

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 30.01.2023 16:41:18

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2eb454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов

Закреплена за подразделением

Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий

Направление подготовки

22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ

Профиль

Порошковые и аддитивные технологии синтеза функциональных материалов и покрытий

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 2

в том числе:

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

39

часов на контроль

54

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	14	14	14	14
Практические	20	20	20	20
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	39	39	39	39
Часы на контроль	54	54	54	54
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*дтн, профессор, Рогачев Александр Сергеевич*

Рабочая программа

**Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.02 МЕТАЛЛУРГИЯ (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.02 Metallургия, 22.04.02-ММТ-22-4.plx Порошковые и аддитивные технологии синтеза функциональных материалов и покрытий, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.02 Metallургия, Порошковые и аддитивные технологии синтеза функциональных материалов и покрытий, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий**

Протокол от 28.03.2022 г., №12

Руководитель подразделения Левашов Александр Евгеньевич

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Научить основам комплексного научного подхода к процессам СВС как основе синтеза неорганических материалов и получению новых композиционных материалов различного целевого назначения этим методом.
-----	---

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.04
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Закономерности, механизмы и методы диагностики процессов горения в СВС-системах	
2.1.2	Получение металлических порошков	
2.1.3	Свойства порошков и методы их определения	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Материаловедение в аддитивных технологиях	
2.2.2	Порошковые материалы с особыми свойствами	
2.2.3	Современные методы формования порошковых материалов	
2.2.4	Теоретические основы прочности твердых сплавов	
2.2.5	Физико-химия композиционных материалов	
2.2.6	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.7	Преддипломная практика	
2.2.8	Научные и технологические принципы нанесения покрытий методами физического и химического осаждения	
2.2.9	Обеспечение единства измерения трибологических и механических свойств	
2.2.10	Теоретические основы получения наноструктурных поверхностей	
2.2.11	Технология получения неорганических материалов методами СВС и их применение	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-3-31 общую характеристику технологического цикла СВС, новые направления исследований и сферы применения результатов исследований	
<b>ПК-1: Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по тематике организации</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-1-31 современные образовательные и информационные технологии	
ПК-1-32 пути ресурсосбережения и ресурсо-экономических характеристик технологических процессов СВС	
<b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-31 основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний, знаний в междисциплинарных областях в области металлургии</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31 пути достижения требуемых свойств материалов методом СВС	
<b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-3-У1 описывать и анализировать технологические схемы производства материалов методом СВС, сопоставлять преимущества и недостатки, ограничения и перспективы возможных вариантов	
ПК-3-У2 определять физико-механические и эксплуатационные свойства материалов полученных методом СВС	
ПК-3-У3 проводить литературный и патентный поиск	

<b>ПК-1: Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по тематике организации</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-1-У2 использовать физико-математический аппарат для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний, знаний в междисциплинарных областях в области металлургии</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У2 использовать фундаментальные общеинженерные знания
ОПК-1-У1 выполнять расчет адиабатических температур горения и равновесных концентраций продуктов синтеза.
<b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-4-У1 осуществлять и корректировать технологические процессы СВС
<b>ПК-1: Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по тематике организации</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-1-У1 определять и описывать структуры материалов получаемые методом СВС
<b>ПК-4: Способен разрабатывать технологические процессы получения порошков, порошковых, композиционных материалов, покрытий и управлять ими, проводить их анализ для выбора мер и средств управления качеством продукции</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-4-В1 навыками выбора и применения соответствующих методов моделирования физических, химических и технологических процессов
<b>ПК-3: Способен анализировать результаты эксперимента, выбирать методы исследований, формировать новые направления исследований, определять сферы применения результатов исследований</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-3-В1 методиками определения ресурсо-экологических показателей технологических процессов
<b>ОПК-1: Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний, знаний в междисциплинарных областях в области металлургии</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В2 умением читать двойные и тройные диаграммы состояния
ОПК-1-В1 навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации для решения теоретических и практических типовых системных задач, связанных с практической деятельностью
<b>ПК-1: Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по тематике организации</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-1-В2 основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ПК-1-В1 методами исследования, планированием и проведением необходимых экспериментов, навыками интерпретировать результаты и делать выводы

