

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

Хан Максим Владимирович

Исследование аллотермического горения оксида хрома в режиме СВС в  
присутствии нанодисперсного кремнезема.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

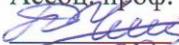
специальность 5В070900 – Металлургия

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 МПТиТСМ,  
Ассоц. проф. Канд. техн. наук  
 Чепуштанова Т.А.  
"30" апреля 2019 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

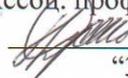
На тему: " Термодинамическое моделирование процессов горения систем  
"силумин-марганцевые руды в режиме СВС "

по специальности 5В070900 – Металлургия

Выполнил

Танжарбаев Д.Е

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.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
НАО «КазНТУ им. К.И. Сатпаева»  
Горно-металлургический  
институт им. О.А. Байконурова

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

5B070900 – 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 Хан Максим Владимирович

Тема: Исследование алюмотермического горения оксида хрома в режиме СВС в присутствии нанодисперсного кремнезема

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

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

Исходные данные к дипломной работе: оксид хрома, золь-гель, лабораторное оборудование, печь.

Краткое содержание дипломной работы:

а) критический обзор: способ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, реагенты.

б) основная часть: Электронно-микроскопические исследования явления гетерокоагуляции золь кремнезема в оксиде хрома. Термохимические расчеты температур СВС при различных соотношениях  $Al/Cr_2O_3$

в) экономическая часть: Расчет экономического эффекта за 2 года, и срока окупаемости

г) охрана труда: анализ опасных производственных факторов.

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

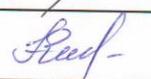
Рекомендуемая основная литература: из 8 наименований

**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  
с указанием относящихся к ним разделов работы

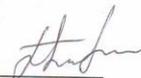
Наименования разделов	Консультанты И.О.Ф (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	канд. техн. наук, ассоц. проф Гусейнова Г.Д	19.04.2019 г.	
Безопасность и охрана труда	канд. техн. наук, ассоц. проф Гусейнова Г.Д	25.04.2019 г.	
Нормоконтролер	канд. техн. наук Коныратбекова С.С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

Научный руководитель



Гусейнова Г.Д

Задание принял к исполнению обучающийся



Танжарбаев Д.Е.

Дата

" 15 " Октября 2018 г.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс 30 бетте машинамен жазылған текстпен суреттелген, ол 8 кесте, 10 сурет, 8 қолданылған әдебиеттен.

Өзекті сөздер: өзітарайтын жоғарытемпературалық синтез, гетероірілену, кремнезема кірнесі, нанодисперсті, кинетика, температура, беріктік, жылдамдық.

Нанодисперсті кремнеземнің қатысуымен хром тотықтарында болатын өзітарайтын жоғары температуралық синтез процесстері зерттеу аймағы болады.

Жұмыс мақсаты – ӨЖТС режимінде хром тотықтаның алюмотермиялық жануының кинетикалық заңдылығын және нонадисперсті кремнеземнің ӨЖТС процесстеріне әсер етуін зерттеу.

Тотықсыздандырғыштың көптігінен – ұнтақ алюминий ӨЖТС жылдамдығы мен температурасы арасында корреляцияның жоқтығына нанодисперсті кремнеземнің әсері жайлы біркелкі заңдылық тағайындалды.

ӨЖТС принциптері – , кірне – сірне - және нанотехнологияның бір-біріне ұқсастығы біркелкі температуралық режимде темір тотықтарының ӨЖТС ұйымдастыруға және іс жүзінде отқатөзімділер мен композициялық материалдардың жаңа түрлерін алуға көмегін тигізеді.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа изложена на 30 страницах машинописного текста, включает: 8 таблиц, 10 рисунков, используемых источников литературы 8.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, гетерокоагуляция, золь кремнезема, нанодисперсный, кинетика, температура, прочность, скорость.

Объектами исследований являются процессы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в оксиде хрома в присутствии нанодисперсного кремнезема.

Цель работы – исследование кинетических закономерностей алюмотермического горения оксида хрома в режиме СВС и влияния нанодисперсного кремнезема на процессы СВС.

Установлены общие закономерности влияния нанодисперсного кремнезема на процессы СВС в оксиде хрома – снижение температур и скоростей СВС.

Показано, что сочетание принципов СВС – золь – гель – и нанотехнологий позволяет организовать СВС оксидов металлов при умеренном температурном режиме, что имеет практическое значение для получения новых видов огнеупорных и композиционных материалов.

## ANNOTATION

Degree work is stated on 30 pages of the typewritten text, includes: 8 tables, 10 figures, used sources of the literature 8.

Keywords: a self-extending high-temperature synthesis, heterocoagulation, sol of silica, nanodispersed, kinetic, temperature, durability, speed.

Objects of researches are processes of a self-extending high-temperature synthesis in chromium oxide at presence of silica nanodispersed.

The Purpose of work - research of kinetic laws aluminothermic burning chromium oxide in mode SHS and influences of silica nanodispersed on processes SHS.

The general laws of influence on processes of silica nanodispersed SHS in oxide chrome - decrease in temperatures and speeds SHS.

It is shown, that the combination of principles SHS - sol - gel - and nanotechnology allows to organize SHS oxides metals at the moderate temperature mode that has practical value for reception of new kinds of fire-resistant and composite materials.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	8
	Основная часть	
1	Критический обзор	
2	Основная часть	10
2.1	Материалы, оборудование и методика экспериментов	12
2.2	Измерение температур и скорости горения	12
2.3	Определение температуры горения термопарным способом	12
2.4	Определение прочности образцов на сжатие	13
2.5	Определение размеров частиц золей кремнезема	14
2.6	Методика совместного электронно-микроскопического и рентгенофазового исследования взаимодействия компонентов	14
2.7	Определение начальных стадий взаимодействия оксида хрома с алюминием	18
2.8	Определение температурно-скоростных характеристик СВС в зависимости от соотношения $Al/Cr_2O_3$	23
2.9	Термохимические расчеты температур СВС при различных соотношениях $Al/Cr_2O_3$	24
2.10	Влияние золей кремнезема на макрокинетику СВС в системе $Al - Cr_2O_3$	24
2.11	Рентгенофазовый анализ продуктов СВС в системе $Al - Cr_2O_3$	25
3	Экономическая часть	27
4	Охрана труда	30
	Заключение	
	Список использованной литературы	

## ВВЕДЕНИЕ

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

Исследования алюмотермических горения оксидов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) представляют значительный интерес в теории и практике СВС-технологии огнеупорных и композиционных материалов.

Соотношения активных компонентов – алюминия и оксидов металлов, химическая природа связующего и различных добавок, режимы термообработки, дисперсность компонентов СВС-системы определяют многообразные свойства конечных продуктов высокотемпературного синтеза. Наиболее привлекательная черта СВС, определяющая постоянный интерес к этому явлению, состоит в возможности получения ценных продуктов в виде порошков или готовых формованных изделий непосредственно в процессе СВС за короткий промежуток времени. Возможности СВС значительно расширяются при использовании нанодисперсных компонентов и сочетании принципов СВС с другими физико-химическими явлениями.

В последние годы в Институте проблем горения начаты исследования процессы СВС в присутствии нанодисперсного компонента - ультрадисперсного кремнезема. Ультрадисперсный оксид кремния вводится в систему за счет гетерокоагуляции золь кремнезема, который выполняет роль связующего в исходной алюмотермической системе. Гетерокоагуляция золь кремнезема сопровождается осаждением нанодисперсных частиц аморфного оксида кремния на поверхности активных компонентов СВС-системы. Влияние нанодисперсного оксида кремния на инициирование и макрокинетику алюмотермического горения оксида хрома представляет фундаментальный научный интерес.

### **Актуальность работы.**

Полученные результаты могут найти применение для обоснованного совмещения принципов золь-гель- и СВС-технологии в разработках новых типов огнеупорных и композиционных материалов.

**Цель:** установление кинетических закономерностей СВС в оксиде хрома при наличии нанодисперсного кремнезема, влияния гетерокоагуляции золь кремнезема на температурно-скоростные характеристики СВС и свойства продуктов СВС.

**Объект исследования:** процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в оксиде хрома в присутствии нанодисперсного кремнезема.

### **Задачи работы:**

- электронно-микроскопические исследования явления гетерокоагуляции золь кремнезема в оксиде хрома;
- определение температурно-скоростных характеристик СВС в зависимости от соотношения  $Al/Cr_2O_3$ ;

– термохимические расчеты температур СВС при различных соотношениях  $Al/Cr_2O_3$

**Научная новизна:** в настоящей работе впервые исследуются процессы алюмотермического горения в режиме СВС оксида хрома в присутствии нанодисперсного кремнезема.

