

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 03.10.2023 16:25:58  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский  
«26» марта 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ КЕРАМИКА ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Направление подготовки

**22.04.01 Материаловедение и технологии материалов**

Направленность программы магистратуры

**Высокотемпературные наноструктурированные композиционные материалы**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов**

Санкт-Петербург

2019

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Зав. кафедрой		профессор Пантелеев И.Б.

Рабочая программа дисциплины «Наноструктурированная керамика для машиностроения» обсуждена на заседании кафедры технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

протокол от «11» марта 2019 № 12

Заведующий кафедрой

И.Б. Пантелеев

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов  
протокол от «21» марта 2019 № 6

Председатель

С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Материаловедение и технологии материалов»		Н.О. Тагильцева
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
4.2. Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины .....	07
4.3. Занятия лекционного типа.....	08
4.4. Занятия семинарского типа.....	11
4.4.1. Семинары, практические занятия .....	11
4.4.2. Лабораторные занятия .....	11
4.5. Самостоятельная работа обучающихся .....	12
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	14
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	14
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.....	15
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....	15
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	16
10.2. Программное обеспечение.....	17
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	17
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.....	17
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	19
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	20

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-1</b> Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач</p>	<p><b>ПК-1.6</b> Знание наноструктурированных композиционных материалов на основе карбидов, нитридов, их технологии, свойств и областей применения.</p>	<p><b>Знать:</b> – физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов (ЗН-1); – кристаллохимию и электронное строение фаз внедрения, методы их получения (ЗН-2).</p> <p><b>Уметь:</b> – оценивать физические, механические свойства композиций на основе карбидов, получения, свойства и области применения (У-1).</p> <p><b>Владеть:</b> – знаниями в области нитридов переходных элементов, и материалов на их основе (Н-1).</p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-5</b> Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описать процесс достижения заданного уровня свойств в материале</p>	<p><b>ПК-5.6</b> Умеет разрабатывать технологии наноструктурированных материалов на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов, ковалентных соединений и определять их эксплуатационные свойства.</p>	<p><b>Знать:</b> – наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов (ЗН-3); – наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких силицидов, интерметаллидов (ЗН-4).</p> <p><b>Уметь:</b> – разрабатывать технологии материалов на основе ковалентных соединений (У-2).</p> <p><b>Владеть:</b> – методами получения наноструктурированных материалов на основе тугоплавких ковалентных соединений (Н-2).</p>
<p><b>ПК-7</b> Способен выбирать метод научного исследования, исходя из конкретных задач, организовывать его осуществление и анализировать результаты с использованием современных методов обработки данных, оформлять полученные результаты в виде отчета, научной публикации, доклада, готовить (под руководством) документы к патентованию, оформлению ноу-хау</p>	<p><b>ПК-7.6</b> Умеет выбирать метод научного исследования композиционных наноструктурированных керамических материалов исходя из конкретных задач</p>	<p><b>Знать:</b> – тугоплавкие оксиды и материалы на их основе (ЗН-5); – современные методы изучения структуры композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов (ЗН-6).</p> <p><b>Уметь:</b> – проводить спекание керамики на основе тугоплавких соединений (У-3).</p> <p><b>Владеть:</b> – физическими основами и основными теориями спекания (Н-3).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры (Б1.В.06) и изучается на 2 курсе в 3 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на дисциплины «Новые композиционные наноструктурированные материалы», «Аттестация свойств наноструктурированных материалов», «Получение и анализ чистых и особо чистых веществ», «Оптимизация состава и свойств конструкционных материалов», «Керамоматричные композиционные материалы». Полученные в процессе изучения дисциплины «Наноструктурированная керамика для машиностроения» знания, умения и навыки могут быть использованы при прохождении преддипломной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>6/216</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>108</b>
занятия лекционного типа	34
занятия семинарского типа, в т.ч.	68
семинары, практические занятия	–
лабораторные работы	68
курсовое проектирование (КР или КП)	–
КСР	6
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>108</b>
<b>Форма текущего контроля</b>	<b>доклад</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	<b>Зачёт</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов. Окисление и жаростойкость материалов.	6		6	12	ПК-1
2.	Фазы внедрения и материалы на их основе. Кристаллохимия и электронное строение фаз внедрения, методы их получения.	2			12	ПК-1
3.	Наноструктурированные композиционные материалы на основе карбидов, технология получения, свойства и области применения.	8		20	16	ПК-1
4.	Нитриды переходных элементов, свойства и материалы на их основе.	2		6	12	ПК-1
5.	Наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов.	6		12	16	ПК-5
6.	Ковалентные соединения, свойства, методы получения. Наноструктурированные материалы на основе тугоплавких ковалентных соединений.	4		12	12	ПК-5
7.	Тугоплавкие оксиды и материалы на их основе. Тугоплавкие оксиды, их физические и термодинамические свойства.	2			14	ПК-7
8.	Спекание керамики на основе тугоплавких соединений. Физические основы и основные теории спекания.	4		12	14	ПК-7