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Общая характеристика СВС – процессов и развитие метода СВС</b>							
1.1	История открытия и развития метода СВС, параметры, определяющие макрокинетику протекания процесса и свойства продуктов синтеза. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			

1.2	Типы химических реакций и основные классы продуктов в СВС. Структура волны безгазового горения. Элементарные температурные профили волны горения. Взаимосвязь температуры и скорости горения. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ПК-3-31	Л1.1 Л1.3 Э1 Э2			
1.3	Расчет адиабатической температуры продуктов СВС Расчет фазового состава продуктов СВС Расчет скорости горения от температуры. /Пр/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-1-У2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р1
1.4	Анализ микроструктур продуктов СВС типа керметов. /Пр/	2	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.3 Э1 Э2			Р2
1.5	Расчет адиабатической температуры горения на компьютере, с использованием программы "Thermo". /Пр/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-1-31 ПК-1-У2 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р3
1.6	Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе №1. /Ср/	2	10	ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			
	<b>Раздел 2. Термодинамика продуктов СВС и кинетика реакций синтеза в режиме горения</b>							
2.1	Расчет адиабатических температур горения и равновесных концентраций продуктов синтеза. Проблема равновесности продуктов СВС. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			
2.2	Зависимость скорости реакции от температуры. Кинетика СВС-процессов. Типы кинетических законов, их физико-химическое объяснение и влияние на структуру волны СВС. Контрольная работа №1. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ПК-1-У2 ПК-3-31 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2		КМ1	
2.3	Расчет фазового состава продуктов СВС с использованием программы "Thermo". /Пр/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-1-31 ПК-1-У2 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р4
2.4	Построение графика зависимости температуры и фазового состава продуктов от исходных условий (состав реакционной смеси, начальная температура, окружающая газовая атмосфера). /Пр/	2	2	ОПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			Р5

2.5	Измерение локальной и средней скорости распространения волны СВС. Обработка результатов с использованием статистической модели. /Пр/	2	2	ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-4-31 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р6
2.6	Сравнение энергозатрат при печном синтезе и при СВС. Сравнение режимов волнового горения и теплового взрыва при фильтрационном горении. /Пр/	2	2	ОПК-1-У2 ПК-1-32 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р7
2.7	Синтез в режиме теплового взрыва (неизотермическое реакционное спекание). /Лаб/	2	4	ОПК-1-У2 ПК-3-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			Р10
2.8	Синтез материалов в режиме волны горения. /Лаб/	2	4	ОПК-1-У2 ПК-3-31 ПК-4-У1	Л1.1 Л1.3 Э1 Э2			Р11
2.9	Измерение скорости горения. /Лаб/	2	4	ОПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.2 Э1 Э2			Р12
2.10	Подготовка к практическим занятиям, лабораторным работам и контрольной работе №1. /Ср/	2	17	ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ПК-1-У2 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			
	<b>Раздел 3. Формирование структуры материалов при СВС</b>							
3.1	Формирование макроструктуры продукта. Формирование микроструктуры. Первичное и вторичное структурообразование. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			
3.2	Формирование кристаллической структуры продуктов. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Э1 Э2			
3.3	Процессы кристаллизации и упорядочения кристаллических фаз в условиях СВС. /Лек/	2	2	ОПК-1-31 ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			
3.4	СВС в наносистемах. Особенности формирования структуры и свойств. Контрольная работа №2. /Лек/	2	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2		КМ2	
3.5	Термодинамика и кинетика процессов СВС. Эффективная энергия активация процесса горения. /Пр/	2	4	ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ПК-1-У2 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			Р8

