

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт
конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина

Отдел подготовки научных кадров



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
НИЦ «Курчатовский институт» -
ЦНИИ КМ «Прометей»

А.С. Орыщенко

Введена в действие
приказом генерального директора
от « 30 » 12 2021 г. № 218

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

по специальной дисциплине
«Материаловедение»

Научная специальность **2.6.17 «Материаловедение» (технические науки)**

Форма обучения – **очная**

Санкт – Петербург
2022 г.

Составители программы:

д.т.н., профессор Марголин Б.З.; д.т.н. Каштанов А.Д.; д.т.н., профессор Цуканов В.В.; д.т.н. Анисимов А.В.; д.т.н. Мушникова С.Ю.; д.т.н. Кузнецов П.А.; к.т.н. Ставицкий О.А.

Программа одобрена на заседании секции научно-методической комиссии по металлургическим специальностям и материаловедению (металлические, неметаллические, функциональные материалы) протокол №4 от 23.12.2021 г.

Председатель  д.т.н., профессор Цуканов В.В.

Согласовано:

Начальник отдела подготовки научных кадров

 Г.М.Орлова

«23» 12 2021 г.

ЧАСТЬ 1. «Металлические материалы в машиностроении».

Материаловедение как ветвь знаний о природе. Взаимосвязи химического строения веществ, структуры и совокупности свойств. Внешние факторы, определяющие изменение структуры материалов. Основные методы исследования.

1. Кристаллическое строение металлов.

1.1. Строение атомов на примере теории атома водорода. Модель бора.

1.2. Модель идеального атома кристалла. Силы, действующие на атом. Кристаллическая решетка и ее характеристики. Элементарная ячейка, кристаллические системы и решетки Браве.

1.3. Описание кристаллических решеток с помощью индексов узлов и направлений. Индексы Миллера.

1.4. Электронная структура и периодическая система элементов. Кристаллическое состояние. Основные типы связи в кристаллах: ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

1.5. Типичные атомно – кристаллические структуры металлов: кубическая гранецентрированная, гексагональная плотно-упакованная и кубическая объемно - центрированная, пустоты в ГЦК, ГПУ и ОЦК решетках. Коэффициент компактности, координационное число. Анизотропия свойств кристаллов.

2. Реальное строение металлических кристаллов.

2.1. Определение структуры реального кристалла. Метрическая (пространственная) классификация внутреннего строения. Представление о микро-, мезо- и макроскопическом масштабе структуры. Определение нульмерных, линейных, планарных и объемных дефектов кристаллического строения твердых тел.

2.2. Нульмерные дефекты. Точечные дефекты: вакансии, межузельные атомы, атомы внедрения, атомы замещения. Миграции точечных дефектов. Источники вакансий (механизмы Френкеля и Шотке). Зависимость концентрации вакансий от температуры. Дивакансии и другие комплексные дефекты.

2.3. Линейные дефекты. Основные типы дислокаций. Краевые дислокации, их скольжение и переползание. Винтовые дислокации, их скольжение. Смешанные дислокации. Вектор Бюргера. Ориентация дислокаций разных типов по отношению к вектору Бюргера. Определение плотности дислокаций.

2.4. Энергия неподвижной дислокации. Линейное натяжение. Силы, действующие на дислокацию. Упругое взаимодействие дислокаций.

2.5. Дислокации полные и частичные. Диссоциация и объединение дислокаций. Критерий Франка. Плотная упаковка атомов в кристаллах с решётками ГЦК и ГПУ. Типичные дефекты упаковок в ГЦК, ГПУ и ОЦК решётках. Понятие о частичных дислокациях Шокли, Франка и Логнера–Коттрелла. Стандартный тетраэдр Томпсона.

2.5. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами и вакансиями. Понятие об атмосферах Коттрелла, Снука и Сузуки. Образование и размножение дислокаций. Сетки дислокаций. Плотность дислокаций. Источник Франка-Рида.

2.6. Основные механизмы упрочнения материалов. Стадии упрочнения поликристаллов. Типы дислокационных структур на различных стадиях упрочнения. Границы зерна и упрочнение. Фрагментация зерен.

2.7. Планарные дефекты. Дислокационная модель малоугловых границ. Полигонизация. Большеугловые границы. Модель повторяющихся углов. Дефекты упаковки. Двойники.