#### 4.2 Формирование индикаторов достижения компетенций разделами дисциплины

№ п/п	Код индикаторов достижения компетенции	Наименование раздела дисциплины
1.	ПК-1.6	Физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов. Окисление и жаростойкость материалов. Фазы внедрения и материалы на их основе. Кристаллохимия и электронное строение фаз внедрения, методы их получения. Наноструктурированные композиционные материалы на основе карбидов, технология получения, свойства и области применения. Нитриды переходных элементов, свойства и материалы на их основе.
2.	ПК-5.6	Наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов. Ковалентные соединения, свойства, методы получения. Наноструктурированные материалы на основе тугоплавких ковалентных соединений.
3.	ПК-7.6	Тугоплавкие оксиды и материалы на их основе. Тугоплавкие оксиды, их физические и термодинамические свойства. Спекание керамики на основе тугоплавких соединений. Физические основы и основные теории спекания.

#### 4.3. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов. Окисление и жаростойкость материалов.</u> Техническая прочность кристаллов. Температурная зависимость прочности. Основы статистической теории прочности Вейбулла. Жаропрочность, способы повышения жаропрочности. Термостойкость, термopрочность. Химические свойства металлов переходных групп и сплавов на их основе. Окисляемость и сущность процесса окисления металлов, бескислородных соединений. Роль легирующих добавок. Коррозионная устойчивость. Жаростойкие покрытия.	6	Дискуссия
2	<u>Фазы внедрения и материалы на их основе. Кристаллохимия и электронное строение фаз внедрения, методы их получения.</u>	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	Современные представления о фазах внедрения. Правило Хегга. Кристаллические особенности строения фаз внедрения – фаз переменного состава. Роль отечественных ученых в разработке теоретических представлений о фазах внедрения.		
3	<p><u>Наноструктурированные композиционные материалы на основе карбидов, технология получения, свойства и области применения.</u></p> <p>Строение диаграмм состояния систем Me(IV)–C, Me(V)–C, Me(VI)–C, U–C, Pu–C. Анализ закономерностей строения. Основные физико-химические свойства карбидов. Изменение свойств карбидов в области гомогенности. Термодинамический анализ взаимодействия в системах Me'C – Me" с целью выбора металл-связки. Основные диаграммы состояния Me'C – Me", анализ важнейших систем Me'C – Me" с участием тугоплавких металлов. Твердые растворы карбидов.</p> <p>Физические, механические свойства композиций на основе карбидов. Керметы для металлорежущего инструмента. Промышленные твердые сплавы, классификация, требования по ГОСТ. Проблема создания безвольфрамовых твердых керметов на основе системы TiC–Me. Технология получения, требования к сырью, технико-экономические показатели. Разработка керметов с применением карбидов, полученных методом СВС.</p>	8	
4	<p><u>Нитриды переходных элементов, свойства и материалы на их основе.</u></p> <p>Кристаллохимия и электронное строение нитридов. Основные диаграммы состояния Me – N, свойства нитридов, изменение свойств в области гомогенности как отражение специфики химической связи в нитридах. Физико-химические основы и технология разработки композиций на основе нитридов.</p>	2	
5	<p><u>Наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов.</u></p> <p>Кристаллохимия боридов и особенности их электронного строения. Основные системы Me–B. Дибориды переходных металлов и их свойства, гексабориды редкоземельных элементов, их некоторые свойства. Связывание боридов металлами. Основные системы MeB<sub>2</sub> – Me. Основы технологии получения материалов</p>	6	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>MeB<sub>2</sub>-Me. Новые инструментальные материалы на основе диборида титана. Взаимодействие боридов с другими классами тугоплавких соединений. Композиции карбид-диборид, нитрид-диборид переходных элементов. Особенности структуры и свойства эвтектик MeC-MeB<sub>2</sub>, MeN - MeB<sub>2</sub>. Моделирование эвтектик. Системы LnB<sub>6</sub> - MeB<sub>2</sub> и материалы на их основе. Области применения.</p> <p>Кристаллохимия и особенности химической связи силицидов переходных металлов. Физико-химические основы образования интерметаллидов. Фазы Лавеса, Юм-Розери, Курнакова и др. Кристаллическая структура, химическая связь и свойства интерметаллидов. Техническое значение. Технология производства методами керамической технологии (на примере сверхпроводников).</p>		
6	<p><u>Ковалентные соединения, свойства, методы получения. Наноструктурированные материалы на основе тугоплавких ковалентных соединений.</u></p> <p>Системы бор-углерод, бор-азот, кремний-азот, кремний-углерод, алюминий-азот. Материалы на основе гексагонального нитрида бора. Термостойкие высокотемпературные материалы на основе нитридов кремния, алюминия, технология высокотемпературных материалов. Современное развитие химии высоких давлений и температур. Синтетический сверхтвердый β-BN. Физико-химические основы создания композиций на их основе.</p>	4	
7	<p><u>Тугоплавкие оксиды и материалы на их основе. Тугоплавкие оксиды, их физические и термодинамические свойства.</u></p> <p>Характер химической связи в оксидах. Области применения, требования, предъявляемые к материалам. Технология производства керметов на основе систем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Me, ZrO<sub>2</sub>-Me, UO<sub>2</sub>-Me, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Me, их свойства. Молекулярные керметы. Направленно-кристаллизованные эвтектики. Материалы на основе систем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>, MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>, муллит - карбид кремния для двигателестроения, инструментального назначения.</p>	2	
8	<p><u>Спекание керамики на основе тугоплавких соединений. Физические основы и основные теории спекания.</u></p>	4	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	Выбор условий спекания. Влияние газовой среды спекания. Основные типы печей. Условия спекания в печах периодического и непрерывного действия. Нагревательные элементы. Основные показатели работы печей. Режим спекания, его роль в формировании структуры материала, механическая обработка спеченных изделий. Теория Я.И. Френкеля о вязком течении твердых фаз. Теория Б.Я. Пинеса о диффузионном "залечивании" пор. Диффузия в твердых телах и ползучесть кристаллических тел при высоких температурах. Механизмы массопереноса в контактной зоне: механизм вязкого течения, механизм объемной самодиффузии, механизм поверхностной диффузии, механизм испарения-конденсации. Эффекты при спекании разнородных тел. Жидкофазное спекание.		