3.6	Практическое занятие "Статические («закалочные») и динамические методы оценки процессов фазо- и структурообразования продуктов СВС. /Пр/	2	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-1-В2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			Р9
3.7	Использование динамического рентгеноструктурного фазового анализа для исследований эволюции фазового состава в процессе горения в режиме реального времени. /Лаб/	2	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-4-31	Л1.3 Э1 Э2			Р13
3.8	Подготовка к практическим занятиям, лабораторным работам и контрольной работе №2. /Ср/	2	12	ОПК-1-31 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-3-У3 ПК-4-31	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Э1 Э2			

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
-----------	-------------------------	------------------------------------	------------------------

КМ1	Контрольная работа №1 "Общая характеристика , термодинамика и кинетика СВС– процессов. Развитие метода СВС."	ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-3-31;ПК-4-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем отличается синтез в режиме теплового взрыва от синтеза в режиме самораспространяющейся волны горения?</li> <li>2. Температурный профиль волны СВС. Зона реакции и зона прогрева. Способы измерения температуры и температурного профиля волны СВС.</li> <li>3. Написать формулу Аррениуса для зависимости скорости химической реакции от температуры. Объяснить физический смысл энергии активации.</li> <li>4. Механическое активирование СВС-составов. Принципы работы планетарной шаровой мельницы, влияние на температуру воспламенения.</li> <li>5. Тепловой эффект реакции 120 КДж/моль, теплоемкость продукта 40 Дж/(моль*К), начальная температура 300 К. Оцените адиабатическую температуру СВС.</li> <li>6. Начертить диаграмму Н.Н.Семенова для теплового взрыва. Показать на графике точку спокойной реакции. Записать критические условия теплового взрыва.</li> <li>7. Нарисовать температурный профиль волны горения и обозначить зону прогрева и зону реакции. Какая из них шире согласно модели горения с узкой зоной?</li> <li>8. Построить в общем виде зависимость скорости горения от соотношения реагентов (стехиометрии) для безгазовых СВС-систем.</li> <li>9. Многослойные реакционные нанопленки: методы получения, структура, закономерности горения. Тепловые волны в аморфных металлических лентах.</li> <li>10. Энергия активации реакции равна 250 кДж/моль. Во сколько раз отличаются скорости этой реакции при комнатной температуре 298 К, при температуре 1000 К и при температуре 3000 К?</li> <li>11. В чем отличие безгазового горения от фильтрационного горения?</li> <li>12. Нарисуйте в общем виде зависимость скорости горения от размера металлического реагента для безгазовых СВС-систем.</li> <li>13. Написать формулу Я.Б.Зельдовича для скорости распространения волны горения. Объяснить входящие в нее величины. Как изменится скорость горения при повышении адиабатической температуры?</li> <li>14. Синтез горением растворов (solution combustion synthesis).</li> <li>15. Температуропроводность реакционной смеси равна <math>a = 0,01</math> см<sup>2</sup>/с, скорость распространения фронта горения <math>U = 1</math> см/с, начальная температура смеси 300 К, температура продуктов горения 3000 К. Оцените ширину прогретой зоны (зоны Михельсона), время разогрева смеси в этой зоне и средний темп нагрева вещества во фронте горения.</li> </ol>
-----	--	--	---



