



МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»  
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

 А. П. Невчик

 2022 г.



**Программа кандидатского экзамена**

**2.6.17 «Материаловедение»**

Санкт-Петербург  
2022

## **Введение**

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 2.6.17. **Материаловедение.**

Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, истории ее формирования и развития, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедре теоретических основ материаловедения и кафедре химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины «Материаловедение».

### **1. Порядок проведения кандидатского экзамена**

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен, как в устной форме, так и в письменной форме.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса из программы кандидатского экзамена по специальности и один вопрос из дополнительной программы, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы соискателя и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания вопросов экзаменационного билета.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

### **2. Основное содержание программы кандидатского экзамена**

#### **2.1. Теоретические основы материаловедения**

2.1.1. *Общая классификация современных и перспективных материалов и их свойств.* Общие закономерности взаимосвязи «состав-структура-свойства» для различных классов материалов. Влияние типа химической связи и фазового состава на свойства материалов.

2.1.2. *Особенности кристаллического и аморфного состояния вещества.* Характеристики и дефекты кристаллической структуры, их влияние на свойства материалов. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и несамопроизвольная кристаллизация. Форма кристаллических образований. Полиморфизм.

2.1.3. *Особые свойства металлов.* Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации. Температура рекристаллизации. Строение металлов после возврата и рекристаллизации. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации. Условия термодинамического равновесия.

2.1.4. *Структурные превращения и их характеристики.* Эвтектическое и перитектическое превращения. Виды ликвации. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Изотермические и термокинетические диаграммы.

2.1.5. *Зонная теория твердых тел.* Особенности электронного строения и свойств проводников, полупроводников и диэлектриков.

2.1.6. *Высокопрочные и высокотвердые материалы.* Основные виды, примеры, особенности состава и структуры.

## **2.2. Основные свойства материалов и методы исследования структуры и физических свойств материалов**

2.2.1. *Механические свойства материалов.* Влияние легирования, структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. Влияние скорости деформирования на характеристики прочности и пластичности. Поведение материалов под нагрузкой при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести. Релаксация напряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость. Триботехнические испытания.

Свойства мартенситно-старяющихся сталей и области применения.

2.2.2. *Термические свойства материалов.* Температуры и тепловые эффекты фазовых и структурных превращений, теплопроводность, теплоемкость, коэффициент термического расширения, методы их исследования. Методы термогравиметрического, дифференциально-термического анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии. Термическая и термоокислительная деструкция. Температурные поля и напряженное состояние тел (материалов). Влияние температурной зависимости физико-механических свойств на температурные напряжения.

Термостойкие материалы. Жаропрочные и жаростойкие материалы. Специальные сплавы на основе никеля. Термостойкие материалы на основе оксидной и бескислородной керамики.

2.2.3. *Особые электрические свойства проводников, полупроводников и диэлектриков, методы их исследования.* Электропроводность твердых тел. Проводниковые и полупроводниковые материалы. Материалы высокой проводимости: проводниковые, припой, сверхпроводники. Сплавы повышенного электросопротивления. Контактные материалы. Полупроводниковые материалы. Строение и свойства. Легирование полупроводников.

2.2.4. *Магнитные свойства материалов.* Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм. Магнитный гистерезис.

2.2.5. *Оптические свойства материалов.* Характеристики пропускания, поглощения, отражения, преломления, рассеяния, излучения света различными видами материалов. Принципы, виды и методы спектроскопии.

2.2.6. *Принципы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа.* Применение рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа для различных видов материалов.

2.2.7. *Текстурные характеристики материалов.* Удельная поверхность, пористость – характеристики, методы исследования.

## **2.3. Металлы и сплавы. Неметаллические материалы. Композиционные материалы. Наноматериалы и нанотехнологии. «Интеллектуальные» материалы.**

2.3.1. *Металлы и сплавы.* Сплавы с особыми свойствами – повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью, жаростойкостью, заданным (минимальным) коэффициентом термического расширения. Специальные сплавы на основе алюминия, меди, никеля, титана.

2.3.2. *Полимеры и материалы на их основе.* Классификация и структура полимерных материалов. Молекулярная структура полимеров, ее основные характеристики и методы исследования. Термические, физико-механические, адгезионные, фрикционные, антикоррозионные, диэлектрические свойства полимеров, их зависимости от состава и структуры полимеров, методы исследования. Пластмассы на основе термопластичных и терморезистивных полимеров. Методы переработки пластмасс в изделия. Резины – состав, технология изготовления, основные виды и области применения.