**Теоретическая основа** – анализ литературных данных, промежуточные научные отчеты РГП «Институт проблем горения».

**Методологическая основа** - электронно-микроскопический и рентгенофазовый методы анализа.

**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

**СВС** - это разновидность горения, в котором образуются ценные твердые вещества, путем перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых конечных продуктов, проводимый с целью синтеза веществ материалов. СВС представляет собой режим протекания сильной экзотермической реакции (реакции горения), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи. Развитие работ основано на научном открытии советских ученых А.Г. Мержанова и соавторы "Явление твердого пламени"[1].

Малоисследованным вопросом является механизм и динамика структурообразования конечных продуктов. Наиболее важное значение имеет получение информации об изменении в волнах СВС микроструктуры образующегося материала (распределение по размерам зерен кристаллитов фазовых составляющих и пор). Решение этой проблемы поможет создать научно-обоснованные приемы повышения прочности синтезируемых материалов и управления фильтрационными характеристиками пористых СВС-продуктов. Методика получения сложных оксидных материалов (керамики) методом СВС существенно отличается от традиционной. Общепринятый способ синтеза оксидных материалов основан на спекании смеси простых оксидов с образованием сложного [2].

Синтез проводят в печах при высоких температурах в кислородсодержащей среде в течение длительного времени. Иногда в качестве реагентов используют карбонаты, нитраты, пероксиды. Специфика СВС требует наличия в исходной смеси горючего и окислителя для осуществления процесса в режиме горения. Как правило, горючим при синтезе оксидных материалов может быть металл, иногда применяют его гидрид или другое соединение. Роль окислителя выполняет кислород. Реакция окисления металла является основной, она обеспечивает необходимое для СВС выделение теплоты. При этом кислород может быть использован из двух источников: внутреннего (конденсированный легко разлагающийся нитрат, пероксид и т. д.) и внешнего (например, кислород воздуха или баллонный кислород). Во многих случаях для управления процессом возможны также комбинированные варианты.

### **Общий механизм и теория СВС [3].**

Малоисследованным вопросом является механизм и динамика структурообразования конечных продуктов. Наиболее важное значение имеет получение информации об изменении в волнах СВС микроструктуры образующегося материала (распределение по размерам зерен кристаллитов фазовых составляющих и пор). Решение этой проблемы поможет создать научно-обоснованные приемы повышения прочности синтезируемых материалов и управления фильтрационными характеристиками пористых СВС-продуктов. Для ее решения необходима разработка новых, динамических методов диагностики строения вещества в разных зонах

СВС-процесса. Привлекательной задачей является также определение прочностных характеристик зоны горения [4].

До сих пор не было попыток построить структурно-макрокинетическую теорию СВС-процесса, т.е. рассмотреть совместно процессы горения и структурообразования, что позволило бы глубже понять роль автоволнового процесса в формировании структуры продукта горения и роль структурных превращений в механизме твердопламенного горения.

По-прежнему, важными задачами являются экспериментальная диагностика и математическое моделирование (особенно, трехмерное) неустойчивых процессов горения, построение физико-химических моделей СВС в конкретных, наиболее важных в практическом отношении системах с предвычислением оптимальных условий синтеза, исследование кинетики тепловыделения в порошковых средах при высоких температурах.

### **Реагенты и процессы [5].**

Реагенты в СВС процессах используются в виде тонкодисперсных порошков, тонких пленок, жидкостей и газов. Наиболее распространены два типа систем: смеси порошков (спрессованные или насыпной плотности) и гибридные системы газ-порошок (или спрессованный агломерат). Известны СВС-процессы и в системах: порошок-жидкость, газ-взвесь, пленка-пленка, газ-газ. Главные требования к структуре исходной системы - обеспечение условий для эффективного взаимодействия реагентов. Шихта в СВС-процессах может находиться в вакууме, на открытом воздухе, в инертном или реагирующем газе под давлением [6].

В создании СВС системы могут участвовать все химически активные при высоких температурах вещества в качестве реагентов (химические элементы, индивидуальные соединения, многофазные структуры) и инертные вещества в качестве наполнителей или разбавителей [7-8].

Наиболее популярными реагентами:  $H_2$ , В, Al, С,  $N_2$ ,  $O_2$ , Mg, Ti, Nb, Mo, Si, Ni, Fe,  $B_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MoO_3$ ,  $Fe_2O_3$ , NiO и др.

В качестве реагентов используется также минеральное сырье и промышленные отходы.

- Условия подбора компонентов СВС-системы:
- экзотермичность взаимодействия реагентов
- образование полезных твердых продуктов
- техническая и экономическая целесообразность.
- Горение в СВС-процессах оно получило название "твердое пламя".

## **2 Экспериментальная часть**

### **2.1 Материалы, оборудование и методика экспериментов**

Для выполнения экспериментальных работ использовались следующие соединения: алюминиевый порошок марки ПА-4 производства Волгоградского алюминиевого завода, оксид железа (магнетит) марки ХЧ, оксид железа (Ш) марки ХЧ, оксид алюминия марки ХЧ, золь кремнезема производства компании «DeguDent GmbH» (Германия). Дисперсность компонентов составляла менее 90 мкм.

Компоненты взвешивали на электронных весах ВЛЭ-134 и тщательно перемешивались в фарфоровой ступке. Затем добавляли определенное количество кремнезоль, достаточное для приготовления полувлажной смеси с целью изготовления образцов (прессованием) трамбованием. Влажность смесей составляла 5 - 5,5 %.

Для определения теплофизических и прочностных характеристик готовились образцы в виде кубиков с размерами 20x20x20 мм и цилиндров с диаметром 20 мм, и высотой 40 мм, цилиндры изготавливались прессованием в пресс-форме при давлении около 70 МПа. После формования образца оставляли на естественной сушке при комнатной температуре в течение 20 - 24 ч, затем выдерживались в сушильном шкафу при температуре 70 - 80 °С в течение 5 часов.

Просушенные образцы помещались в печь с электронагревателями с рабочей температурой 1100 °С. Контроль и измерение  $t^{\circ}$  в печи осуществлялись через терморегулятор с термопарой. Измерение температуры на образцах проводили с помощью оптических пирометров (раздел 2.2) и термопарным способом. Максимальная температура в печи, необходимая для СВ-синтеза в исследуемых системах, не превышала 1050 °С.

Огнеупорность и шлакоустойчивость синтезированных изделий определяли в печи высокого сопротивления с графитовым нагревателем – печи Таммана. Температуру измеряли оптическим пирометром «Проминь» пирометрическим термометром «Ircan Ultimax Plus UX10P».

Прочность изделий на сжатие определялась на установке, состоящей из пресса и динамометра; согласно (стандартной) методике определялась прочность на сжатие продуктов СВС.

### **2.2 Измерение температур и скорости горения**

Измерение параметров процессов СВС проводилось в экспериментальной лабораторной шахтной силитовой печи отражательного типа, сконструированной в ИПГ. Особенностью печи являлось то, что образцы погружались в шахту печи перпендикулярно нагревательным стержням. Образцы помещались в теплоизоляционную кювету, изготовленную из ультралегковесного алюмосиликатного огнеупора. Одна сторона и верх кюветы были открытыми. Таким образом, на образец

действовало градиентное по оси образца температурное поле, что обычно приводило к воспламенению образца с незащищенной стороны. Промер температур по длине образца показал градиент температур 20 - 30 °С на 40 мм. Иницирование СВС проводилось также поджигом образцов магний-алюминиевым термитом при температуре начального подогрева 700 °С в муфельной печи. В опытах по измерению температур горения использовался, в основном, этот способ иницирования СВС.

Процесс горения СВС фиксировался на видеокамеру (Panasonic RZ-1), а измерение температуры горения регистрировалось с помощью пирометров фирмы «Ircan Ultrimax Plus UX10P» инфракрасного диапазона (2002 г.в.) с интервалом измеряемых температур от 600 до 3000 °С и оптического пирометра сравнения «Проминь» с интервалом измеряемых температур 800 - 2000 °С.

Обработка результатов производилась на компьютере Р III с цифровой обработкой изображения Pinnacle Studio 10.0, ASDSea 5.0, Virtual Dub 1.5.10., Adobe Photoshop и Windows Media Plaer.

Полученные после раскадровки изображения отдельных кадров в формате BMP с отметками индексов кадров распечатывались на принтере и по ним графически находились скорости горения. На изображениях образцов проводились касательные по фронту волны горения и измерялись расстояния от конца таблетки до фронта волны горения. Вычитанием находилось расстояние  $\Delta l$ , на которое прошла волна горения за время  $\Delta t$ , прошедшее между двумя выбранными кадрами. Время рассчитывалось по формуле:

$$\Delta t = (n_2 - n_1) \cdot 0,04, \quad (1)$$

где  $n_2$  и  $n_1$  порядковые индексы кадров; 0,04 – постоянная времени при частоте 25 кадров в секунду.