2.8. Диффузия в твердых металлах и сплавах. Законы диффузии. Самодиффузия и гетеродиффузия. Механизм диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Восходящая диффузия.

2.9. Чистые металлы. Химические соединения. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Фазы внедрения. Упорядоченные твердые растворы. Дальний и ближний порядок. Электронные соединения. Фазы Лавеса, σ -фазы (на примере сплавов железо-хром).

3. Кристаллизация металлов и сплавов.

3.1. Кристаллизация чистых металлов. Кривые охлаждения. Скрытая теплота кристаллизации. Переохлаждение. Термодинамика процесса. Механизм и кинетика процесса кристаллизации. Зарождение центров кристаллизации. Критический размер зародыша. Скорость роста кристаллов. Строение слитков спокойной и кипящей стали. Неметаллические включения.

3.2. Правило фаз. Диаграммы состояния бинарных сплавов для случаев полной растворимости в жидком состоянии и при отсутствии растворимости в твердом состоянии, при частичной и полной растворимости в твердом состоянии (I, II, III тип). Правило отрезков. Диаграммы с перитектическим превращением, с устойчивым и неустойчивым химическим соединением. Простейшие диаграммы состояния тройных систем.

4. Наклеп и рекристаллизация.

Изменение структуры и свойств металла под влиянием пластической деформации и температурного воздействия. Отдых и полигонизация. Первичная и собирательная рекристаллизация. Текстуры. Зависимость роста зерен от степени наклепа и температуры. Диаграмма рекристаллизации. Термомеханическая обработка стали и сплавов.

5. Сплавы железа с углеродом.

5.1. Диаграмма железо – углерод. Железо и его аллотропические модификации. Магнитное превращение, превращения, происходящие в стали при застывании и плавлении в области перитектического превращения, вне его и в области существования эвтектики. Структурные составляющие железо – углеродистых сплавов: аустенит, цементит, ледебурит, феррит, перлит, вторичный и третичный цементит.

5.2. Стали доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. Белые и серые чугуны. Графит и его формы. Типичные структуры стали и чугуна.

6. Термическая обработка стали.

6.1. Классификация видов термической обработки. Термодинамика фазовых превращений. Роль строения межфазных границ при фазовых превращениях. Гомогенное и гетерогенное зарождение фаз. Кинетика диффузионных фазовых превращений.

6.2. Отжиг стали. Образование аустенита при нагреве стали. Измельчение зерна в критическом интервале и последующий рост зерна в аустенитной области. Мелкозернистая и крупнозернистая сталь. Превращение аустенита при последующем охлаждении. Диффузионные превращения аустенита при непрерывном охлаждении и при изотермических выдержках. Термокинетические и изотермические диаграммы превращения аустенита. Влияние легирования на кинетику фазовых и структурных превращений. Явление структурной наследственности и способы измельчения зерна в стали.

6.3. Закалка стали. Особенности мартенситного превращения. Механизм перестройки ГЦК решётки аустенита в ОЦК решётку мартенсита по Бейну и Курдюмову. Тетрагональность решетки мартенсита в зависимости от содержания углерода. Зависимость начала и конца мартенситного превращения от содержания углерода. Остаточный аустенит. Микроструктура и тонкая структура мартенсита. Кинетика мартенситного превращения. Влияние деформации на мартенситное превращение. Пакетный (дислокационный) и пластинчатый (двойниковый) мартенсит.

Бейнитное превращение. Верхний и нижний бейнит. Строение бейнита. Кинетика бейнитного превращения и его механизм.

Прокаливаемость стали. Критическая скорость охлаждения. Определение прокаливаемости. Температура нагрева под закалку доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали.

Внутренние напряжения, возникающие при закалке. Дефекты закалки. Способы закалки.

6.4. Отпуск стали. Превращения при отпуске стали. Дилатометрическая кривая отпуска. Выделение промежуточных карбидов. Образование цементита и его последующая коагуляция. Распад остаточного аустенита. Отпускная хрупкость I и II рода. Их природа. Влияние молибдена и примесей. Закалка с низким и высоким отпуском.

6.5. Старение после закалки. Структурные изменения при старении. Типы выделений и их форма. Кластеры. Дисперсионное твердение. Зоны Гинье-Престона. Кинетика выделений при старении. Коагуляция выделений. Физическая природа упрочнения при старении.