#### 4.4. Занятия семинарского типа.

##### 4.4.1. Семинары, практические занятия.

Не предусмотрено.

##### 4.4.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов.</u> <u>Окисление и жаростойкость материалов.</u> Определение устойчивости керметов против окисления.	6	Мастер-класс в лаборатории
3	<u>Наноструктурированные композиционные материалы на основе карбидов, технология получения, свойства и области применения.</u> Исследование свойств керметов. Приготовление шлифов и описание структуры керметов, распределение фаз, величина зерна, фотографирование наиболее характерных участков структур. Определение упругих характеристик – модуля Юнга, модуля сдвига, коэффициента Пуассона.	20	Мастер-класс в лаборатории
4	<u>Нитриды переходных элементов, свойства и материалы на их основе.</u> Синтез тугоплавких соединений. Расчет и	6	Мастер-класс в лаборатории

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	приготовление шихты. Проведение синтеза.		
5	<u>Наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов.</u> Определение механических свойств – пределы прочности при изгибе и сжатии, ударной вязкости при комнатной температуре.	12	Мастер-класс в лаборатории
6	<u>Ковалентные соединения, свойства, методы получения. Наноструктурированные материалы на основе тугоплавких ковалентных соединений.</u> Определение микротвердости фаз, твердости по Виккерсу, макроскопической твердости. Определение механических свойств – пределы прочности при изгибе и сжатии, ударной вязкости при комнатной температуре	12	Мастер-класс в лаборатории
8	<u>Спекание керамики на основе тугоплавких соединений. Физические основы и основные теории спекания.</u> Изготовление опытных образцов, их предварительное спекание при заданных температурах. Определение температур плавления и проведение дополнительных термообработок	12	Мастер-класс в лаборатории

#### 4.5. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<u>Физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов. Окисление и жаростойкость материалов.</u> Теория Гриффитса и ее развитие. Относительность представлений о хрупком и пластическом разрушении. Кинетика и механизм окисления. Формирование защитных оксидных пленок на металлах и керметах.	12	Устный опрос № 1
2	<u>Фазы внедрения и материалы на их основе. Кристаллохимия и электронное строение фаз внедрения, методы их получения.</u> Гетеродесмичность химической связи в металлоподобных соединениях, электронное строение карбидов. Представление о донорно-акцепторном механизме электронного обмена в фазах внедрения.	12	Устный опрос № 1

