



Руководитель ОП

к.т.н, доцент

О.В. Кочнева

Составители:

Д.т.н., профессор

А.А. Попович

Д.т.н.

О.В. Толочко

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию Научно-техническим советом (протокол № 5 от «21» марта 2022 г.).

## **1. Область применения и нормативные ссылки**

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных требований по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

## **2. Структура вступительного экзамена**

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Программа содержит перечень тем (вопросов) по специальной дисциплине соответствующей научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Вступительное испытание по специальной дисциплине состоит из двух блоков:

- теоретический экзамен, проводимый очно в письменной и/или устной форме (максимальный балл – 100);

- портфолио (максимальный балл – 100).

Минимальное количество баллов для теоретического экзамена составляет 50 баллов.

При получении по теоретическому экзамену результата ниже минимального балла, портфолио не рассматривается и не суммируется с результатом теоретического экзамена.

### **2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио**

Максимальная возможная оценка за индивидуальные достижения (портфолио) составляет 100 баллов.

Для участия в конкурсе оценки индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может представить следующие документы, подтверждающие его достижения:

а. Доклады на международных и российских конференциях, научных семинарах, научных школах и т.д. по направлению будущего диссертационного исследования. Подтверждается представлением программы конференции, диплома (сертификата) участника.

б. Опубликованные или принятые к публикации научные работы (статьи, доклады в сборниках докладов). Подтверждается представлением электронных копий подлинников, ссылкой на открытые источники, справкой из редакции о принятии к публикации с обязательным указанием номера журнала и страниц. Публикации должны относиться к тому же направлению, что и тема будущего диссертационного исследования.

с. Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.

д. Участие в научно-исследовательских проектах, академических грантах. Подтверждается данными проекта (название, номер гранта, фонд), контактными данными руководителя проекта и краткой аннотацией (не более 200 слов), разъясняющей суть работы абитуриента.

**Перечень достижений портфолио, учитываемых при приеме на обучение**

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе):	Копия статьи с выходными данными журнала, DOI, URL	
	в журналах перечня ВАК;		10
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;		25
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.		15
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:	Копия подписанного соглашения с грантодателем	
	руководителем		10
	исполнителем		5
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:	Копия патента или свидетельства	
	– патент на изобретение;		10
	– патент на полезную модель;		7
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;		5
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;		5
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.		5

№ п/п	Индивидуальное достижение	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему. Тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе:	Копии материалов конференций (тезисов докладов) с приложением титульных листов, DOI, URL (при наличии)	
	за конференцию, индексируемую в базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных).		5
	за прочие конференции.		3
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру.	Копия диплома	3

Оценка индивидуальных достижений проводится на собеседовании.

## 2.2. Структура и процедура проведения теоретического экзамена

Максимальная возможная оценка за теоретический экзамен составляет 100 баллов. Собеседование состоит из двух частей.

1) Ответ на вопросы в соответствии с научной специальностью будущей научно-исследовательской работы (диссертации).

Абитуриент выбирает билет, содержащий два вопроса из представленных в программе собеседования тем.

Абитуриенту предоставляется 30 минут на подготовку. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2) Беседа по планируемому направлению исследований. Абитуриенту необходимо раскрыть следующие вопросы: предполагаемая тема научно-исследовательской работы, формулировка проблемы, цели ее исследования, новизна. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

## 2.3. Перечень тем для теоретического экзамена

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика и химия (раздел металлические материалы), кристаллография и дефекты кристаллического строения, теория и технология термической обработки, теория гетерогенных сред,

моделирование материалов и процессов их получения и обработки, физические методы исследования материалов, механические свойства металлов и сплавов.

### **Строение металлов и сплавов**

Основные типы связи атомов в твердых телах. Металлическая связь. Электронное строение и физические свойства металлов. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения (фазы Юм-Розери), фазы внедрения, интерметаллидные фазы. Правило фаз Гиббса. Диаграммы состояния двойных и тройных систем.