7. Химикотермическая обработка.

Цементация. Азотирование. Стали, применяемые для азотирования. Цианирование. Диффузионная металлизация.

8. Углеродистые стали.

Влияние углерода, марганца, кремния, фосфора, серы и алюминия на свойства стали. Влияние газов – водорода, азота, кислорода. Неметаллические включения. Стали кипящие, полуспокойные и спокойные. Конструкционная сталь общего назначения. Инструментальная сталь. Холоднокатанная сталь (ленты, листы). Проволока.

9. Специальные стали.

9.1. Влияние легирующих элементов на границы существования аллотропических модификаций железа. Элементы сужающие и расширяющие область существования аустенита. Диаграммы состояния бинарных сплавов железа с никелем, марганцем, хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием, кремнием, алюминием. Распределение легирующих элементов в сталях и их влияние на свойства феррита. Состав карбидной фазы в легированных сталях. Влияние легирующих элементов на кинетику распада аустенита в изотермических условиях и при непрерывном охлаждении, мартенситное и бейнитное превращения и на превращения, протекающие при отпуске закаленной стали.

9.2. Конструкционные легированные стали. Проявление отпускной хрупкости I и II рода, высокотемпературной отпускной хрупкости и методы борьбы с ней. Стали для цементации. Улучшаемые стали с низким и средним содержанием углерода. Мартенситостареющие стали. Стали для пружин. Шарикоподшипниковая сталь. Флокены. Шиферный излом и другие специфические пороки легированных сталей. Причины образования дефектов и возможность их устранения.

9.3. Инструментальные стали пониженной и повышенной прокаливаемости. Штамповые стали. Быстрорежущие стали.

9.4. Нержавеющие стали. Хромистые стали. Хромоникелевые аустенитные стали. Явление интеркристаллитной коррозии и коррозионного растрескивания. Высокопрочные стали аустенитного класса. Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы.

9.5. Износостойкие стали и сплавы. Графитизированная сталь. Сталь Гатфильда.

10. Титан и его сплавы.

Титан и его свойства. Аллотропические модификации титана. Влияние на титан постоянных примесей водорода, кислорода, азота, углерода. Легирование титана. α - стабилизаторы, β - стабилизаторы. Фазовые превращения в титановых сплавах при медленном и быстром охлаждении и влияние на них основных легирующих элементов. Промышленные сплавы титана. Коррозионная стойкость титана и его сплавов.

11. Алюминий и его сплавы.

Алюминий и его свойства. Влияние на алюминий постоянных примесей железа и кремния. Сплав алюминия с медью и его упрочнение путем применения закалки с последующим старением. Механизм старения. Зоны Гинье-Престона. Выделение стабильного соединения CuAl_2 и его коагуляция. Влияние легирующих элементов на процессы, происходящие при термической обработке алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы. Дюралюминий. Литые сплавы. Силумин.

12. Медь и ее сплавы.

Медь и ее свойства. Сплавы меди с цинком, оловом, алюминием.

13. Механические свойства металлов.

13.1. Напряженное и деформированное состояния. Нормальные и касательные напряжения. Схемы напряженных состояний. Удлинения и сдвиги. Упругая деформация. Закон Гука. Модуль нормальной упругости и коэффициент Пуассона. Пластическая деформация. Скольжение и двойникование.

13.2. Роль концентраторов напряжений в развитии повреждаемости материала. Примеры технологических концентраторов напряжений. Пластическая деформация и разрушение. Силовой и энергетический критерий. Трещина Гриффитса. Пластическая зона в вершине трещины.

13.3. Остаточные напряжения в металлоконструкциях. Причины возникновения

остаточных напряжений и методы контроля напряженно- деформированного состояния в деталях и узлах машиностроения.

13.4. Хрупкое и вязкое состояния при разрушении металлов. Специфика влияния надреза на хрупких и вязких материалах. Схема Иоффе.

Схема Давиденкова. Влияние напряженного состояния. Схема Фридмана. Масштабный фактор. Влияние температуры и скорости деформации на разрушение металла.

13.5. Теории кривых деформирования. Факторы, влияющие на их форму. Механическая и физическая интерпретация кривых деформирования. Диаграмма деформирования металлов с ГЦК, ОЦК и гексагональной плотной упаковкой.