Истинное расстояние прохождения волны горения вычислялось по формуле:

$$\Delta L = \Delta l \cdot k, \quad (2)$$

где  $\Delta L$  – истинное расстояние, на которое прошла волна горения за измеряемое время,  $\Delta l$  – измеренное на распечатке изображений расстояние, на которое прошла волна горения за измеряемое время,  $k$  – коэффициент пересчета масштаба изображения полученный делением истинного значения диаметра образца, являющимся для данного метода реперным расстоянием, на измеренное на распечатке значение диаметра образца.

Линейная скорость распространения фронта волны при СВС рассчитывалась как

$$u = \Delta L / \Delta t \quad (3)$$

### 2.3 Определение температуры горения термопарным способом

Температура горения измерялась термопарным методом. Использовалась вольфрам-рениевая термопара ВР 5/20 толщиной  $10^{-4}$ . Показания термопары регистрировались на компьютере. Сжигание образца проводилось по методике, указанной в п.2.2. Температура горения определялась по максимальному значению термо-ЭДС с использованием табличных данных. Изменение термо-ЭДС записывалось в компьютер со скоростью считывания показаний через 3 мс. Теоретическая температура горения рассчитывалась по формуле:

$$T_2 = T_o + \Delta H/C_p \quad (4)$$

где  $T_o$  – температура эксперимента,  $\Delta H$  – теплота образования продукта при  $T_o$ ,  $C_p$  – средневзвешенная теплоемкость продукта при  $T_o$ .

Измерение температуры горения образцов дублировалось пирометрическим термометром «Ircan Ultrimax Plus UX10P» с диапазоном измерений 800 – 3000 °С.

### 2.4 Определение прочности образцов на сжатие

Прочность синтезированных изделий размерами 20x20x20 мм определяли на установке, состоящей из пресса и динамометра. Давление прессования регистрировалось динамометром.

В момент разрушения образца показания динамометра резко уменьшались от максимального значения до нуля. Опыты проводили на 3 – 5 идентичных образцах, среднее арифметическое значение максимальных показаний динамометра использовали для расчета прочности образца на сжатия по формуле:

$$\sigma_{сж} = 0,16\langle\varphi\rangle, \quad (5)$$

где  $\langle\varphi\rangle$  - среднее арифметическое показание шкалы манометра.

Аналогичным образом определялись пределы прочности на сжатие для прессованных цилиндрических образцов до синтеза и после синтеза.

### 2.5 Определение размеров частиц золей кремнезема

Определение размеров частиц золей кремнезема в вводно-дисперсионной среде проводились оптическим методом (турбидиметрическим методом), основанном на соотношении Рэлея:

$$r = (3\tau\lambda^4/4\pi cF)^{1/3} \quad (6)$$

где  $r$  – радиус частиц сферической формы,  $\tau$  – мутность системы,  $\lambda$  – длина волны падающего света,  $c$  – объемная концентрация дисперсной фазы,  $F$  – функция показателей преломления.

Функция показателей преломления определяется соотношением

$$F = 24\pi^2(n_1^2 - n_0^2 / n_1^2 + 2n_0^2), \quad (7)$$

где  $n_1$  и  $n_0$  – соответственно показатели преломления вещества дисперсной фазы и дисперсионной среды. Для золь кремнезема принимались следующие значения: 1,33 – для воды; 1,54 – для оксида кремния.

Мутность системы  $\tau$  определялась по уравнению Бугера-Ламберта-Бера:

$$\lg(I_0/I_n) = 2,3D = \tau l \quad (8)$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего света,  $I_n$  – интенсивность прошедшего света,  $D$  – оптическая плотность,  $l$  – толщина слоя раствора, составляющая 30 мм. Растворы золь анализировались на фотометре фотоэлектрическом КФК-3 в диапазоне длин волн от 300 нм до 900 нм. Раствором сравнения являлась вода.

Более достоверные данные о размерах и форме частиц может дать электронная микроскопия. Проводилось электронно-микроскопическое фотографирование препаратов, изготовленных из золь кремнезема полученных в настоящей работе монообменным способом. Размеры частиц, определенные турбидиметрическим методом, сравнивались с размерами, полученными электронно-микроскопическим методом. Съемка объектов проводилась на микроскопе МК 125К Института органического катализа и электрохимии при увеличении 12000 и 62000 раз. Препараты готовились нанесением на подложку разбавленного раствора кремниевой кислоты с последующей сушкой в вакууме.

## **2.6 Методика совместного электронно-микроскопического и рентгенофазового исследования взаимодействия компонентов**

Для изучения состава и структуры образующихся на границе раздела реагентов – продуктов химических реакций в работе использовался метод электронно-микроскопического исследования. Методика позволяет наблюдать процесс реагирования на контакте компонентов, а также определять фазовый состав образующихся первичных продуктов (с помощью микродифракции и темнопольного изображения) и их распределение в реакционной зоне в окрестности отдельной частицы.

Модельная методика основана на непосредственном электронно-микроскопическом наблюдении взаимодействия на образцах в виде частицы, лежащей на пленке другого. Инициирование взаимодействия осуществляется

ступенчатым нагревом образца электронным пучком микроскопа повышенной интенсивности или с помощью специальной приставки. Начало реагирования сопровождается выравниванием этих температур за счет теплопроводности через пленку, что приводит к возникновению градиентов температуры, характерных по величине и для волны горения .

В наших экспериментах для электронно-микроскопических исследований применялись образцы в виде контактирующей пары, одним из компонентов которой являлась частица алюминия размером 20 – 30 мкм, а другим служила пленка оксида кремния  $\text{SiO}_2$ , или оксида хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  толщиной около 100 нм. Пленки получали катодным распылением элементарного кремния (хрома) в аргон-кислородной атмосфере на кристаллическую подложку из бромида калия на установке УРМ 3.279.026 при давлении  $10^{-1} - 10^{-2}$  Па и ускоряющем напряжении 2,5 – 3 кВ. Содержание кислорода в смеси составляло 30 – 50 масс.%. Пленка отделялась от кристалла при растворении бромида калия в дистиллированной воде, закреплялась в держателе образцов электронного микроскопа. На нее методом сухого препарирования наносились частицы алюминиевого порошка марки ПАВЧ 20/30. Образцы исследовались на просвет на электронном микроскопе EF/4 (производство «Карл Цейс Йена») при ускоряющем напряжении 65 кВ. Иницирование окислительно-восстановительных реакций между частицей алюминия и оксидом кремния (хрома) осуществлялось нагревом образцов электронным пучком микроскопа повышенной интенсивности. Процессы, сопровождающие иницирование реакций и взаимодействие реагентов, наблюдались непосредственно на экране микроскопа, а фазовые превращения, протекающие на границах реакционной зоны, определялись с помощью электронной микродифракции и темнопольного изображения.

Динамика наблюдающихся процессов фиксировалась последовательным фотографированием одного и того же участка образца и соответствующих картин микродифракции – характерных дебаеграмм. Температура повышалась ступенчато таким образом, что остановки делались при температурах начала изменения внешнего вида образца или картин электронной микродифракции. Поскольку прямого измерения температур образцов при воздействии электронного пучка не производилось, то температуры взаимодействия оценивались косвенно по фазовым превращениям в системах оксид металла – алюминий.

## **2.7 Определение начальных стадий взаимодействия оксида хрома с алюминием**

Промышленный золь кремнезема представляет высококонцентрированный коллоидный раствор с  $\text{pH} = 10 - 11$  и частицами сферической формы диаметром 20 – 30 нм. Гетерокоагуляция золя кремнезема в присутствии мелкодисперсных порошковых материалов

приводит к образованию нанодисперсного оксида кремния на поверхности частиц гетерогенной среды. На рисунке 1 представлена микрофотография частиц исходного золя кремнезема, а на рисунке 2 картина гетерокоагуляции золя на частицах алюминия. Практически все частицы образцов покрыты золем. Электроннограммы, полученные от таких частиц, указывают на отсутствие кристаллической структуры последних. Таким образом, поверхность алюминиевых частиц блокирована частицами нанодисперсного кремнезема. Это обстоятельство приводит к интересному явлению - порошок алюминий, помещенный в щелочную среду золя кремнезема, не взаимодействует с водой с выделением водорода. В отсутствие золя кремнезема любой щелочной раствор с  $pH = 10 - 11$  немедленно приводит к выделению водорода.