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
3	<p><u>Наноструктурированные композиционные материалы на основе карбидов, технология получения, свойства и области применения.</u></p> <p>Методы получения карбидов из элементов, СВС, восстановлением оксидов, газофазные, плазменно-химические и др. методы получения. Достоинства и недостатки, технико-экономические показатели. Основные сырьевые материалы в производстве спеченных композиций на основе карбидов.</p> <p>Новейшие разработки в области инструментальных керметов на основе карбидов. Конструкционная керамика на основе карбидов для использования в области весьма высоких температур. Материалы для атомной техники и энергетики.</p>	16	Устный опрос № 2
4	<p><u>Нитриды переходных элементов, свойства и материалы на их основе.</u></p> <p>Методы получения нитридов, плазмохимический синтез, метод СВС. Карбонитриды и материалы на их основе, безвольфрамовые твердые сплавы типа КНТ.</p>	12	Устный опрос № 2
5	<p><u>Наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов.</u></p> <p>Методы получения боридов, технико-экономические показатели. Основные сырьевые материалы в производстве спеченных композиций на основе боридов.</p> <p>Методы получения и свойства важнейших силицидов. Жаростойкие материалы на их основе и применение в технике. Технология производства нагревателей из дисилицида молибдена. Взаимодействие силицидов с диборидами, композиционные материалы в системах <math>MeSi_2 - MeB_2</math>, <math>MeSi_2 - SiC</math>.</p> <p>Интерметаллиды в решении проблемы водородной энергетики, интерметаллиды с памятью формы. Композиционные материалы с использованием интерметаллидов.</p>	16	Устный опрос № 3
6	<p><u>Ковалентные соединения, свойства, методы получения. Наноструктурированные материалы на основе тугоплавких ковалентных соединений.</u></p> <p>Строение и свойства индивидуальных соединений; практическое значение, методы получения соединений, перспективы плазмохимического и СВС-метода синтеза.</p> <p>Особенности промышленного производства режущих материалов на базе СТМ. Области</p>	12	Устный опрос № 3

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	применения. Керамические материалы на основе карбидов бора и кремния, проблемы активации процесса спекания, области применения. Взаимодействие в системах В <sub>4</sub> С (SiC) – MeB <sub>2</sub> и износостойкие, ударопрочные керамические материалы на их основе.		
7	<u>Тугоплавкие оксиды и материалы на их основе. Тугоплавкие оксиды, их физические и термодинамические свойства.</u> Основные оксиды – простые, сложные; физические, термодинамические и механические свойства оксидов. Совместимость с металлами и другими тугоплавкими соединениями. Диаграммы состояния оксид–металл, важнейшие двойные и тройные системы для создания машиностроительной керамики.	14	Устный опрос № 4
8	<u>Спекание керамики на основе тугоплавких соединений. Физические основы и основные теории спекания.</u> Шлифование, ультразвуковая, электроискровая и лазерная обработка. (Материал этого раздела излагается при чтении разделов, где излагаются конкретные технологии изготовления керамических материалов).	14	Устный опрос № 4

### 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

### 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачёта.

Зачёт предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций.

Зачет получают студенты, выполнившие все лабораторные работы, сдавшие и защитившие отчеты по ним.

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу – до 30 мин.

Пример билета к зачету:

1. Физические свойства порошков и их влияние на технологию. Особенности ультрадисперсных порошков.

2. Нитрид алюминия: структура, физико-химические свойства и материалы на его основе.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «зачёт».

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.**

### **а) печатные издания:**

1. Шевченко, А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов : учеб. пособие для вузов/А.А. Шевченко. – СПб.: Профессия, 2010. – 223 с.
2. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: учебн. пособие/А.П. Гаршин, С.М. Федотова. СПбГПУ. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1009 с.
3. Солнцев, Ю. П. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов/Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, В.Ю. Пирайнен. – 3-е изд. – СПб. : Химиздат, 2006. – 504 с.
4. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие/Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М. : Academia, 2005. – 157 с.
5. Вихман, С.В. Физико-химические основы технологии наноструктурированных конструкционных керамических материалов : методические указания к лабораторным работам / С. В. Вихман, О. А. Кожевников ; СПбГТИ(ТУ). Каф. хим. технологии тонкой техн. керамики. – СПб, 2012. – 47 с.