КМ2	<p>Контрольная работа № 2 "Термодинамика продуктов СВС и кинетика реакций синтеза в режиме горения. Формирование структуры материалов при СВС."</p>	<p>ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-3-31;ПК-4-31;ПК-3-У2</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем отличается синтез в режиме теплового взрыва от синтеза в режиме самораспространяющейся волны горения?</li> <li>2. Как зависит скорость горения от соотношения реагентов в двухкомпонентных безгазовых СВС- системах типа <math>A + xB = AB_x</math>?</li> <li>3. Каков физический смысл энергии активации «E» в формуле Аррениуса?</li> <li>4. Как скорость распространения волны СВС (скорость горения) зависит от исходной температуры образца (среды)?</li> <li>5. В чем отличие фильтрационного горения СВС-систем от безгазового?</li> <li>6. Перечислите известные Вам химические классы СВС-продуктов. Если тепловой эффект образования продукта из элементов 120 кДж/моль, теплоемкость продукта 40 Дж/моль*К, начальная температура исходной смеси 300 К, то какова приблизительно будет адиабатическая температура СВС?</li> <li>7. Напишите формулу Аррениуса для зависимости скорости химической реакции от температуры и объясните физический смысл энергии активации. Начертите диаграмму Н.Н.Семенова, укажите на диаграмме и напишите критические условия теплового взрыва.</li> <li>8. Напишите формулу Я.Б.Зельдовича для скорости распространения волны горения. Поясните входящие в нее величины. Нарисуйте температурный профиль волны горения и обозначьте зону прогрева и зону реакции. Какая из них шире согласно модели горения с узкой зоной?</li> <li>9. Нарисуйте в общем виде зависимости скорости безгазового горения СВС-систем от соотношения реагентов (стехиометрии) и от пористости (или относительной плотности) заготовки. Дайте качественное объяснение этим зависимостям.</li> <li>10. Что такое механическое активирование СВС-составов? Опишите принципы устройства и работы планетарной шаровой мельницы. Каково влияние механической активации на температуру воспламенения СВС-составов? На температуру горения?</li> <li>11. Дайте краткое пояснение каждому из механизмов первичного структурообразования (формирования микроструктуры) в волне СВС, пользуясь этой диаграммой.</li> <li>12. Охарактеризуйте эволюцию микроструктуры в системе Ti-C-Ni по изображениям в отраженных электронах, полученным на разных расстояниях от закаленного фронта волны СВС.</li> <li>13. Основываясь на данных динамической рентгенографии, опишите динамику формирования фаз материала в системе Ti-B-Al при СВС.</li> </ol>
-----	---	--	---