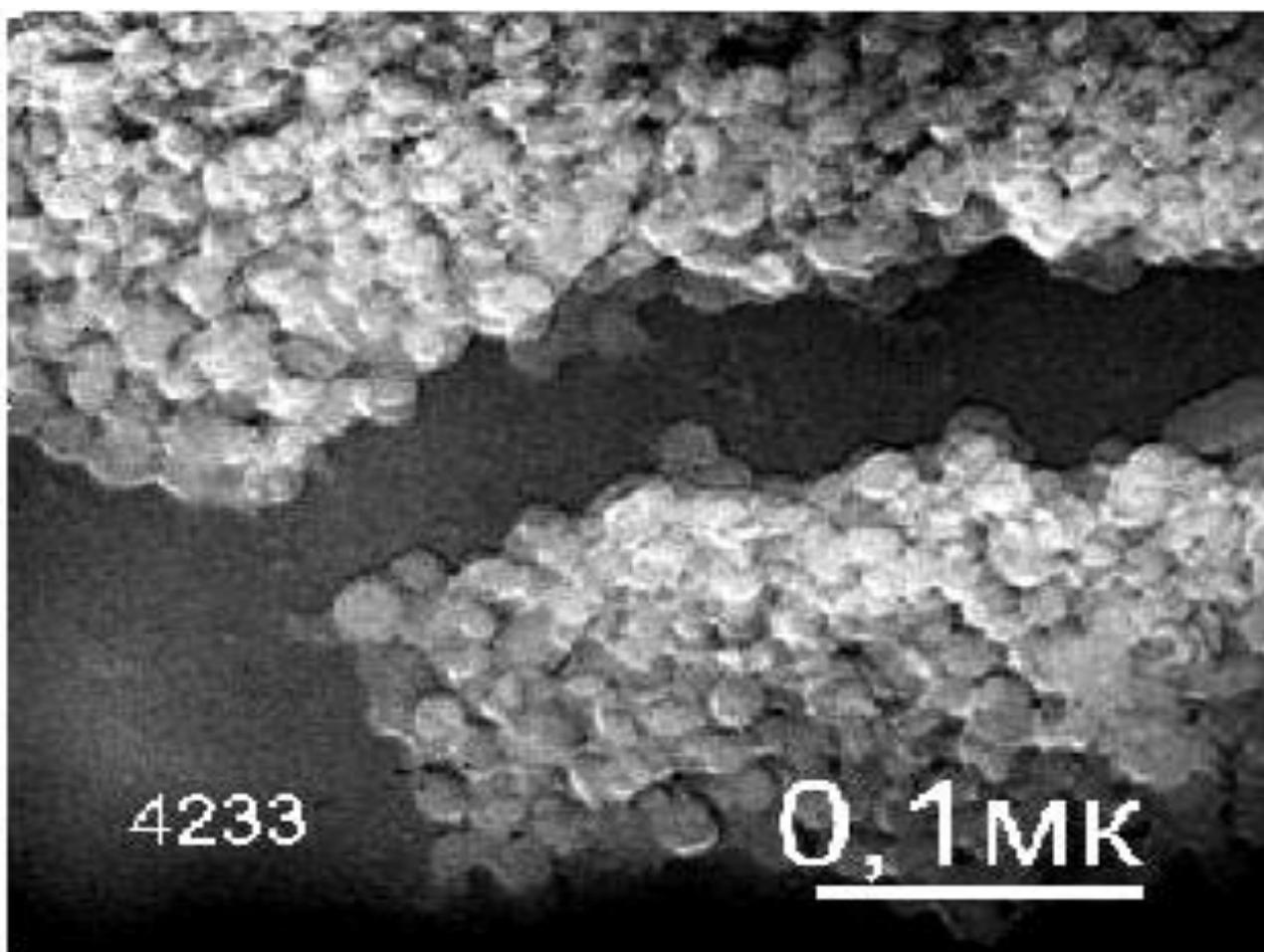


Рисунок 1– Электронно-микроскопический снимок частиц золя кремнезема

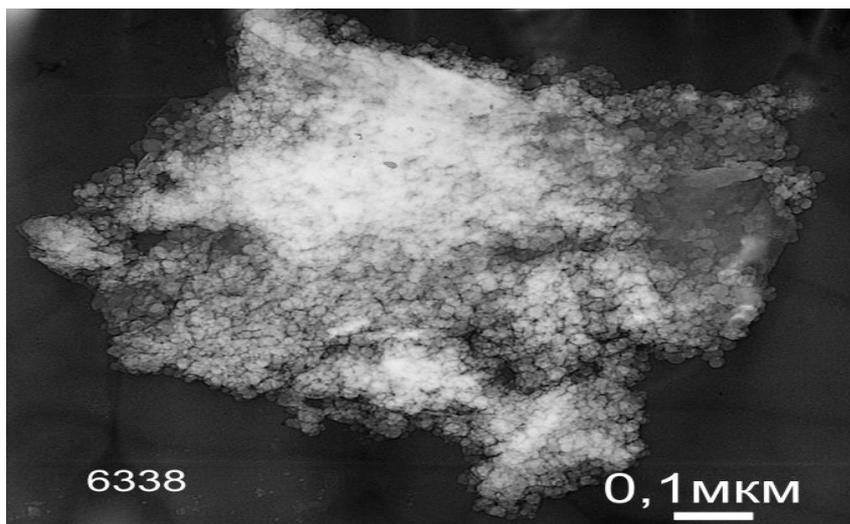


Рисунок 2– ЭМС гетерокоагуляции золя кремнезема на частицах алюминия

На рисунке 3 представлена картина гетерокоагуляции золя кремнезема на частицах аморфного оксида хрома. В образце преобладают рыхлые округлые частицы с преобладающим размером 20 - 30 нм. Часто они образуют скопления вокруг плотных образований, трансформирующиеся под пучком электронов (нег. № 8716). В меньшем количестве встречаются плёночные структуры и рыхлые массы. Микродифракционные картины свидетельствуют о наличии нескольких кремний- и металлсодержащих фаз

(нег. № 8723). Металлосодержащие фазы, плотные образования и рыхлые массы представляют собой различные формы аморфного оксида хрома, а сферические частицы – частицы золя кремнезема.

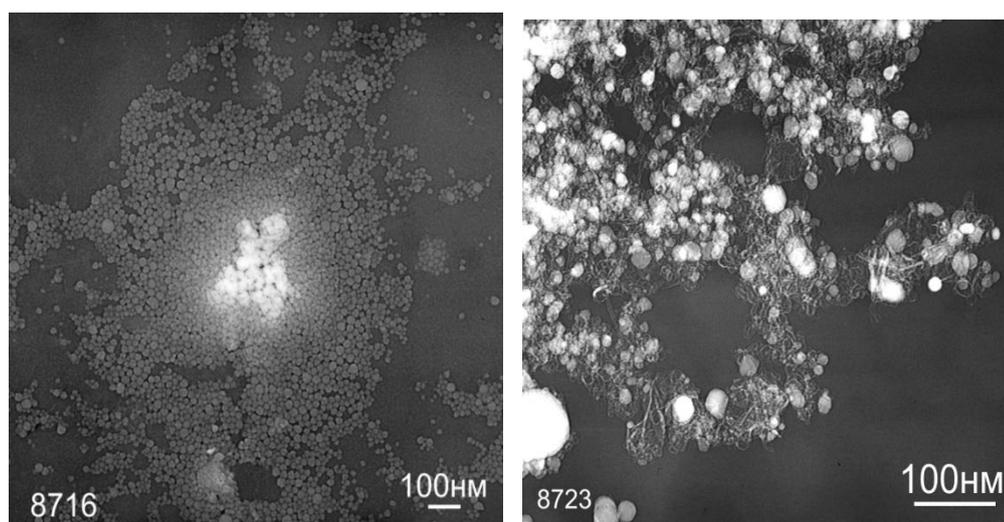


Рисунок 3- ЭМС гетерокоагуляции золя кремнезема на аморфном оксиде хрома

Для более детального исследования начальных этапов алюмотермического синтеза были исследованы системы Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al – SiO<sub>2</sub>, методом просвечивающей электронной микроскопии с параллельным анализом образующихся промежуточных продуктов с помощью микродифракции и темно-польного изображения. Наиболее характерная картина начальных этапов взаимодействия в системе Al<sub>частица</sub> - Cr<sub>2</sub>O<sub>3 пленка</sub> приведена на рисунке 4.