### **б) электронные издания**

1. Рентгенофазовый анализ порошковых материалов на дифрактометре ДР-02 "РАДИАН": Учебное пособие / А. В. Горюнов, В. И. Зарембо, Г. Э. Франк-Каменецкая, С. О. Шульгин ; СПбГТИ(ТУ). - СПб, 2012. – 47 с. (ЭБ)
2. Спектральные методы анализа : Практическое руководство : учебное пособие / В. И. Васильева [и др.] ; Под ред.: В. Ф. Селеменева и В. Н. Семенова. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. – 413 с. (ЭБС Лань)
3. Пантелеев, И. Б. Методы математического планирования эксперимента в технологии керамики [Текст]: учебное пособие / И. Б. Пантелеев, С. В. Вихман. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 71 с.
4. Суворов, С.А. Процессы разрушения, оптимизация свойств и выбор высокотемпературных наноструктурированных материалов. Учебное пособие / С.А. Суворов, В.В. Козлов, Н.В. Арбузова. – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 133 с.
5. Орданьян, С.С. Проектирование состава, структуры и свойств керамических конструкционных наноматериалов: учебное пособие / С.С. Орданьян, А.Е. Кравчик – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 84 с.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

С компьютеров института открыт доступ к:

[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) - eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий;

<http://e.lanbook.com> - Электронно-библиотечная система издательства «Лань», коллекции «Химия» (книги издательств «Лань», «Бином», «НОТ»), «Нанотехнологии» (книги издательства «Бином. Лаборатория знаний»);

[www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) - КонсультантПлюс - база законодательных документов по РФ и Санкт-Петербургу;  
[www.scopus.com](http://www.scopus.com) - База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier;  
<http://webofknowledge.com> - Универсальная реферативная база данных научных публикаций Web of Science компании Thomson Reuters;  
<http://iopscience.iop.org/journals?type=archive>, <http://iopscience.iop.org/page/subjects> - Издательство ИОР (Великобритания);  
[www.oxfordjournals.org](http://www.oxfordjournals.org) - Архив научных журналов издательства Oxford University Press;  
<http://www.sciencemag.org/> - Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS));  
<http://www.nature.com> - Доступ к журналу Nature (Nature Publishing Group);  
<http://pubs.acs.org> - Доступ к коллекции журналов Core + издательства American Chemical Society;  
<http://journals.cambridge.org> - Полнотекстовый доступ к коллекции журналов Cambridge University Press.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Наноструктурированная керамика для машиностроения» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- национальные стандарты и технические регламенты;
- базы данных, каталоги, блок-схемы, иллюстрирующие изучаемый материал;
- плакаты, таблицы с моделями планирования эксперимента и др;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

## 10.2. Программное обеспечение.

Для проведения занятий имеются персональные компьютеры с программным обеспечением:

- Windows,
- OpenOffice.

## 10.3. Базы данных и информационные справочные системы.

1. <http://prometeus.nse.ru> – база ГПНТБ СО РАН.
2. <http://borovic.ru> - база патентов России.
3. <http://1.fips.ru/wps/portal/Register> - Федеральный институт промышленной собственности
4. <http://google.com/patent>- база патентов США.
5. <http://freepatentsonline.com>- база патентов США.
6. <http://patentmatie.com/welcome> - база патентов США.
7. [http://patika.ru/Epasenet\\_patentnie\\_poisk.html](http://patika.ru/Epasenet_patentnie_poisk.html) - европейская база патентов.
8. <http://gost-load.ru>- база ГОСТов.
9. <http://worlddofaut.ru/index.php> - база ГОСТов.
10. <http://elibrary.ru> – Российская поисковая система научных публикаций.
11. <http://springer.com> – англоязычная поисковая система научных публикаций.
12. <http://dissforall.com> – база диссертаций.
13. <http://diss.rsl.ru> – база диссертаций.
14. <http://webbook.nist.gov/chemistry> - NIST Standard Reference Database.
15. <http://riodb.ibase.aist.go.jp/riohomee.html> - база спектров химических соединений.
16. <http://markmet.ru> – марочник сталей.

## 11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы.

Для ведения лекционных занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники.

Для проведения лабораторных занятий и проведения мастер классов используется лаборатория, оснащенная необходимым лабораторным оборудованием:

Наименование и марка оборудования	Назначение и краткая характеристика оборудования
Дилатометр кварцевый ДКВ–5.	для определения ЛКТР до 700°С с компьютерным управлением
Твердомер по Виккерсу ТП–7–Р	для определения твердости по Виккерсу
Установка для определения предела прочности при изгибе спеченных материалов конструкции «НИИ Гириконд»	для определения предела прочности при изгибе спеченных материалов