### **Кристаллическое строение и его дефекты**

Основные типы кристаллических решеток. Элементарные ячейки. Индексы направлений и плоскостей в кристаллической решетке. Анизотропия свойств кристаллов. Типы дефектов кристаллического строения.

### **Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах в твердом состоянии**

Классификация фазовых и структурных превращений. Фазовые превращения I и II рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения. Строение и механизм движения поверхностей раздела фаз. Сдвиговое (бездиффузионное) и нормальное (диффузионное) превращения. Термодинамический и кристаллографический анализ мартенситного превращения. Механизм и кинетика эвтектоидного превращения. Упорядочение твердого раствора. Дальний и ближний порядок. Изменение свойств сплавов при упорядочении.

Образование и распад метастабильных фаз. Распад пересыщенного твердого раствора. Спинодальное расслоение. Термодинамика образования промежуточных фаз. Структурные изменения при старении (кластеры, зоны Гинье-Престона, промежуточные метастабильные фазы, модулированные структуры). Когерентные, частично когерентные и некогерентные выделения. Формы выделений. Непрерывный и прерывистый распад.

### **Металлургические процессы получения полуфабрикатов и изделий**

Виды технологии литейного производства. Структура и свойства жидких металлов. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов, критический размер зародыша. Концентрационное переохлаждение. Эвтектическая кристаллизация. Влияние скорости кристаллизации на строение сплавов. Строение металлического слитка. Модифицирование структуры литых сплавов. Образование метастабильных фаз при кристаллизации. Бездиффузионная кристаллизация. Металлические стекла. Методы получения монокристаллов из расплава. Металлургия гранул. Способы обработки металлов давлением. Влияние температуры, схемы и степени деформации на сопротивление деформации, структуру и свойства металлов и сплавов. Виды сварки металлов и сплавов. Структура и свойства сварных соединений.

### **Термическая обработка**

Классификация видов термической обработки. Гомогенизационный отжиг. Изменение структуры и свойств сплавов при гомогенизационном отжиге. Дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг. Отдых. Полигонизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Механизм и кинетика отдыха, виды полигонизации и рекристаллизации, влияние на них предшествующей пластической деформации, примесей, температуры и продолжительности отжига. Параметры полигонизованной и рекристаллизованной структуры. Критическая степень деформации. Диаграммы рекристаллизации. Закономерности и природа изменения механических и

физических свойств при отжиге после холодной деформации. Текстура деформации, первичной, собирательной и вторичной рекристаллизации, механизм ее образования. Анизотропия свойств текстурованных металлов.

Отжиг для уменьшения остаточных напряжений. Механизм снижения остаточных напряжений при нагревании. Фазовые превращения при нагреве. Структурная наследственность.

Закалка без полиморфного превращения. Старение. Природа упрочнения при старении. Влияние температуры и продолжительности старения на механические и физические свойства сплавов. Перестаривание, ступенчатое старение. Влияние температуры нагрева под закалку и скорости охлаждения на формирование структуры и свойств сплавов при старении. Возврат при старении. Прессэффект (структурное упрочнение).

Закалка с полиморфным превращением. Микроструктура и субструктура мартенсита. Изменение структуры и свойств при закалке. Упрочнение и изменение пластичности при закалке на мартенсит. Критическая скорость охлаждения при закалке, прокаливаемость. Бейнитное превращение. Строение бейнита. Изотермическая закалка.

Отпуск. Изменение микроструктуры, субструктуры и фазового состава при отпуске. Обратимая и необратимая отпускная хрупкость.

### **Термомеханическая обработка. Химико-термическая обработка**

Термомеханическая обработка. Структурные изменения при пластической деформации. Динамическая полигонизация и динамическая рекристаллизация. Возврат и рекристаллизация после горячей деформации.

Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка. Термомеханическая обработка дисперсионно-твердеющих сплавов.