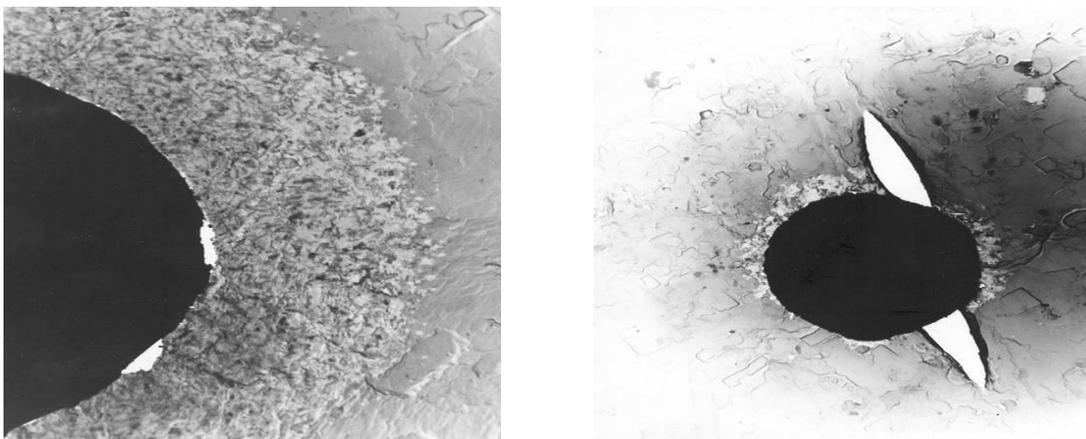


Рисунок 4– Начальный этап взаимодействия Al с пленкой Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Инициирование горения осуществлялось ступенчатым нагревом образца электронным пучком микроскопа повышенной интенсивности. Во всех случаях взаимодействие начиналось после расплавления частицы алюминия и значительного ее перегрева. На границах с частицей участках образуется промежуточный слой, представляющий собой мелкие плотные кристаллы на поверхности пленки. Дальнейший нагрев приводит к поглощению частицей жидкого алюминия слоя промежуточного продукта, оставляя за собой изъеденную пленку.

Микродифракционная картина представлена большим набором колец, составленных из отдельных рефлексов, которые могут быть отнесены к смеси Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO, α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlCr<sub>2</sub>.

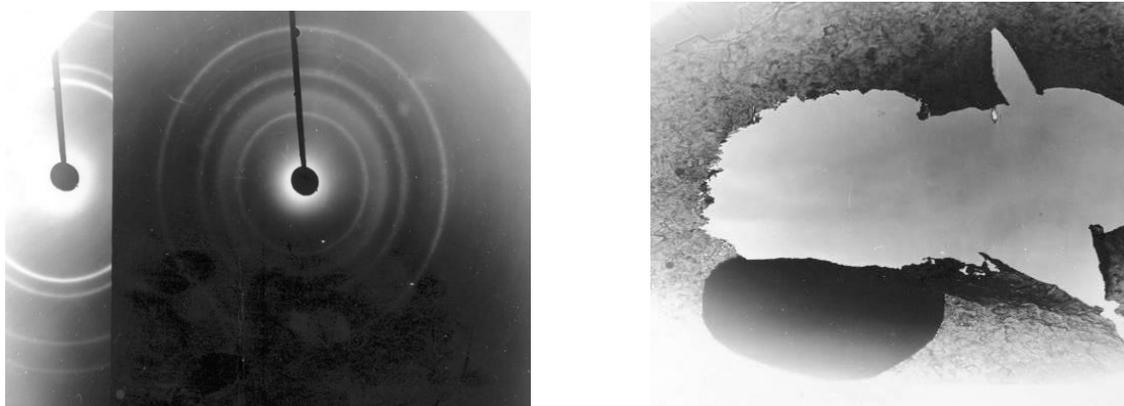


Рисунок 5– Полное взаимодействие Al с пленкой Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

В таблице 1 представлены параметры решеток обнаруженных соединений

Таблица 1– Параметры решеток обнаруженных фаз

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CrO		AlCr <sub>2</sub>	
d(Å)	I/I <sub>max</sub>	d(Å)	I/I <sub>max</sub>	d(Å)	I/I <sub>max</sub>
3,633	74	2,82	10	4,32	
2,666	100	2,59	100	2,83	
2,480	96	2,44	10	2,11	100
2,264	12	2,26	10	2,07	100
2,176	38	2,04	30	1,80	4
2,048	9	1,90	30	1,50	19
1,815	39	1,77	10	1,44	5
1,672	90			1,42	2
1,579	13			1,21	29
1,465	25			1,19	11
1,431	10			1,06	10
1,296	20			1,04	9
1,239	17			0,96	3
1,210	7			0,95	20
1,173	14			0,94	20

Эти результаты определенно указывают на образование недовосстановленных форм оксида хрома и соединений хрома с алюминием - интерметаллидов.

## 2.8 Определение температурно-скоростных характеристик СВС в зависимости от соотношения Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Температурно-скоростные характеристики СВС в системе Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> измерены в широком диапазоне соотношения реагентов. Для увеличения концентрационных пределов горения образцы подогревались до 1000 К. Показано, что при молярном соотношении реагентов  $0,8 \leq [Al]/[Cr_2O_3] \leq 14$  образцы не поддаются воспламенению. В диапазоне соотношений  $[Al]/[Cr_2O_3] \geq 0,8 : 12$  и  $10 : 14$  имеет место пульсирующее горение. Устойчивое горение наблюдается в диапазоне отношений от 1 до 10 моль/моль. Температура горения системы Al - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеет три ярко выраженных максимума при молярном содержании алюминия 2, 4, 6.

В то же время линейная скорость распространения волны горения на рисунке 6 характеризуется одним максимумом при молярном содержании алюминия, равным 3. Эти результаты свидетельствуют об отсутствии

взаимно однозначного соответствия между скоростью и температурой горения, что указывает на многостадийный механизм горения.

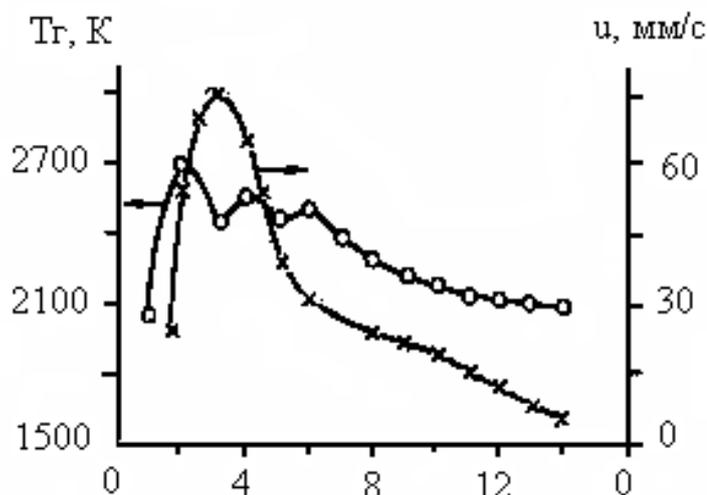


Рисунок 6- Температуры и скорости горения в системе  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + n\text{Al}$

## 2.9 Термохимические расчеты температур СВС при различных соотношениях $\text{Al}/\text{Cr}_2\text{O}_3$

В алюмотермических процессах восстановления металлов существуют различные подходы расчета температур горения. Один из них основан на эмпирически установленной зависимости температуры процесса и удельной теплоты.

$$t_{np} = \Delta H/g \quad (9)$$

где  $\Delta H$  – удельная теплота процесса (ккал/кг),  $g$  – тепловой коэффициент, включающий теплоемкости продуктов, тепловые потери (ккал/кг·°C).

Для группы металлов, к которым относится хром, установлена зависимость

$$t_{np} = 1125 + 48,7 \cdot \Delta H' \quad (10)$$

где  $\Delta H'$  – тепловой эффект, отнесенный к одному грамм-атому вещества, независимо от химической природы, так называемая среднеатомная энтальпия.

При различных мольных отношениях  $\text{Al} - \text{Cr}_2\text{O}_3$  были рассчитаны среднеатомные тепловые эффекты и температуры процесса алюмотермического восстановления оксида хрома, что отражено в таблице 2.

Таблица 2– Температуры горения системы Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Al – Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , МОЛЬ/МОЛЬ	1	2	3	4	5
t <sub>пр</sub> , °C	1550	2395	2287	2199	2080

Эти результаты показывают, что максимальное значение температура горения достигает при мольном отношении алюминия к оксиду хрома, соответствующим стехиометрии полного восстановления.

Однако, экспериментальные результаты измерений температурно-скоростных характеристик СВС в системе Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, представленные выше, свидетельствуют о наличии трех максимумов температур горения при мольных соотношениях 2, 4, 6.