Электропечь муфельная	печь муфельная воздушная с объемом печного пространства 1 м <sup>3</sup> до 1000 °С
Печь муфельная	печь муфельная воздушная СНОЛ 7,2/1300 с объемом печного пространства 5 дм <sup>3</sup> до 1300 °С
Валки лабораторные	на 1 барабан с объемом 5 дм <sup>3</sup>
Роликовый измельчитель	для измельчения материалов
Печь трубчатая кварцевая	Среда – воздух, аргон, азот, до 1150 °С
Печь муфельная воздушная Тулячка–3У с объемом печного	печь муфельная воздушная с объемом печного пространства 2 дм <sup>3</sup> до 1200 °С
Мельница планетарная АГО–2Ус объемом 200 мл	для измельчения материалов, объем 200 мл
Дробилка конусная КИД–10	для измельчения материалов
Установка для определения упругих характеристик материалов «Звук–107»	для определения упругих характеристик материалов с компьютерным управлением
Микротвердомер Виккерса ПМТ–3	для определения микротвердости
Воздушный дилатометр	для определения ЛКТР до 1400 °С
Воздушный дифференциальный термический анализатор	до 1400 °С с компьютерным управлением
Седиментограф весовой Shimadzu	для определения дисперсности порошков
Весы ВЛКТ–500	для взвешивания порошков
Микроскоп металлографический МИМ–9	для изучения микроструктуры с компьютерной системой автоматического анализа изображений «ВидеоТест–Морфо»
Микроскоп XSP–105В	для изучения микроструктуры
Установка для определения потерь при прокаливании	на воздухе до 1400° с компьютерным управлением
Пресс гидравлический «Amsler».	для прессования керамических образцов, усилием 60 т
Пресс гидравлический П–125	для прессования керамических образцов, усилием 125 т (гидростат)
Вибромельница с объемом 1 л	для тонкого измельчения порошков
Мельница барабанная объемом 0,12 м <sup>3</sup>	для тонкого измельчения порошков
Вискозиметр ВЗР–246	Лабораторный вискозиметр для определения текучести керамических суспензий
Весы ВСЛ–200	Аналитические весы с пределом взвешивания 200 г, точностью 0,0001 г.
Мельница планетарная «Санд» объемом 4 л	для тонкого измельчения порошков
Пресс гидравлический ПГР–400	для прессования керамических образцов, усилием 10 т
Конический пластометр Ребиндера	для определения пластичности масс
Пластометр Пфеферкорна	для определения пластической прочности масс
Ручной лабораторный экструдер	для формования образцов из пластичных масс
Аудитория тонкой и технической керамики (помещение № 1), 28 мест	Демонстрационные стенды образцов природного минерального сырья Демонстрационные стенды образцов тонкой и технической керамики и видов производственного брака

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Наноструктурированная керамика для машиностроения»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-1</b>	<b>Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач</b>	промежуточный
<b>ПК-5</b>	<b>Способен определять соответствие готового изделия заявленным потребительским характеристикам; прогнозировать и описать процесс достижения заданного уровня свойств в материале</b>	промежуточный
<b>ПК-7</b>	<b>Способен выбирать метод научного исследования, исходя из конкретных задач, организовывать его осуществление и анализировать результаты с использованием современных методов обработки данных, оформлять полученные результаты в виде отчета, научной публикации, доклада, готовить (под руководством) документы к патентованию, оформлению ноу-хау</b>	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-1.6</b> Знание наноструктурированных композиционных материалов на основе карбидов, нитридов, их технологии, свойств и областей применения.	<b>Знает</b> физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов. (ЗН-1)	Ответы на задания № 1-4 к зачёту	Перечисляет химические свойства металлов переходных групп и сплавов на их основе.	Излагает сущность процесса окисления металлов, бескислородных соединений.	Излагает физические основы жаропрочности и жаростойкости твердых материалов.
	<b>Знает</b> кристаллохимию и электронное строение фаз внедрения, методы их получения (ЗН-2)	Ответы на задания № 5-8 к зачёту	Излагает современные представления о фазах внедрения.	Перечисляет кристаллические особенности строения фаз внедрения.	Рассказывает о современном состоянии исследований представлений о фазах внедрения.
	<b>Умеет</b> оценивать физические, механические свойства композиций на основе карбидов, получения, свойства и области применения (У-1)	Ответы на задания № 9-20 к зачёту	Демонстрирует навык оценивать основные физико-химические свойства карбидов.	Сопоставляет и делает выводы по интерпретации строения диаграмм состояния систем Me(IV)–C, Me(V)–C, Me(VI)–C, U–C, Pu–C.	Демонстрирует навык выбирать метод научного исследования физических и механических свойства композиций на основе карбидов.
	<b>Владеет</b> знаниями в области нитридов переходных элементов, и материалов на их основе (Н-1)	Ответы на задания № 21-27 к зачёту	Решает задачи выбора метода получения нитридов переходных металлов.	Рассказывает о физико-химическими основами и технологией композиций на основе нитридов.	Рассказывает о диаграммах состояния Me – N, свойствах нитридов, изменениях свойств в областях гомогенности.