Химико-термическая обработка. Элементарные процессы при химико-термической обработке. Структура диффузионных слоев и ее связь с диаграммой состояния.

Азотирование, цементация, нитроцементация, алитирование, хромирование, борирование, сульфидирование, силицирование. Термоводородная обработка.

### **Технология термической обработки**

Современное оборудование для закалки, отжига, отпуска, химико-термической и других видов термической обработки сталей и сплавов.

Агрегаты непрерывного отжига и закалки. Автоматизация полного цикла термической обработки.

Способы достижения высоких скоростей нагрева и охлаждения изделий при термической обработке. Внутренние напряжения и деформация изделий при термической обработке. Нагрев при термической обработке изделий в защитных средах и вакууме.

Дефекты термической обработки. Газонасыщение и его влияние на структуру и свойства сплавов. Методы борьбы с поводками и короблением.

### **Упругая и пластическая деформация. Разрушение**

Диаграммы деформирования моно- и поликристаллов, многофазных сплавов. Механизмы упругой и пластической деформации. Деформационное упрочнение, влияние на него температуры и скорости деформации. Понятия предела упругости и предела текучести. Эффект Баушингера. Упрочнение при образовании твердых растворов и при выделении избыточных фаз (когерентных и некогерентных).

Влияние размера зерна на механические свойства. Сверхпластичность. Псевдоупругость. Неупругость.

Хрупкое и вязкое разрушение. Схемы зарождения трещин. Распространение трещин при хрупком и вязком разрушении. Формула Гриффитса. Природа хладноломкости. Схема Иоффе и понятие «порог хладноломкости». Строение изломов.

Ползучесть. Механизмы и стадии ползучести. Релаксация напряжений. Кратковременная и длительная прочность. Влияние состава и структуры сплавов на ползучесть.

Усталостная прочность. Диаграммы усталости. Механизм усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Контактная усталость. Износ.

### **Методы исследования и контроля структуры и свойств металлов**

Методы изучения микроструктуры. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии. Электронная микроскопия (метод реплик, дифракционная микроскопия разных видов фольги, сканирующая микроскопия, микродифракция). Рентгеноструктурный и электронно-графический анализ. Микрорентгеноспектральный анализ. Локальный анализ состава по электронным спектрам.

Методы измерения физических свойств (термический анализ, калориметрия, dilatометрия, измерение плотности, магнитный анализ и др.).

Механические свойства металлов и сплавов. Методы измерения механических свойств металлов и сплавов. Статические и динамические испытания. Испытания на ползучесть, длительную прочность и релаксацию напряжений. Усталостные испытания. Методы определения твердости и микротвердости.

Промышленные стали и сплавы (основы легирования и термической обработки, свойства, области применения)

Стали. Классификация сталей по структуре, составу, назначению.

Чугуны и их классификация. Модифицирование чугунов.

Алюминий и его сплавы. Титан и его сплавы. Медь и ее сплавы. Никель и его сплавы. Магний и его сплавы. Цинк и его сплавы. Легкоплавкие сплавы. Сплавы на основе тугоплавких и редких металлов.

Сплавы с особыми физическими свойствами: высоким и низким электросопротивлением, магнитно-твердые и магнитно-мягкие стали и сплавы, сплавы с особыми упругими и тепловыми свойствами. Сверхпроводящие сплавы. Сплавы с эффектом запоминания формы и сверхупругости. Сплавы высокого демпфирования. Теплостойкие и жаропрочные стали и сплавы.

### **Управление качеством металлургической продукции**

Показатели качества продукции в металлургическом производстве, а именно: требования к химическому составу сталей и сплавов, включая допустимые отклонения содержания элементов от установленных значений; требования к структуре сталей и сплавов в исходном состоянии и после термической обработки; требования по механическим свойствам при стандартизованных видах испытаний на растяжение, твердость, ударный изгиб и др., взаимосвязь механических свойств Действия в промышленном производстве с продукцией, не соответствующей установленным требованиям.