13.6. Испытания на растяжение. Условные и действительные напряжения. Диаграммы растяжения. Характеристики, определяемые при растяжении. Пределы пропорциональности, упругости и текучести и их определение. Временное сопротивление разрыву. Равномерное и полное относительное удлинение. Относительное сужение. Работа деформации. Машины для испытаний растяжением.

13.7. Прочие статические испытания. Испытания на изгиб и кручение. Твердость металла. Определение твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу. Микротвердость.

13.8. Динамические испытания. Влияние надреза на прочность хрупких и вязких материалов. Распределение напряжений при изгибе надрезанного образца. Хрупкое и вязкое состояния. Влияние формы, глубины надреза и ширины образца. Влияние температуры испытания и скорости приложения нагрузки. Серийные испытания на удар при понижающихся температурах. Хладноломкость. Хладноломкие и нехладноломкие металлы.

13.9. Испытания на усталость. Испытания при знакопеременных напряжениях при чистом изгибе вращающегося образца и на консольных образцах. Испытания растяжением и сжатием. Малоцикловая усталость.

Кривые усталости и их построение. Кривые повреждаемости. Упругий и пластический гистерезис при циклических испытаниях. Связь предела усталости с характеристиками прочности. Механизм усталостного напряжения. Вид усталостного излома.

13.10. Испытания на ползучесть и длительную прочность. Предел ползучести и длительной прочности. Три стадии ползучести. Механизмы деформации при ползучести. Скольжение внутри зерен и по их границам. Упрочнение и разупрочнение. Влияние температуры испытания. Релаксация напряжений.

13.11. Определение износа материала, его основные типы и механизмы изнашивания. Факторы, определяющие износ.

13.12. Основы фрактографии. Классификация видов изломов с учетом геометрического фактора, морфологии поверхности разрушения, характера нагружения, механизма деформации и энергоемкости разрушения.

ЧАСТЬ II. «Неметаллические материалы в машиностроении».

1. Полимеры и пластические массы.

1.1. Классификация полимерных материалов. Понятие "Пластические массы" (ПМ). Области применения ПМ. Основные виды сырья для производства полимеров и ПМ на их основе. Термопластичные и термореактивные материалы (полимеры). Механические, диэлектрические, теплофизические, триботехнические свойства термопластов и реактопластов. Влияние химического строения на свойства термопластов и реактопластов. Старение полимерных материалов под действием атмосферных факторов, воды и агрессивных сред. Стойкость ПМ к криогенным и повышенным температурам.

1.2. Наполненные и ненаполненные ПМ. Модификация полимерных материалов. Методы переработки ПМ в изделия: экструзия, литьё под давлением, прессование, вакуум-формование, контактное формование. Влияние технологических параметров переработки на свойства ПМ. Особенности конструирования изделий из ПМ.

2. Физико-химические основы высокомолекулярных соединений.

Особенности строения высокомолекулярных соединений. Внутри- и межмолекулярное взаимодействие. Гибкость макромолекул. Надмолекулярная структура ВМС. Высокоэластическое, стеклообразное, вязкотекучее, кристаллическое и аморфное состояние ВМС.

3. Методы исследования полимеров.

3.1. Химический анализ. Спектральные методы исследования молекулярной структуры. Электронная микроскопия. Дериватографический метод исследования. Методы кратковременных статических, длительных и динамических испытаний. Технологические испытания. Определение диэлектрических и триботехнических свойств. Ультразвуковая дефектоскопия.

3.2. Основы трибологии (учения о трении). Определение износа материала, его основные типы и механизмы изнашивания. Факторы, определяющие износ. Закон Амонтона. Избирательный перенос и эффект безызносности.

3.3. Санитарно-гигиенические характеристики полимерных материалов. Электризуемость пластических масс и гигиеническое значение этого явления. Влияние исходных компонентов, применяемых при изготовлении пластических масс на их гигиенические свойства.

4. Композиционные конструкционные и антифрикционные материалы.

4.1. Композиты с полимерной матрицей (ПКМ). Химическое строение, процессы отверждения и свойства полимерных матриц (эпоксидных, полиэфирных, фенолформальдегидных, кремнийорганических).