2.3.3. *Композиционные материалы.* Общая классификация композиционных материалов по химической природе компонентов (матрицы и наполнителя) и форме наполнителя (дисперсные, слоистые, волокнистые). Основные виды композитов на основе неорганических и органических (в т.ч. полимерных) материалов: методы изготовления, исследования и испытаний, основные характеристики и современные подходы к их улучшению. Способы моделирования структуры и свойств композиционных материалов. Механические свойства композиционных материалов, методы их расчета. Современные и перспективные области применения композиционных материалов.

2.3.4. *Особые свойства поверхности и поверхностного слоя материалов.* Поверхностный слой с измененной структурой и свойствами, его влияние на размерные эффекты и свойства наноматериалов. Виды неоднородности поверхности. Микро- и наношероховатость. Гидрофильно-гидрофобные свойства и поверхностная энергия. Функциональный состав поверхности. Методы исследования свойств поверхности материалов.

2.3.5. *Наноматериалы.* Общее определение. Классификация наноматериалов. Методы получения наноструктурированных материалов. Современные и перспективные области применения наноматериалов.

2.3.6. *Микроструктура неоднородных систем.* Представление о теории фракталов и ее применении при разработке наноматериалов и наноструктурированных систем. Принципы и методы расчета фрактальных характеристик. Представление о лакуарности как характеристике неоднородности структуры материалов.

2.3.7. *«Интеллектуальные» материалы.* Способность материалов к преобразованию различных видов энергии. Виды и примеры «интеллектуальных» материалов. Материалы с эффектом «памяти формы».

2.3.8. *Современные и перспективные материалы для аддитивных технологий.* Методы 3D-печати.

2.3.9. *Химическая стойкость материалов.* Факторы, влияющие на интенсивность коррозии, и методы защиты от нее.

2.3.10. *Сверхчистые материалы и методы их получения.*

### 3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

#### *Теоретические основы материаловедения*

1. Общая классификация современных и перспективных материалов
2. Общая классификация свойств материалов.
3. Влияние типа химической связи на свойства материалов.
4. Влияние содержания добавок (легирующих элементов) на свойства сплавов и композитов – общие закономерности.

#### *Особенности кристаллического и аморфного состояния вещества.*

5. Характеристики и дефекты кристаллической структуры, их влияние на свойства материалов.
6. Энергетические условия и термодинамика процесса кристаллизации. Самопроизвольная и несамопроизвольная кристаллизация.
7. Сущность и примеры полиморфизма.

#### *Особые свойства металлов. Структурные превращения и их характеристики.*

8. Структурные изменения в металлах в условиях холодной и горячей пластической деформации.
9. Механизм и стадии процесса рекристаллизации. Условия реализации направленной кристаллизации.
10. Условия термодинамического равновесия.
11. Фазовые и структурные превращения в твердом состоянии. Эвтектическое и перитектическое превращения.
12. Виды ликвации.
13. Изотермические и термокинетические диаграммы.
14. Сплавы с повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью.
15. Важнейшие сплавы на основе алюминия.
16. Важнейшие сплавы на основе меди.
17. Важнейшие сплавы на основе никеля.
18. Важнейшие сплавы на основе титана.

#### *Зонная теория твердых тел.*

19. Общее представление о зонной теории. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона.
20. Влияние электронного строения проводников на их свойства.
21. Влияние электронного строения и зонной структуры полупроводников на их свойства.
22. Влияние электронного строения и зонной структуры диэлектриков на их свойства.

#### *Механические свойства материалов.*

23. Влияние легирования на механические свойства сплавов. Примеры.
24. Влияние структуры концентраторов напряжений и масштабного фактора на характеристики механических свойств.
25. Механические свойства, определяемые при динамическом нагружении. при нагреве от комнатных температур до температуры рекристаллизации и выше.
26. Ползучесть, диаграммы ползучести, предел ползучести. Теория рекристаллизационной ползучести.
27. Длительная прочность, диаграммы длительной прочности, предел длительной прочности. Механизм хрупкого разрушения при ползучести.
28. Релаксация напряжений, диаграммы релаксации, релаксационная стойкость.

29. Триботехнические испытания.
30. Свойства мартенситно-стареющих сталей и области применения.
31. Высокопрочные и высокотвердые материалы. Основные виды, примеры, особенности состава и структуры.