<p><b>ПК-5.6</b> Умеет разрабатывать технологии наноструктурированных материалов на основе тугоплавких боридов, силицидов, интерметаллидов, ковалентных соединений и определять их эксплуатационные свойства.</p>	<p><b>Знает</b> наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких боридов (ЗН-3)</p>	<p>Ответы на задания № 28-30 к зачёту</p>	<p>Перечисляет дибориды переходных металлов и их свойства.</p>	<p>Перечисляет дибориды переходных металлов и их свойства, гексабориды редкоземельных элементов, их некоторые свойства.</p>	<p>Называет современные методы получения наноструктурированных керамических материалов на основе тугоплавких боридов.</p>
	<p><b>Знает</b> наноструктурированные керамические материалы на основе тугоплавких силицидов, интерметаллидов (ЗН-4).</p>	<p>Ответы на задания № 31-34 к зачёту</p>	<p>Перечисляет свойства тугоплавких силицидов, интерметаллидов.</p>	<p>Хорошо разбирается в кристаллохимии боридов и особенностях их электронного строения, физико-химические основы образования интерметаллидов.</p>	<p>Перечисляет современные методы получения наноструктурированных керамических материалов на основе тугоплавких силицидов, интерметаллидов.</p>
	<p><b>Умеет</b> разрабатывать технологии материалов на основе ковалентных соединений (У-2).</p>	<p>Ответы на задания № 35-39 к зачёту</p>	<p>Перечисляет базовые методы получения материалов в системах бор–углерод, бор–азот, кремний–азот, кремний–углерод, алюминий–азот.</p>	<p>Называет термостойкие высокотемпературные материалы на основе нитридов кремния, алюминия.</p>	<p>Называет физико-химические основы создания композиций на основе ковалентных соединений.</p>
	<p><b>Владеет</b> методами получения наноструктурированных материалов на основе тугоплавких ковалентных соединений (Н-2).</p>	<p>Ответы на задания № 40-43 к зачёту</p>	<p>Решает задачи выбора метода определения свойств наноструктурированных материалов на основе тугоплавких ковалентных соединений.</p>	<p>Решает задачи выбора метода определения структуры наноструктурированных материалов на основе тугоплавких ковалентных соединений.</p>	<p>Решает задачи выбора метода получения наноструктурированных материалов на основе тугоплавких ковалентных соединений.</p>

<p><b>ПК-7.6</b> Умеет выбирать метод научного исследования композиционных наноструктурированных керамических материалов исходя из конкретных задач</p>	<p><b>Знает</b> тугоплавкие оксиды и материалы на их основе (ЗН-5)</p>	<p>Ответы на задания № 44-48 к зачёту</p>	<p>Перечисляет тугоплавкие оксиды и материалы на их основе.</p>	<p>Называет тугоплавкие оксиды и особенности их электронного строения, физико-химические основы образования этих веществ.</p>	<p>Правильно выбирает современные методы получения наноструктурированных керамических материалов на основе тугоплавких оксидов.</p>
	<p><b>Знает</b> современные методы изучения структуры композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов (ЗН-6)</p>	<p>Ответы на задания № 49-53 к зачёту</p>	<p>Правильно выбирает базовые методы оценки структуры композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов.</p>	<p>Называет общие методы изучения структуры композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов.</p>	<p>Правильно выбирает современные методы изучения структуры композиционных материалов на основе тугоплавких оксидов.</p>
	<p><b>Умеет</b> проводить спекание керамики на основе тугоплавких соединений (У-3)</p>	<p>Ответы на задания № 54-58 к зачёту</p>	<p>Правильно выбирает режимы спекания в печах периодического и непрерывного действия.</p>	<p>Перечисляет общие методы выбора условий спекания, влияние газовой среды спекания, основные типы печей.</p>	<p>Перечисляет механизмы массопереноса в контактной зоне: механизм вязкого течения, механизм объемной самодиффузии, механизм поверхностной диффузии, механизм испарения-конденсации.</p>
	<p><b>Владеет</b> физическими основами и основными теориями спекания (Н-3)</p>	<p>Ответы на задания № 59-63 к зачёту</p>	<p>Показывает знания об основных показателях работы печей.</p>	<p>Показывает знания о режиме спекания, его роль в формировании структуры материала.</p>	<p>Показывает знания о диффузии в твердых телах и ползучести кристаллических тел при высоких температурах.</p>

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачёта. Для получения зачёта должен быть достигнут «пороговый» уровень сформированности компетенций.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации**