КМЗ	<p>Экзамен по дисциплине "Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов"</p>	<p>ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-У1;ПК-3-В1;ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Кинетика процессов СВС. Зависимость скорости химической реакции от температуры. Закон Аррениуса. Предэкспоненциальный множитель и энергия активации.</li> <li>2. Какие виды температурных профилей волны СВС Вы знаете? Зона реакции и зона прогрева. Модели горения с узкими и широкими зонами (качественно объясните различие).</li> <li>3. Механическое активирование СВС-составов в планетарных мельницах. Влияние на температуру горения, скорость горения, температуру самовоспламенения.</li> <li>4. Температуропроводность реакционной смеси равна <math>a = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}</math>, скорость распространения фронта горения <math>U = 3 \text{ см/с}</math>, начальная температура смеси <math>T_0 = 300 \text{ К}</math>, температура продуктов горения <math>T_C = 2700 \text{ К}</math>. Оцените ширину прогретой зоны (зоны Михельсона), время разогрева смеси в этой зоне и средний темп нагрева вещества во фронте горения</li> <li>5. Конкуренция тепловых потоков (тепловыделение и теплоотвод) в теории теплового взрыва. Диаграмма Н.Н.Семенова. Критические условия теплового взрыва: графическое представление и формулы.</li> <li>6. Зависимость скорости горения порошковых СВС-составов от размера частиц металлического реагента и от пористости.</li> <li>7. Многослойные реакционные нанопленки: методы получения, структура, закономерности горения. Тепловые волны в аморфных металлических лентах.</li> <li>8. Энергия активации реакции равна <math>250 \text{ кДж/моль}</math>. Во сколько раз отличаются скорости этой реакции при комнатной температуре <math>298 \text{ К}</math>, при температуре <math>1000 \text{ К}</math> и при температуре <math>3000 \text{ К}</math>? Формула в общем виде и результаты расчетов.</li> <li>9. Критическая температура теплового взрыва (самовоспламенения) в СВС-системах. Связь с температурой плавления одного из реагентов. Обобщенная диаграмма Семенова для систем с плавлением.</li> <li>10. Формула Я.Б.Зельдовича для скорости распространения волны горения. Объясните входящие в нее величины. Как будет зависеть скорость горения от адиабатической температуры?</li> <li>11. Механизмы первичного структурообразования продуктов в волне СВС. Перечислите, с кратким пояснением каждого механизма.</li> <li>12. Скорость химической гетерогенной реакции зависит от температуры по закону <math>W = k S \exp(-E/RT)</math>. Здесь <math>k</math> - константа (предэкспонент), <math>S</math> – площадь контакта реагентов, <math>E</math> – энергия активации, <math>R</math> – универсальная газовая постоянная, <math>T</math> - температура (градусы Кельвина). Если энергия активации изменилась от <math>E_1</math> до <math>E_2</math>, то во сколько раз должна измениться площадь контакта реагентов, чтобы скорость реакции осталась прежней?</li> <li>13. Чем отличаются методы инициирования химической реакции для проведения процесса СВС режиме теплового взрыва и в режиме самораспространяющейся волны горения?</li> <li>14. Обобщенный качественный вид зависимости скорости горения от соотношения реагентов (стехиометрии) для безгазовых СВС-систем. Концентрационные пределы горения.</li> <li>15. Синтез горением растворов (solution combustion synthesis). Химическая формула реакции для нитрата металла и глицина в качестве исходных реагентов. Как влияет параметр «фи» (соотношение горючего и окислителя) на состав продуктов?</li> <li>16. Скорость химической гетерогенной реакции зависит от температуры по закону <math>W = k S \exp(-E/RT)</math>. Здесь <math>k</math> - константа (предэкспонент), <math>S</math> – площадь контакта реагентов, <math>E</math> – энергия активации, <math>R</math> – универсальная газовая постоянная, <math>T</math> - температура (градусы Кельвина). Если температура изменилась от <math>T_1</math> до <math>T_2</math>, то во сколько раз должна измениться площадь контакта реагентов, чтобы скорость реакции осталась прежней?</li> <li>17. Напишите формулу Аррениуса для зависимости скорости химической реакции от температуры. Что такое энергия активации? Какой физический смысл приобретает энергия активации в диффузионно-лимитированных гетерогенных процессах?</li> <li>18. Зависимость скорости распространения волны СВС в реакционных многослойных нанопленках от толщины слоев. Дайте</li> </ol>
-----	--	--	---

			<p>качественное объяснение этой зависимости.</p> <p>19. Исследование динамики структурообразования в процессах СВС с помощью дифракции рентгеновского и синхротронного излучения. Схема экспериментов, пространственное и временное разрешение.</p> <p>20. Тепловой эффект реакции 120 кДж/моль, теплоемкость продукта 40 Дж/моль К, эффективная энергия активации 250 кДж/моль. Как изменится скорость реакции при адиабатической температуре, если начальная температура повысится от 300 К до 800 К?</p> <p>21. Экспериментальные методы определения эффективной энергии активации процесса СВС.</p> <p>22. Концепция высокоэнтропийных сплавов и соединений (ВЭС). Четыре основных эффекта, влияющих на свойства высокоэнтропийных сплавов. Способы получения ВЭС с использованием метода СВС.</p> <p>23. Вторичное структурообразование при СВС. Почему происходит рост зерен продукта?</p> <p>24. Тепловой эффект реакции 120 кДж/моль, теплоемкость продукта 40 Дж/моль К, эффективная энергия активации 250 кДж/моль. Как изменится скорость горения (согласно формуле Зельдовича), если начальная температура повысится от 300 К до 800 К?</p>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическое занятие "Расчет адиабатической температуры продуктов СВС. Расчет фазового состава продуктов СВС. Расчет скорости горения от температуры."	ОПК-1-У1;ПК-1-У2	Проведение расчетов адиабатических температур горения для двух- и многокомпонентных СВС- систем. Расчет фазового состава продуктов синтеза согласно химическим реакциям, протекающим в волне горения. Оценка скорости горения по результатам расчета адиабатических температур горения.
P2	Практическое занятие "Анализ микроструктур продуктов СВС типа керметов"	ПК-1-У1;ПК-1-В1	Изучение микроструктур различных СВС-сплавов типа керметов с использованием методов оптической и электронной микроскопии.
P3	Практическое занятие "Расчет адиабатической температуры горения на компьютере, с использованием программы "Thermo"."	ОПК-1-У1;ПК-1-31;ПК-1-У2;ПК-1-В2	Ознакомление с методикой и проведение расчета адиабатической температуры горения для различных СВС- систем при изменении исходных условий с использованием программного комплекса Thermo.
P4	Практическое занятие "Расчет фазового состава продуктов СВС с использованием программы "Thermo"."	ОПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-31;ПК-1-В2	Ознакомление с методикой и проведение расчета равновесного фазового состава продуктов синтеза с использованием программного комплекса Thermo.