Работоспособность конструкционных материалов при проектировании, освоении производства и эксплуатации изделий: вязкость разрушения (трещиностойкость),

длительная прочность, ползучесть, сопротивление циклическим нагрузкам; натурные (эксплуатационные) испытания; жаропрочность; взаимодействие с окружающей средой (окисление и коррозия); эксплуатационный ресурс и остаточный ресурс изделий.

Управление качеством промышленной продукции. Элементы системы качества в металлургическом производстве. Статистический анализ баз данных показателей качества и работоспособности металлургической продукции: установление технических требований для приемного контроля качества сталей и сплавов (объем испытаний, оборудование, документация); установление регламентов действий с продукцией, не соответствующей установленным требованиям; оценка эксплуатационного ресурса изделий на основе ускоренных и натуральных испытаний.

### **Жаропрочные сплавы**

Понятие жаропрочность и жаростойкость. Принципы легирования жаропрочных сплавов (диаграммы состояния, структура, тип упрочнения). Длительная прочность и ползучесть. Методы оценки работоспособности жаропрочных сплавов. Механизмы окисления сплавов при высоких температурах. Сплавы на основе никеля. Сплавы на основе системы железо- хром-никель. Сплавы на основе интерметаллидов. Методы получения жаропрочных сплавов и готовых изделий из них. Технологические свойства жаропрочных сплавов. Области применения и условия эксплуатации жаропрочных жаростойких сплавов.

## **2.4. Перечень вопросов для теоретического экзамена**

1. Кристаллическое состояние металлов. Типичные кристаллические структуры. Основные характеристики кубических и гексагональных решеток.
2. Принципиальные различия между хрупким и вязким разрушением.
3. Контролируемая прокатка. Особенности структурообразования.
4. Твердые растворы замещения и внедрения. Упорядоченные твердые растворы. Электронные соединения, фазы Лавеса, фазы внедрения.
5. Процессы азотирования сталей. Структура диффузионного слоя.
6. Гомогенные и гетерогенные превращения. Два типа флуктуаций по классификации Гиббса. Спинодальный распад. Упорядочение.
7. Плавление и затвердевание. Гомогенное и гетерогенное зарождение кристаллов. Формы роста кристаллов. Ликвационные явления.
8. Особенности структурообразования при высокоскоростном нагреве под термическую обработку (закалка ТВЧ, лазерная и плазменная закалка).
9. Бездиффузионные фазовые превращения. Нормальные превращения. Атермический рост. Мартенситные превращения. Массивные превращения.
10. Точечные дефекты. Вакансии и межузельные атомы. Образование и миграции вакансий. Поведение вакансий при закалке и отжиге металлов и сплавов.
11. Деформационно-термическая обработка сталей. ВТМО, НТМО и НТМИзО сталей. Особенности структурообразования.
12. Напишите формулу Гриффитса. Объясните ее смысл и практическое значение.
13. Дислокации. Плотность дислокаций. Частичные и полные дислокации. Дислокационные реакции. Дефекты упаковки. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами.
14. Процессы хромирования и алитирования сталей. Структура диффузионных слоев.