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-1:**

1. Машиностроительная керамика, назначение и принципы создания.
2. Жаропрочность и жаростойкость керамических материалов.
3. Основные закономерности окисления материалов.
4. Основные механизмы окисления металлов и сплавов, методы защиты.
5. Современные представления о фазах внедрения.
6. Правило Хегга.
7. Кристаллические особенности строения фаз внедрения – фаз переменного состава.
8. Физические свойства порошков и их влияние на технологию. Особенности ультра-дисперсных порошков.
9. Структура, особенности химической связи на примере карбидов.
10. Карбиды переходных металлов IV группы. Свойства, методы получения и перспективные материалы на их основе.
11. Карбиды переходных металлов V группы. Свойства, методы получения и перспективные материалы на их основе.
12. Физико-химические основы создания безвольфрамовых твердых сплавов – структурных аналогов сплавов WC–Co.
13. Физико-химические особенности и технология получения керметов на основе системы карбид вольфрама – кобальт.
14. Физико-химические основы и процессы, протекающие при спекании в присутствии жидкой фазы (на примере систем MeC – Me<sup>I</sup>).
15. Физико-химические особенности и технология стандартных твердых сплавов группы ТК (WC–TiC–Co).
16. Карбид кремния – свойства, структура, методы получения.
17. Керамические материалы на основе карбида кремния, методы получения.
18. Карбид бора – свойства, структура, методы получения.
19. Взаимодействие SiC с тугоплавкими веществами и композиционные материалы.
20. Технология керметов инструментального назначения на основе карбонитрида титана.
21. Нитриды переходных металлов. Структура, особенности химической связи, свойства.
22. Методы получения нитридов переходных металлов. Взаимодействие в системе Me<sup>I</sup>N – Me<sup>II</sup>.
23. Особенности взаимодействия нитридов с металлами и перспективные керметы на их основе.
24. Нитрид алюминия: структура, физико-химические свойства и материалы на его основе.
25. Нитриды кремния: структура, физико-химические свойства и материалы на его основе.
26. Нитрид бора, структура, свойства, методы получения.
27. Получение кубического нитрида бора и материалы на его основе.

**б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-5:**

28. Бориды переходных металлов. Структура, особенности химической связи и свойства боридов.
29. Методы получения боридов, взаимодействие их друг с другом.
30. Особенности взаимодействия боридов с переходными металлами.
31. Силициды переходных металлов. Химическая связь, структура, свойства и области применения.
32. Взаимодействие силицидов с другими классами веществ и композиционные материалы.
33. Технология нагревателей на основе дисилицида молибдена.
34. Интерметаллиды. Особенности химической связи; классификация интерметаллидов, их свойства и области применения.
35. Система бор–углерод.
36. Система бор–азот.
37. Система кремний–азот.
38. Система кремний–углерод.
39. Система алюминий–азот.
40. Материалы на основе гексагонального нитрида бора.
41. Термостойкие высокотемпературные материалы на основе нитридов кремния, алюминия, технология высоко температурных материалов.
42. Современное развитие химии высоких давлений и температур.
43. Синтетический сверхтвердый  $\beta$ -BN.

**в) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-7:**

44. Технология производства керметов на основе систем  $Al_2O_3$ –Me.
45. Технология производства керметов на основе систем  $ZrO_2$ –Me.
46. Технология производства керметов на основе систем  $UO_2$ –Me,
47. Технология производства керметов на основе систем  $Y_2O_3$ –Me.
48. Молекулярные керметы.
49. Направленно-кристаллизованные эвтектики.
50. Материалы на основе систем  $Al_2O_3$ – $ZrO_2$  инструментального назначения.
51. Материалы на основе систем  $MgO$ – $Al_2O_3$ – $ZrO_2$  инструментального назначения.
52. Материалы на основе систем  $Al_2O_3$ – $TiO_2$  инструментального назначения.
53. Материалы на основе систем муллит – карбид кремния для двигателестроения, инструментального назначения.
54. Выбор условий спекания. Влияние газовой среды спекания. Основные типы печей.
55. Условия спекания в печах периодического и непрерывного действия. Нагревательные элементы.
56. Основные показатели работы печей.
57. Механизмы массопереноса в контактной зоне: механизм вязкого течения, механизм объемной самодиффузии.
58. Механизм поверхностной диффузии, механизм испарения-конденсации.
59. Режим спекания, его роль в формировании структуры материала, механическая обработка спеченных изделий.
60. Теория Я.И. Френкеля о вязком течении твердых фаз.
61. Теория Б.Я. Пинеса о диффузионном "залечивании" пор.
62. Диффузия в твердых телах и ползучесть кристаллических тел при высоких

температурах.

63. Эффекты при спекании разнородных тел. Жидкофазное спекание.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.