P5	Практическое занятие "Построение графика зависимости температуры и фазового состава продуктов от исходных условий (состав реакционной шихты, начальная температура, окружающая газовая атмосфера)."	ОПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-4-31	Построение графиков зависимости адиабатических температур горения и равновесного состава продуктов синтеза от исходных условий проведения СВС- процесса (состава реакционной шихты, начальной температуры, давления газовой атмосферы) по результатам расчетов с использованием программного комплекса Thermo
P6	Практическое "Измерение локальной и средней скорости распространения волны СВС. Обработка результатов с использованием статистической модели."	ПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-4-31;ПК-4-В1	Проведение экспериментальных измерений локальной и средней скорости горения для различных СВС-систем. Обработка результатов измерений с использованием статистической модели.
P7	Практическое занятие "Сравнение энергозатрат при печном синтезе и при СВС. Сравнение режимов волнового горения и теплового взрыва при фильтрационном горении."	ПК-1-32;ОПК-1-У2;ПК-3-В1	Выполнение расчетов энергозатрат при печном синтезе и при СВС для получения аналогичных материалов.
P8	Практическое занятие "Термодинамика и кинетика процессов СВС. Эффективная энергия активации процесса горения."	ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ПК-1-У2;ПК-4-31	Определение эффективной энергии активации процесса горения различных СВС- систем на основании макрокинетических зависимостей температуры и скорости горения от начальной температуры СВС- процесса и степени разбавления конечным продуктом.
P9	Практическое занятие "Статические («закалочные») и динамические методы оценки процессов фазо- и структурообразования продуктов СВС."	ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-1-В2	Изучение методик закалки фронта горения в медном клине и динамического рентгеноструктурного фазового анализа.
P10	Лабораторная работа "Синтез в режиме теплового взрыва (неизотермическое реакционное спекание)."	ОПК-1-У2;ПК-3-31;ПК-4-У1	Проведение эксперимента по синтезу брикета из реакционной шихты в режиме теплового взрыва (объемное инициирование химического реагирования).

P11	Лабораторная работа "Синтез материалов в режиме волны горения."	ОПК-1-У2;ПК-3-31;ПК-4-У1	Проведение эксперимента по синтезу брикета из реакционной шихты в режиме послойного горения (локальное инициирование химического реагирования тепловым импульсом).
P12	Лабораторная работа "Измерение скорости горения"	ОПК-1-У2;ПК-1-В1;ПК-1-В2	Проведение экспериментов по измерению скорости горения брикета из реакционной шихты методом скоростной видеосъемки и микротермопарными измерениями.
P13	Лабораторная работа "Использование динамического рентгеноструктурного фазового анализа для исследований эволюции фазового состава в процессе горения в режиме реального времени."	ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-4-31	Проведение эксперимента по изучению эволюции фазового состава в процессе горения в реальном времени (от реакционной шихты до конечных продуктов) с использованием установки динамической дифрактографии. Съемка последовательности рентгеновских дифрактограмм.