Были выполнены более тщательный анализ и расчеты тепловых эффектов при СВС с учетом образования промежуточных продуктов – низших оксидов алюминия и хрома и интерметаллидов – соединений алюминия и хрома при избыточном содержании восстановителя. В таблице 3 представлены известные к настоящему времени термодимические характеристики для соединений алюминия и хрома, которые использовались в расчетах.

Температуры горения оценивались по формуле:

$$T_2 + T_n + Q/C_p \quad (11)$$

где  $Q$  – суммарный тепловой эффект реакций,  $T_n$  - начальная температура системы – температура подогрева,  $C_p$  – средневзвешенная теплоемкость системы, представляющая сумму молярных теплоемкостей всех продуктов.

Суммарный тепловой эффект реакций складывается из следующих составляющих:

$$Q = -\Delta H_h^o + \sum \Delta H_{\phi} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT \quad (12)$$

где первое слагаемое – стандартная энтальпия реакций, второе слагаемое – энтальпия фазовых переходов (плавление, испарение, кристаллизация и др., третье слагаемое – температурно зависящий вклад теплоты из-за изменения теплоемкостей продуктов. Расчеты теплоемкостей производились по формуле:

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (13)$$

где  $a, b, c$  – табулированные коэффициенты

Таблица 3– Термодинамические характеристики соединений алюминия и хрома

Соединение	$-\Delta H^\circ$ , кДж/моль	$C_p^\circ$ , дж/моль	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$	$t_{\text{пл}}$ , °C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1677	24,35	25,48	4,25	-6,82	2050
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1141	79,3	28,53	2,2	-3,7	2335
CrO	334,4	-	10,83	2,36	-	-
Al <sub>2</sub> O (т)	170,8	-	13,18	0,373	-2,21	-
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (т)	47,1	-	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (г)	390,1	-	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	126,7	-	-	-	-	-
AlO (т)	-	-	8,45	0,334	-1,1	-
Cr <sub>4</sub> Al <sub>9</sub>	135,6	-	-	-	-	1700
CrAl <sub>3</sub>	50,2	-	-	-	-	1170
CrAl <sub>4</sub>	68,6	-	-	-	-	1030
Cr <sub>2</sub> Al <sub>11</sub>	165,6	-	-	-	-	940
CrAl <sub>7</sub>	93,72	-	-	-	-790	
Al	-	24,35	9,4	-	-	660
Cr	-	23,3	7,6	-	-	1890

Расчеты температур горения проводились в предположении, что при мольных отношениях Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ниже стехиометрии полного восстановления образуются низшие оксиды алюминия и хрома, наряду с восстановленным хромом, при соотношениях Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> выше стехиометрии полного восстановления оксида, т.е. больше 2, образуются также интерметаллиды – соединения алюминия с хромом.

Так, для реакции



термодинамический расчет возможности протекания реакции (14) выполнен с помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering, таблица 4.

Таблица 4- Термодинамические данные реакции (14)

<b>2Al + Cr2O3 = 2Cr + Al2O3</b>						
<b>T</b>	<b>deltaH</b>	<b>deltaS</b>	<b>deltaG</b>	<b>K</b>	<b>Log(K)</b>	
<b>C</b>	<b>kcal</b>	<b>cal/K</b>	<b>kcal</b>			
400,000	-130,837	-13,309	-121,878	3,742E+039	39,573	
500,000	-131,008	-13,546	-120,536	1,189E+034	34,075	
600,000	-131,208	-13,789	-119,168	6,767E+029	29,830	

700,000	-136,489	-19,451	-117,560	2,534E+026	26,404
800,000	-136,523	-19,485	-115,613	3,522E+023	23,547
900,000	-136,467	-19,436	-113,666	1,503E+021	21,177
1000,000	-136,317	-19,314	-111,728	1,517E+019	19,181
1100,000	-136,069	-19,126	-109,806	3,007E+017	17,478
1200,000	-135,716	-18,879	-107,905	1,022E+016	16,010
1300,000	-135,252	-18,574	-106,032	5,391E+014	14,732
1400,000	-134,671	-18,217	-104,192	4,082E+013	13,611
1500,000	-133,967	-17,808	-102,390	4,180E+012	12,621
1600,000	-133,135	-17,352	-100,632	5,523E+011	11,742

Formula	FM g/mol	Conc. wt-%	Amount mol	Amount g	Volume l or ml
Al	26,982	26,202	2,000	53,963	19,986 ml
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	151,990	73,798	1,000	151,990	29,117 ml
Formula	FM g/mol	Conc. wt-%	Amount mol	Amount g	Volume l or ml
Cr	51,996	50,493	2,000	103,992	14,463 ml
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,961	49,507	1,000	101,961	25,715 ml

Результаты расчетов температур горения приведены на рисунке 7

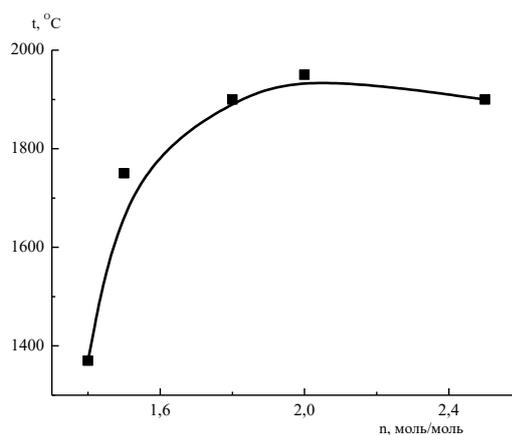


Рисунок 7– Зависимость расчетных температур горения от мольного отношения Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Более сложный характер показывают расчеты температур горения в системе Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в случае образования интерметаллидов при

сверхстехиометрических мольных отношениях. На рисунке представлены результаты таких расчетов.

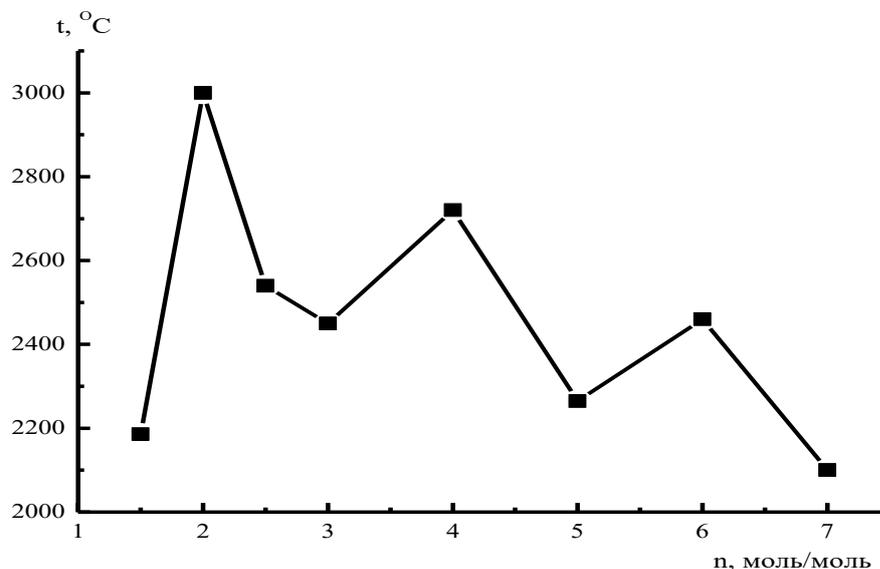


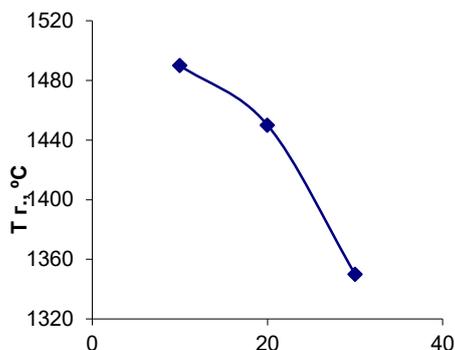
Рисунок 8– Зависимость расчетных температур горения от мольного отношения  $\text{Al}/\text{Cr}_2\text{O}_3$

Эти результаты качественно воспроизводят экспериментально наблюдаемые зависимости с максимумами при  $n = 2, 4, 6$ .

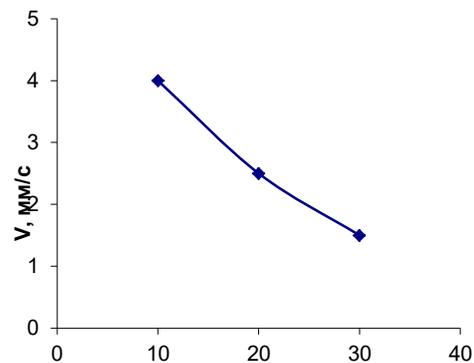
Таким образом, результаты термохимических расчетов указывают на определяющую роль образования интерметаллидов в изменениях температур горения оксида хрома в зависимости от содержания алюминия.