15. Особенности фазовых превращений в твердом состоянии. Классификация фазовых превращений (по Кристиану). Межфазные границы и энергия межфазных границ. Типы межфазных границ: когерентная, полукogerентная, некогерентная.
16. Процессы возврата и рекристаллизации деформированного металла. Полигонизация, статическая и динамическая рекристаллизация. Диаграммы рекристаллизации.
17. Коррозионная стойкость исследуемых сплавов.
18. Термоактивируемый рост. Диффузионно-контролируемый рост. Рост, контролируемый процессами на межфазной границе. Непрерывные и прерывистые выделения.
19. Эвтектические и эвтектоидные превращения. Механизм и кинетика.
20. Закалка сталей и сплавов без полиморфного превращения. Процессы старения после закалки. Зоны Гинье-Престона. Кogerентные, частично когерентные и некогерентные выделения избыточных фаз.
21. Дефекты кристаллического строения материалов, классификация дефектов.
22. Кристаллическое строение материалов. Плотнейшие упаковки. Индексы плоскостей и направлений. Анизотропия свойств кристаллических материалов. Аморфные металлические сплавы.
23. Химико-термическая обработка сталей. Термодинамика взаимодействия газ-металл в процессах диффузионного насыщения поверхности легирующими элементами.
24. Эффект Баушингера.
25. Гомогенизационный отжиг литого металла.
26. Три типа кинетики при диффузионном насыщении поверхности элементами внедрения и замещения.
27. Объясните и расшифруйте характеристики механических свойств металлов и сплавов:  $E$ ,  $G$ ,  $K$ ,  $v$ .
28. Процессы хромирования и алитирования сталей. Структура диффузионных слоев.
29. Описание структуры сплавов в исходном состоянии и после термической обработки.
30. Напишите формулу Гриффитса. Объясните ее смысл и практическое значение.

## 2.5. Критерии оценки теоретического экзамена

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по сто бальной шкале.

**100 баллов** выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике.

**75 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

**50 баллов** выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

**0 баллов** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний.

### **2.6.Список рекомендуемой литературы**

1. Гуляев А.П. *Металловедение: Учебник для вузов.* М.: *Металлургия*, 1986.
2. Новиков И.И., Розин К.М. *Кристаллография и дефекты кристаллической решетки: Учебник для вузов.* М.: *Металлургия*, 1990.
3. Новиков И.И. *Теория термической обработки металлов. Учебник для вузов.* М.: *Металлургия*, 1992.
4. Золотаревский В.С. *Механические свойства металлов.* М.: *Изд-во МИСиС*, 1998.
5. Кондратьев С.Ю. *Механические свойства металлов: Учебное пособие.* СПб.: *Изд-во Политехн. ун-та*, 2011.
6. Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. *Управление качеством промышленной продукции.* СПб.: *Наука*, 2014.

### **Дополнительная литература**

1. Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. *Металловедение, термическая обработка и рентгенография.* М.: *Изд-во МИСиС*, 1994.
2. *Технология термической обработки цветных металлов и сплавов: Учебник для вузов / Б.А. Колачев и др.* М.: *Металлургия*, 1992.
3. Ильин А.А. *Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах.* М.: *Наука*, 1994.
4. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. *Физические свойства металлов и сплавов.* М.: *Металлургия*, 1980.
5. *Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общей ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина.* 3-е изд., перераб. и доп. М.: *Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2001.
6. Анастасиади Г.П., Сильников М.В. *Неоднородность и работоспособность стали.* СПб.: *ООО «Изд-во «Полигон»*, 2002.

## Приложение

### Сведения об достижениях портфолио кандидата для поступления по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре СПбПУ

(Ф.И.О. кандидата для поступления в аспирантуру)			
(научная специальность)			
№ п/п	Индивидуальное достижение	Количество баллов за каждое достижение	Рейтинговая оценка показателя, общий балл
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе): в журналах перечня ВАК;	10	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q1 или Q2;	25	
	в журналах индексируемых в Scopus и (или) WoS (в том числе входящих в базу данных RSCI) Q3 или Q4.	15	
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:		
	руководителем,	10	
	исполнителем.	5	
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности:		
	– патент на изобретение;	10	
	– патент на полезную модель;	7	
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.	5	
4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе): за конференцию, индексируемую в базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных);	5	
	за прочие конференции.	3	
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру	3	
<b>Суммарный рейтинговый балл</b>			

Кандидат в аспирантуру

\_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(Ф.И.О).

Предполагаемый научный руководитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(Ф.И.О).

Руководитель образовательных программ по аспирантуре института

\_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_

(Ф.И.О).