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Образец экзаменационного билета по дисциплине "Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов"

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"  
Институт экотехнологий и инжиниринга

Кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий  
Направление подготовки "Металлургия", 22.04.02  
Процессы СВС как основы синтеза неорганических материалов

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1

1. Кинетика процессов СВС. Зависимость скорости химической реакции от температуры. Закон Аррениуса. Предэкспоненциальный множитель и энергия активации.
2. Какие виды температурных профилей волны СВС Вы знаете? Зона реакции и зона прогрева. Модели горения с узкими и широкими зонами (качественно объясните различие).
3. Механическое активирование СВС-составов в планетарных мельницах. Влияние на температуру горения, скорость горения, температуру самовоспламенения.
4. Температуропроводность реакционной смеси равна  $a = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$ , скорость распространения фронта горения  $U = 3 \text{ см/с}$ , начальная температура смеси  $T_0 = 300 \text{ К}$ , температура продуктов горения  $T_C = 2700 \text{ К}$ . Оцените ширину прогретой зоны (зоны Михельсона), время разогрева смеси в этой зоне и средний темп нагрева вещества во фронте горения.

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой, проф., д.т.н. Е.А. Левашов

### 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Методика оценки обучающегося на экзамене

Оценка «отлично» - обучающийся демонстрирует глубокие знания по программе дисциплины, может установить логические связи между свойствами исходных материалов, технологическими параметрами и свойствами готовых изделий (материалов), грамотно излагает материал при ответе.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает достаточно полные знания по программе дисциплины, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, четко излагает материал без существенных противоречий в информации.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает наличие знания по программе дисциплины, исправляет сделанные ошибки после уточняющих вопросов преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не знает основные теоретические положения по программе дисциплины, не может дать ответ на основной и/или дополнительный вопрос .

Оценка «не явка» – обучающийся на экзамен не явился.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

**6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Левашов Е. А., Рогачев А. С., Курбаткина В. В., др.	Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Metallurgy	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2011
Л1.2	Левашов Е. А., Рогачев А. С., Юхвид В. И., Боровинская И. П.	Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза: Учеб. пособие для вузов по спец. 070800-Физико-хим. методы исследования процессов и материалов и 110800 - Композиционные и порошковые материалы, покрытия	Библиотека МИСиС	М.: БИНОМ, 1999
Л1.3	Панов В. С., Нарва В. К., Погожев Ю. С., Зайцев А. А., Левашов Е. А.	Технология получения и свойства спеченных материалов и изделий из них: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2015

**6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Э1	Учебно-методическая литература для студентов	<a href="https://www.studmed.ru/">https://www.studmed.ru/</a>
Э2	Государственная публичная научно-техническая библиотека России	<a href="http://www.gpntb.ru/">http://www.gpntb.ru/</a>

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	Microsoft Office
-----	------------------

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных****7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
К-107	Лаборатория прессования и формования:	демонстрационное оборудование, в том числе доска учебная мультимедийный проектор, экран проекционный, гидравлический пресс ручной, гидравлический пресс с электроприводом, два оптических микроскопа, технические весы, аналитические весы, твердомеры (по Бринеллю и Виккерсу, две муфельные печи, шкаф вытяжной (2 секции), оборудование для определения физических технологических свойств порошков
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Читальный зал №4 (Б)		комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, компьютеры с подключением к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-107	Лаборатория прессования и формования:	демонстрационное оборудование, в том числе доска учебная мультимедийный проектор, экран проекционный, гидравлический пресс ручной, гидравлический пресс с электроприводом, два оптических микроскопа, технические весы, аналитические весы, твердомеры (по Бринеллю и Виккерсу, две муфельные печи, шкаф вытяжной (2 секции), оборудование для определения физических технологических свойств порошков

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При изучении данной дисциплины обучающемуся понадобятся знания, полученные при изучении дисциплин "Закономерности, механизмы и методы диагностики процессов горения в СВС-системах", "Свойства порошков и методы их определения", "Получение металлических порошков".