## 2.10 Влияние золь кремнезема на макрокинетику СВС в системе $\text{Al} - \text{Cr}_2\text{O}_3$

Выше было показано, что температуры и скорости горения системы  $\text{Al} - \text{Cr}_2\text{O}_3$  характеризуются высокими значениями, затрудняющими их регистрацию. С целью снижения температур процессов СВС обычно используют разбавление системы одним из продуктов СВС. В нашем случае удобно в качестве разбавителя – «инертного» наполнителя использовать оксид алюминия.



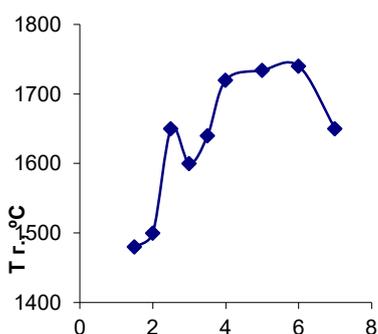
Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %



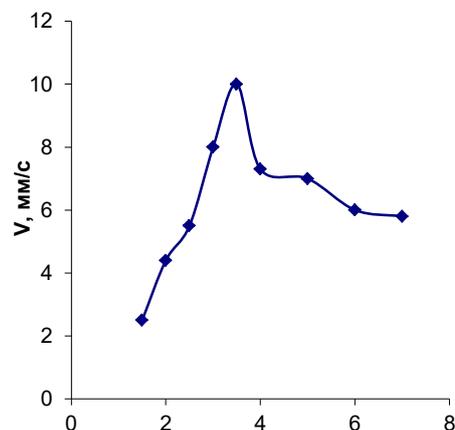
Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Рисунок 9- Влияние разбавителя на температуры и скорости СВС

Влияние содержания оксида алюминия в исходных образцах на температуры и скорости горения показано на рисунке 9 для системы с мольным отношением активных компонентов Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, равным 1,5. Полученные результаты показывают, что «инертный» наполнитель способствует скоррелированному уменьшению температур и скоростей СВС. Были выполнены измерения температур и скоростей СВС в присутствии золь кремнезема и 30 % содержанию «инертного» разбавителя в системе Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Результаты измерений представлены на рисунке 10. В отличие от горения чистого оксида .



а) n, Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, моль/моль



б) n, Al/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, моль/моль

Рисунок 10- Температуры (а) и скорости (б) горения системы Al – Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в присутствии золя кремнезема

оксида хрома с наполнителем температура горения характеризуется максимумом при  $n = 3$  и протяженным максимум в области отношений 4 – 6. Скорость горения имеет максимум при  $n = 3,5$  и приблизительно постоянен

при  $n$  от 4 до 6,5. Влияние золя кремнезема проявляется, прежде всего, в значительном понижении, как температур, так и скоростей горения. По существу скорости горения в присутствии золя кремнезема уменьшаются на порядок. Так же, как и в случае алюмотермического горения оксидов железа, можно констатировать об отсутствии взаимнооднозначной зависимости скорости и температуры горения.

Несмотря на то, что основные продукты и компоненты СВС –  $Al_2O_3$  и  $Cr_2O_3$  относятся к тугоплавким соединениям с температурами плавления 2050 и 2300 °С процесс СВС происходит с участием жидкой фазы, состоящей из легкоплавких алюминия и силикатов за счет кремнезема. Это обстоятельство усложняет химическую природу процесса СВС в системе  $Al - Cr_2O_3$  и указывает на неприменимость в этом случае простой тепловой модели твердофазного горения с узким фронтом волны. Область мольных отношений  $Al/Cr_2O_3$ , в которой наблюдается приблизительно постоянство температур и скоростей горения, является областью сверхстехиометрических отношений, областью избыточного содержания алюминия. В этой области можно ожидать, что процессы восстановления хрома проходят в легкоплавкой жидкой фазе с образованием интерметаллидов – соединений хрома и алюминия. Слабая температурная зависимость скоростей горения указывает на безактивационный характер экзотермических реакций в жидкой фазе при алюмотермическом горении оксида хрома при избыточном содержании алюминия. Эти результаты подтверждаются данными рентгенофазового анализа продуктов СВС в системе  $Al - Cr_2O_3$ .

## 2.11 Рентгенофазовый анализ продуктов СВС в системе $Al - Cr_2O_3$

Пониманию химических процессов в волне горения системы  $Al - Cr_2O_3$  может способствовать рентгенофазовый анализ продуктов СВС.

В таблице 5 представлены основные продукты высокотемпературного синтеза при различных соотношениях алюминия к оксиду кремния. Из таблицы видно, что при малых отношениях  $Al/Cr_2O_3$  (недостаток алюминия) основным продуктом является твердый раствор тугоплавких соединений  $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3$ . Наличествует также и восстановленный хром.

Таблица 5- Основные фазы продуктов СВС

$Al/Cr_2O_3$ , моль/моль	Твердый раствор $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3$ , %	Cr, %	$Al_2O_3$ , %	$Cr_5Al_8$ , %
1,0 (без наполнителя)	81,3	18,7	-	-
1,5 (без наполнителя)	82,8	17,2	-	-
4,0 (с 30 % $Al_2O_3$ )	-	4,2	70,2	25,6
6,0	-	-	73,2	26,7

В случае сверхстехиометрических соотношений (избыток алюминия) происходит полное восстановление оксида хрома, при этом восстановленный

хром образует с избыточным алюминием химическое соединение интерметаллид  $\text{Cr}_5\text{Al}_8$ . Эти результаты позволяют представить качественное объяснение температурно-скоростных характеристик СВС: в областях мольных соотношений меньше стехиометрии полного восстановления оксида хрома в волне горения происходит реорганизация кристаллических структур оксидов хрома и алюминия в твердой фазе. Этот процесс является термическим активированным и он определяет скорость СВС, которая зависит от температуры. В результате реорганизации кристаллических структур образуются твердые растворы оксидов хрома и алюминия. Скорость горения показывает отчетливую зависимость от температуры горения. В области высоких сверхстехиометрических соотношений алюминия к оксиду хрома горение происходит по существу в жидкой фазе расплавленного алюминия, которое сопровождается растворением продуктов реакций. Процессы растворения не требуют высоких энергий активаций и, соответственно, скорость горения показывает слабую температурную зависимость.

В этих условиях влияние нанодисперсного кремнезема проявляется в снижении температурной зависимости твердофазных реакций при перестройке кристаллических структур и растворение продуктов СВС в жидкой фазе. Все это способствует общему понижению температуры горения и значительному уменьшению скорости горения.

В образцах, полученных после СВС, было выполнено разделение металлической и металлокерамической фаз, каждая из которых подвергались анализу. Результаты РФА показывают, что металлическая фаза представляет собой монофазу соединения  $\text{Cr}_5\text{Al}_8$  с гексагональной кристаллической структурой. Металлокерамическая составляющая продуктов СВС имеет более сложный состав. В таблице 6 приведены результаты РФА металлокерамической составляющей.

Таблица 6- Состав металлокерамической фазы продуктов СВС

Соединение	Содержание, %
Кристаллит	1,3
Кварц	6,1
Оксид алюминия	62,7
Интерметаллид $\text{Cr}_5\text{Al}_8$	29,8

Из таблицы 6 видно, что аморфный кремнезем, введенный в систему за счет гетерокоагуляции золя, в процессе СВС кристаллизуется в виде кварца и кристаллита. В значительных количествах содержатся оксид алюминия и интерметаллид.

### 3 Экономическая часть

#### Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$Z_{ЭН} = C \cdot M_{Э.УСТ} \cdot t \quad (15)$$

где  $C$  – стоимость 1 кВт энергии ( $C = 4,60$  тенге);

$M_{Э.УСТ}$  – суммарная установленная мощность оборудования;

$t$  – количество часов работы оборудования;

Для расчета потребления электроэнергии необходимо учитывать мощность, потребляемую установкой ( $M_{Э.УСТ}$ ). Данные о потребляемой мощности приведены в таблице 7.