*Термические свойства материалов.*

32. Температуры и тепловые эффекты фазовых и структурных превращений, методы их исследования.
33. Теплопроводность, теплоемкость, методы их исследования.
34. Коэффициент термического расширения. Материалы с минимальными и заданными значениями коэффициента термического расширения.
35. Методы термогравиметрического и дифференциально-термического анализа.
36. Дифференциальная сканирующей калориметрии.
37. Термическая и термоокислительная деструкция – особенности и методы исследования.
38. Температурные поля и напряженное состояние тел (материалов). Влияние температурной зависимости физико-механических свойств на температурные напряжения.
39. Термостойкие материалы. Жаропрочные и жаростойкие материалы.
40. Термостойкие материалы на основе оксидной и бескислородной керамики.

*Особые электрические и магнитные свойства материалов.*

41. Материалы высокой проводимости: проводниковые, припои, сверхпроводники, сплавы повышенного электросопротивления, контактные материалы.
42. Полупроводниковые материалы. Собственные и примесные (n- и p-типов) полупроводники, их особые свойства и области применения.
43. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм. Магнитный гистерезис.
44. Области применения материалов с особыми магнитными свойствами.

*Оптические свойства материалов.*

45. Характеристики пропускания, поглощения, отражения, преломления, рассеяния, излучения света.
46. Основные принципы и виды спектроскопии.
47. Вторичные излучения и основанные на них методы исследования материалов.
48. Виды люминесценции, люминесцентных и флуоресцентных материалов.
49. Принципы рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа. Применение рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа для различных видов материалов.

*2.3.2. Полимеры и материалы на их основе.*

50. Общая классификация полимерных материалов и их основные характеристики.
51. Молекулярная масса полимеров – методы ее измерения, классификация полимеров по ее значениям.
52. Термические свойства полимеров. Температура стеклования. Термопластичные и термореактивные полимеры.
53. Пластмассы – основные виды и характеристики, взаимосвязь состава и свойств.
54. Методы переработки пластмасс в изделия.
55. Резины – состав, технология изготовления, основные виды и области применения.

*Композиционные материалы.*

56. Общая классификация композиционных материалов по химической природе компонентов и форме наполнителя. Современные и перспективные области применения композиционных материалов.

57. Основные виды композитов на основе неорганических и органических материалов: методы изготовления, исследования и испытаний, основные характеристики и современные подходы к их улучшению.

58. Факторы, влияющие на свойства композитов.

59. Способы моделирования структуры и свойств композиционных материалов.

*Особые свойства поверхности и поверхностного слоя материалов.*

60. Поверхностный слой с измененной структурой и свойствами, его влияние на размерные эффекты и свойства наноматериалов.

61. Виды неоднородности поверхности.

62. Микро- и наносероховатость, методы их измерения.

63. Гидрофильно-гидрофобные свойства – методы их исследования. Расчет поверхностной энергии по результатам измерения краевых углов смачивания.

64. Функциональный состав поверхности и методы его исследования.

65. Удельная поверхность и методы ее измерения.

66. Пористость – характеристики, методы исследования.

*Наноматериалы.*

67. Общее определение и классификация наноматериалов.

68. Методы получения наноструктурированных материалов.

69. Современные и перспективные области применения наноматериалов.

*Микроструктура неоднородных систем.*

70. Характеристики однородности и неоднородности материалов.

71. Принцип фрактальности. Представление о теории фракталов и ее применении при разработке наноматериалов и наноструктурированных систем.

72. Принципы и методы расчета фрактальных характеристик.

73. Представление о лакунарности как характеристике неоднородности структуры материалов.

*«Интеллектуальные» материалы.*

74. Способность материалов к преобразованию различных видов энергии. Виды и примеры «интеллектуальных» материалов.

75. Эффект «памяти формы». Материалы, обладающие данным эффектом, и области их применения

*Современные и перспективные материалы для аддитивных технологий.*

76. Материалы, применяемые для аддитивных технологий, предъявляемые к ним требования.

77. Технологии 3D-печати.

*2.3.9. Химическая стойкость материалов.*

78. Факторы, влияющие на интенсивность коррозии.

79. Методы диагностики коррозионных разрушений.

80. Электрохимическая коррозия – механизм, примеры и методы защиты.

81. Химическая коррозия – механизм, примеры и методы защиты.

