расчеты экономических затрат показали, что основную часть затрат составляют капитальные затраты и затраты на заработную плату исполнителей научно-исследовательской работы. Экономический эффект при 10 % рентабельности работы по результатам первого года составляет - 32600,21 тенге, по результатам второго года - 34560,4 тенге. Срок окупаемости научно-исследовательской работы в этих условиях составит 1,9 года.

## 4 Безопасность и охрана труда

Технический регламент разработан в соответствии с законами Республики Казахстан от 3 апреля 2002 года «О промышленной безопасности на опасных производственных объектах» и от 9 ноября 2004 года «О техническом регулировании».

Распространяется на требования к безопасности процессов (дробления, измельчения, классификации, подготовки шихты, обжига, прокалки, спекания, пирометаллургических, гидрометаллургических, электролизных, рафинирования и разливки) металлургических производств, связанных с возможностью причинения вреда жизни и здоровья человека и окружающей среде.

Процессы металлургических производств имеют риски причинения вреда здоровью и жизни людям, риски связанные с загрязнением окружающей среды.

Идентификацию опасных условий и оценку предполагаемого риска воздействия опасными веществами, включая любую скрытую опасность для обслуживающего персонала проводит изготовитель оборудования, применяемого в процессах металлургических производств.

Опасные вещества находятся в любом физическом состоянии (газы, жидкости, твердые вещества) и могут воздействовать на человека путем:

- вдыхания;
- попадания в желудок;
- контакта с кожей и слизистой оболочек глаз, носа, рта;

проникновения под кожу.

В процессах металлургических производств образуются как переносимые, так и непереносимые по воздуху эмиссии, которые могут представлять собой серьезные источники воздействия опасным веществом. Риск воздействия опасным веществом должен быть снижен до практически возможного, учитывая научно-технические методы и предельные значения воздействия этого вещества и условия окружающей среды, применяя технологии и оборудование, соответствующие требованиям промышленной безопасности.

Насыщенность современных лабораторий электрооборудованием чрезвычайно высоко. Чаще всего следует отметить используемые в качестве основных источников тепла различные электронагревательные приборы мощностью, от нескольких ватт до десятков киловатт, в том числе сушильные шкафы, электропечи и так далее.

Химическая лаборатория по степени опасности поражения людей электрическим током относится к помещениям с повышенной опасностью. Эта опасность обусловлена возможностью воздействия на электрооборудование химически активной среды.

Основными мерами предотвращения электротравм в лабораториях является защита от прикосновения к находящимся под напряжением частям

электрооборудования и применение защитного заземления. Прочие меры защиты - защитное отключение, применение малых напряжений - имеют ограниченное применение.

Защитное заземление преднамеренное соединение с землей металлических частей оборудования, не находящихся под напряжением в обычных условиях, но которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции электрооборудования. Его назначение - устранение опасности электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях оборудования.

Защитное отключение устройство, обеспечивающее быстрое автоматическое отключение участка электрической сети при возникновении в нем опасности поражения электрическим током.

Средства индивидуальной защиты работающих находят широкое применение. Во многих случаях их использование является обязательным и необходимым. Индивидуальная защита имеет вспомогательный характер и ее никак нельзя подменить техническими мероприятиями по обеспечению нормальных условий труда. Спецодежда служит для защиты работающего от неблагоприятных воздействий различных сред, не нарушая при этом нормального функционирования организма.

К индивидуальным средствам защиты относятся приборы и приспособления для защиты дыхания, зрения, слуха, головы, рук, ног, кожи. Для защиты от вредных веществ основное значение имеют средства индивидуальной защиты органов дыхания, спецодежда, спецобувь, средства защиты рук.

Пожарная безопасность должна обеспечиваться системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Ответственность за соблюдение необходимого противопожарного режима и своевременное восполнение противопожарных мероприятий возлагается на руководителей. Руководители предприятия обязаны назначить приказом должностных лиц, ответственных за пожарную безопасность отдельных объектов. Ответственность за пожарную безопасность несет каждый на своем месте. Все трудящиеся при поступлении на работу проходят первичный и повторный инструктаж о мерах пожарной безопасности.

В соответствии с условиями, необходимыми для возникновения и распространения горения, прекращение горения может быть достигнуто следующими методами: прекращение доступа в зону горения кислорода или горючего вещества, охлаждением зоны ниже температуры самовоспламенения, разбавлением горючих веществ негорючими.

Очень важно учитывать требования к устройству путем эвакуации, выходом из зданий, которое принимается по расчету и должно быть их не менее двух. Эвакуация персонала проводится через коридор, ведущий к лестничному пролету, далее через запасной выход на улицу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований по выяснению влияния предварительной механохимической обработки систем на основе оксидов d-переходных металлов на алюминотермические горения показывают, что диспергирование и активация являются эффективным способом воздействия на оксиды, отличающиеся нестехиометричностью, обусловленной многовалентностью самих d-металлов. Изучено влияние механической обработки отдельно оксида металла и совместно его с алюминием на кинетические характеристики горения.

Проведенный расчет при обработке твердофазных оксидов в центробежно-планетарной мельнице свидетельствует, что на ударно-фрикционном контакте развиваются кратковременные высокие давления и температуры. В результате абразивно-окислительного износа образующиеся ультрадисперсные частицы железа и кислород адсорбируются на свежесформированной поверхности частиц обрабатываемого оксида. Протекание гетерогенных твердофазных реакций возможно только на участках тесного соприкосновения фаз с формированием слоя шпинели нестехиометрического состава. Образованные в поверхностном слое шпинели и ультрадисперсные частицы железа вызывают ингибирование последующего высокотемпературного синтеза. Совместная активация оксида и алюминия обеспечивает не только процесс диспергирования и увеличение площади контакта, но и создание энергетических условий, стимулирующих стационарное протекание высокотемпературного синтеза.

Таким образом, технологический прием, включающий механохимическую активацию и алюминотермию, расширяет круг систем, в которых может быть осуществлен процесс, раздвигает концентрационные границы его проведения, позволяет существенно увеличить скорость и провести его в твердофазном режиме.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шрадер Р. Механохимия твердых тел / В кн.: Наука и человечество. – М. – 1999. – С. 370-385.
- 2 Подергин В.А. Металлотермические системы. М.: Металлургия, 1992, - 272 с.
- 3 Григорьева Т.Ф., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез интерметаллических соединений / Успехи химии, Т. 70, №1, 2001, с. 52-71..
- 4 Уракаев Ф.Х., Болдырев В.В. Расчет физико-химических параметров реакторов для механохимических процессов / Неорганические материалы, 1999, Т. 35, №2, с. 248-256..
- 5 Urakaev F.Kh., Boldyrev V.V. Mechanism and kinetics of mechanochemical processes in comminuting devices / Powder technology, 2000, V. 107, P. 93-107.
- 6 Уракаев Ф.Х., Шевченко В.С., Кетегенов Т.А. Механохимический синтез халькогенидных нанокompозитов / Журнал физической химии, 2004, Т. 78, №3, с. 571-574.
- 8 Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: ЗАО "Бином", 1999. – 175 с.
- 9 Кобяков В.П., Мальцев В.М., Мержанов А.Г. Теплоэнергетика. 1977, №2. С. 33.