Таблица 7– Потребляемая мощность оборудования

№	Наименование	Суммарное время работы оборудования, ч	Мощность $M_{Э.УСТ}$ , кВт
1	Муфельная печь	8	6
2	Силиковая электропечь	6	3
3	Сушильный шкаф	8	2,2
4	Электронные весы	3	0,1

Рассчитаем затраты на электроэнергию каждого оборудования

1.  $Z_{ЭН} = 4,60 \cdot 6 \cdot 8 = 220,8$  тенге

2.  $Z_{ЭН} = 4,60 \cdot 3 \cdot 6 = 82,8$  тенге

3.  $Z_{ЭН} = 4,60 \cdot 2,2 \cdot 8 = 80,96$  тенге

4.  $Z_{ЭН} = 4,60 \cdot 0,1 \cdot 3 = 1,38$  тенге

$$\sum Z_{ЭН} = 220,8 + 82,8 + 80,96 + 1,38 = 385,14 \text{ тенге.}$$

#### Расчет общей суммы затрат

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 8.

Таблица 8– Общие затраты на научно-исследовательскую работу

Наименование затрат	Сумма затрат, тг
Амортизационные отчисления за 3 месяца	21163,5
Основные и вспомогательные материалы	1767,2
Электроэнергия	385,14
Холодная вода	3,35
Заработная плата	150150
Итого:	173469,19

Таким образом, сумма затрат на исследования составляет 173469,19 тг

### Расчет экономического эффекта

Осуществление данного проекта может значительно улучшить экономические показатели.

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

$$\mathcal{E}_o = 3 + C_{п} \cdot I_o \cdot 0,33 \cdot (1 + e) \cdot \frac{3}{12} \quad (16)$$

Экономический эффект данной работы составляет:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_o &= 173469,19 + 796270 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) \cdot \frac{3}{12} = \\ &= 251511,61 \text{ тг.} \end{aligned} \quad (17)$$

На второй год экономический эффект научно-исследовательской работы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_o = 3 + C_{п} \cdot I_o \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^2 \cdot \frac{3}{12} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_o &= 173469,19 + 796270 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 \cdot \frac{3}{12} = \\ &= 259315,84 \text{ тг.} \end{aligned} \quad (19)$$

## 4 Охрана труда

**Организационные мероприятия** В «Институте Проблем Горения», принята пятидневная рабочая неделя при восьмичасовом рабочем дне. Выполнение требований по охране труда в Институте Проблем Горения, осуществляют: директор, инструктор по технике безопасности и заведующий лабораторией института.

Организация производственных процессов и научно – исследовательских работ в соответствии с правилами безопасности, санитарными нормами, инструкциями, положениями и законодательными актами по охране труда возлагается на руководителей структурных подразделений, их заместителей и помощников, руководителей тем, начальников участков, мастеров и инженера по технике безопасности. Ответственность за полное и правильное решение вопросов охраны труда возлагается на руководителей отделов, лабораторий и главного инженера. Координацию работы по вопросам охраны труда внутри Института Проблем Горения осуществляет старший инженер по технике безопасности.

Инструкции по безопасности труда разрабатываются отдельно для каждой профессии с учётом специфических условий и особенностей каждого производственного процесса, а также в виде общих инструкций. Необходимость разработки инструкций по безопасности труда по отдельным видам работ определяется главным инженером института. Перечень действующих инструкций по безопасности труда пересматривается не реже одного раза в год.

Вводный инструктаж проводит инженер по охране труда со всеми принимаемыми на работу, а также командированными учащимися и студентами, прибывшими на практику, о чём делается соответствующая запись в специальном журнале с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

Все остальные виды инструктажей по технике безопасности проводит непосредственно руководитель работ в следующих случаях:

- первичный – на рабочем месте перед допуском инструктируемого к самостоятельной работе;
- повторный – не реже, чем через шесть месяцев;
- внеплановый – при изменении правил по охране труда, технологического процесса, замене оборудования, приспособлении и инструментов, а также нарушение требований безопасности или перерывах в работе более шестидесяти календарных дней;
- текущий – перед производством работ, на которые оформляются наряды-допуски.

Поведение первичного, вторичного и внепланового инструктажей фиксируется датой и подписью инструктирующего в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте, а текущего – в наряде допуске.

## **Санитарно-гигиенические мероприятия**

Санитарно-гигиенические мероприятия, основанные на изучении влияния условий труда на организм и здоровье человека и таким образом тесно связанные с научной организацией труда, предусматривают осуществление санитарно-гигиенического обслуживания трудящихся на рабочих местах и в бытовых помещениях.

К таким мероприятиям относятся создание на рабочих местах нормальной воздушной среды, освещенности, устранение вредного воздействия вибрации и шума, оборудование необходимых бытовых и санитарных помещений и др.

Предусматривают:

- невозможность контакта работающих с вредными материалами отходами производства или своевременное удаление таких отходов;

- замену технологических операций с опасными и вредными условиями труда операциями, в которых эти факторы отсутствуют; рациональную организацию труда и отдыха;

внедрение механизации, комплексной механизации и автоматизации.

## **Противопожарные мероприятия**

Пожарная безопасность должна обеспечиваться системой предотвращения пожаров и системой пожарной защиты.

Система предотвращения пожара должна разрабатываться по каждому конкретному объекту из расчета, что нормативная вероятность возникновения пожара принимается равной не более 0,000001 в год в расчете на отдельного человека.

В соответствии со строительными нормами и правилами лаборатория «Института Проблем Горения» относится к категории А, которая включает производства, имеющие газы с нижним концентрационным пределом воспламенения в воздухе 10 %, жидкости с температурой вспышки до 28 °С, а также вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом.

Очень важно учитывать требования к устройству путей эвакуации. Выходов из производственных зданий должно быть не менее двух, что и предусмотрено в «ИПГ». Первичными средствами тушения пожаров являются огнетушители и мешки с песком. Для успешного тушения пожаров решающее значение имеет быстрое обнаружение пожара и своевременный вызов пожарных подразделений к месту пожара.

Ответственность за пожарную безопасность возлагается на руководителей, руководители предприятия обязаны назначить приказом должностных лиц, ответственных за пожарную безопасность отдельных объектов. Ответственность за пожарную безопасность на своем рабочем месте несет каждый.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований наиболее важные выводы и общие итоги следующие:

1) Гетерокоагуляция золей кремнезема в дисперсной среде различной природы (оксиды кремния, железа, хрома, порошковый алюминий) всегда сопровождается образованием нанодисперсного оксида кремния на аморфизированных поверхностях частиц среды со слабо выраженной кристаллической упорядоченностью.

2) Установлено, что в исследованных оксидах макрокинетические закономерности алюмотермического горения в режиме СВС в присутствии золя кремнезема значительно отличаются от закономерностей, наблюдаемых в отсутствие нанодисперсного кремнезема.

3) Влияние золей кремнезема на температуры и скорости алюмотермического горения оксидов проявляется, прежде всего, в заметном снижении этих характеристик, измеренных в зависимости от мольного отношения восстановитель (алюминий)/окислитель.

4) С помощью программы HSC Chemistry компании Outokumpu Technology Engineering рассчитаны термодинамика алюмотермического горения оксида в режиме СВС.

5) Установлено, что в температурно-скоростных зависимостях СВС, как правило, отсутствует взаимнооднозначная корреляция, предсказываемая простой моделью твердофазного горения с узким фронтом волны. Результаты обусловлены переходом режима горения в твердой фазе в жидкую при увеличении мольного отношения алюминий/оксид и снижением эффективной энергии активации СВС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Макрокинетика СВС в оксиде кремния в присутствии золей кремнезема: отчет о НИР/ДГП «ИПГ» РГП «КазНУ им.аль-Фараби». – Алматы, 2006. – 48 с. – Инв.№ 0206РК01237.
- 2 Макрокинетические закономерности СВС в оксидах железа в условиях гетерокоагуляции золей кремнезема: отчет о НИР/ДГП «ИПГ» РГП «КазНУ им.аль-Фараби». – Алматы, 2007. – 45 с. – Инв.№ 0207РК01564.
- 3 Вольперт В.А., Барзыкин Р.А. Теория волнового горения в СВС-системах. Препринт ОИХФ АН СССР. – Черногоровка. – 1988. – 48 с.
- 4 Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: – Изд-во ТГУ, – 1989. – 270 с.
- 5 Дубровин А.С., Плинер Ю.Л. Температура внепечного алюминотермического процесса // Известия СО АН СССР.- 1962. - № 12; С.911 – 915.
- 6 Термические константы веществ. Справочник под редакцией В.П.Глушко. - М.: Наука, - 1979. - вып.1Х. - 486 с.
- 7 Веретин У.Д. и др. Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник. – М.: Атомиздат, 1965. - 460 с.
- 8 Новиков Н.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Термодинамический анализ реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // В сб. Процессы горения в химической технологии и металлургии – Черногоровка. - 1975. - С.175 - 178.