82. Методы предотвращения коррозии за счет оптимального проектирования.

83. Методы защиты от коррозии за счет воздействия на коррозионную среду.
84. Методы защиты от коррозии за счет воздействия на материал. Коррозионно-стойкое легирование.
85. Методы получения сверхчистых материалов.

#### **4. Рекомендуемая литература**

##### **а) печатные издания:**

1. Шевченко, А.А. Физикохимия и механика композиционных материалов : учеб. пособие для вузов/А.А. Шевченко. – Санкт-Петербург : Профессия, 2010. – 223 с. – ISBN: 978-5-91884-003-0
2. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: учебн. пособие/ А.П. Гаршин, С.М. Федотова. СПбГПУ. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2008. – 1009 с. – ISBN 978-5-7422-1853-1
3. Вихман, С.В. Физико-химические основы технологии наноструктурированных конструкционных керамических материалов : методические указания к лабораторным работам / С. В. Вихман, О. А. Кожевников. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 47 с.
4. Брыков, А.С. Химия силикатных и кремнеземсодержащих вяжущих материалов : учебное пособие / А.С. Брыков. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии строительных и специальных вяжущих веществ. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2011. – 144 с.
5. Введение в нанотехнологию: учебник / В.И. Марголин, В.А. Жабрев, Г.Н. Лукьянов, В.А. Тупик. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 457 с. – ISBN 978-5-8114-1318-8.
6. Основы материаловедения, коррозии и технологии материалов: учебное пособие / М.М. Сычев, В.Н. Коробко, Т.В. Лукашова, С.В. Мякин. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра теоретических основ материаловедения. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2011. – 94 с.
7. Основы нанотехнологии: учебник / Н.Т. Кузнецов, В.М. Новоторцев, В.А. Жабрев, В.И. Марголин. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 397 с. – ISBN: 978-5-9963-0853-8.

##### **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. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра аналитической химии. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 47 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Спектральные методы анализа. Практическое руководство : учебное пособие / В. И. Васильева [и др.] ; Под ред.: В. Ф. Селеменова и В. Н. Семенова. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021. – 413 с. – ISBN 978-5-8114-1638-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: по подписке.



3. Пантелеев, И. Б. Методы математического планирования эксперимента в технологии керамики [Текст]: учебное пособие / И. Б. Пантелеев, С. В. Вихман. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2012. – 71 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

4. Суворов, С. А. Процессы разрушения, оптимизация свойств и выбор высокотемпературных наноструктурированных материалов. Учебное пособие / С.А. Суворов, В.В. Козлов, Н.В. Арбузова. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии высокотемпературных материалов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 133 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

5. Орданьян, С. С. Проектирование состава, структуры и свойств керамических конструкционных наноматериалов: учебное пособие / С.С. Орданьян, А.Е. Кравчик. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 84 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 12.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

6. Козлов, В. В. Методы синтеза нанопорошков и наноструктур: методические указания / В.В. Козлов. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии высокотемпературных материалов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 16 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. Пользователей.

7. Медведева, И. Н. Гармонизованные с европейскими нормами стандарты на цементы : учебное пособие // И.Н. Медведева, В.И. Корнеев, Е.Ю. Алешунина. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии строительных и специальных вяжущих веществ. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2010. – 35 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

8. Орданьян, С. С. Теоретические основы управляемого спекания наноструктурных материалов : учебное пособие / С.С. Орданьян, И.Б. Пантелеев. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 33 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

9. Орданьян, С. С. Технология наноструктурированных керамических материалов. Новые керамические инструментальные материалы : учебное пособие / С.С. Орданьян, И.Б. Пантелеев. – Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии тонкой технической керамики. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 86 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 15.01.2021). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
2. Российская государственная библиотека - [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)
3. Российская национальная библиотека - [www.nlr.ru](http://www.nlr.ru)
4. Библиотека Академии наук - [www.rasl.ru](http://www.rasl.ru)
5. Библиотека по естественным наукам РАН - [www.benran.ru](http://www.benran.ru)
6. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - [www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека - [www.gpntb.ru](http://www.gpntb.ru)
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - [elibrary.ru](http://elibrary.ru)
9. Реферативная база данных научных публикаций Web of Science - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com)
10. Электронно-библиотечная система "Лань" <http://e.lanbook.com>
11. Программа для расчета термодинамических параметров химических реакций IVTANTHERMO