4.2. Армирующие материалы - стекловолокна, углеродные волокна (высокомодульные и низкоимодульные), органические волокна.

Влияние структуры армирующих материалов на свойства ПКМ. Технология получения и переработки ПКМ (прессование, контактное формование, вакуумное формование, намотка). Влияние технологии изготовления на прочность, водостойкость ПКМ, несущую способность конструкций из неметаллических материалов.

4.3. Механические свойства ПКМ (кратковременная, длительная, усталостная прочность, ударостойкость).

Влияние концентраторов напряжений на несущую способность конструкций. Механизмы разрушения ПКМ (стеклопластиков, углепластиков, органоластиков).

Анизотропия свойств ПКМ. Принципы конструирования изделий из

ПКМ. Эксплуатационные свойства ПКМ (термо- и огнестойкость, атмосферостойкость, водостойкость, стойкость к агрессивным средам).

4.4. Кинетика водопоглощения. Влияние температуры воды, гидростатического давления, химического строения полимерной матрицы и армирующих материалов на

кинетику водопоглощения и изменение механических и диэлектрических свойств ПКМ. Триботехнические свойства антифрикционных углепластиков.

5. Силикатные материалы.

Стёкла минеральные. Кварцевое стекло, безосколочное стекло, электроизоляционные стекла, электропроводящие стёкла, пеностекло.

Стеклокристаллические материалы. Техническая керамика. Свойства керамики в зависимости от состава. Применение керамики.

6. Лакокрасочные и клеящие материалы.

Классификация лакокрасочных материалов. Технология нанесения лакокрасочных покрытий. Клеящие материалы. Физико-химическая природа. Состав и классификация клеев. Методы испытания клеевых соединений. Применение клеевых соединений в машиностроении.

7. Полимерные и композиционные материалы судостроительного назначения.

Классификация. Основные требования.

8. Стеклопластики для корпусов судов и кораблей.

Особенности стеклопластиков, их механические свойства, применение. Требования пожарной безопасности. Стеклопластики и условия обитания.

9. Полимерные композиционные материалы для изделий судового машиностроения и приборостроения.

Подшипники скольжения из полимерных углепластиков. Судовые движители из стеклопластиков. Применение стеклопластиков для движительно-нагнетательного комплекса судов на воздушной подушке. Антенные обтекатели средств радиосвязи и радиолокации.

10. Лакокрасочные материалы для судостроения.

Классификация судовых лакокрасочных материалов (ЛКМ). Подготовка поверхности перед нанесением ЛКМ. Технология окрасочных работ. Методы контроля качества окрасочных работ.

11. Теплоизоляционные, декоративно-отделочные материалы, клеи, ремонтные составы.

Теплоизоляционные материалы. Декоративно-отделочные материалы. Полимерные клеи. Ремонтный металлополимерный состав марки ЭК-2.

12. Методы испытаний и контроля качества полимерных композиционных материалов судостроительного назначения.

Испытания на растяжение. Испытания на сжатие. Испытания на межслойный сдвиг. Определение упругих характеристик. Неразрушающий контроль.

13. Наномодификаторы и полимерные наномодифицированные материалы.

Углеродные и металлические наномодификаторы полимерных материалов. Методы модификации полимерных материалов.

Основная литература:

1. Бондаренко Г.Г. Основы материаловедения: учебник для вузов.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. Экз.1
2. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения: учебное пособие.- М.:БИНОМ.Лаборатория знаний, 2014. Экз.3
3. Константинов И.Л.Технологияковки и горячей штамповки: учебное пособие.-М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014. Экз.
4. Махутов Н.А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: учебное пособие.- 2-е изд.- М: Издат. Дом «Спектр»,2014. Экз. 1
5. Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2014. Экз. 2
6. Барахтин Б.К. Методы исследования структуры и механических свойств сталей и сплавов для судостроения: учебное пособие.- СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2015. Экз.3
7. Колбасников Н.Г. Моделирование и управление структурой и свойствами материалов в процессах термомеханической обработки: учебное пособие.- 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2015. Экз.1
8. Коликов А.П. Теория обработки металлов давлением: учебник. – М.: Издат. Дом МИСиС, 2015. Экз.2
9. Материаловедение: учебное пособие. –Минск: Высшая школа, 2015. Экз.1
10. Портной В.К. Дефекты кристаллического строения металлов и методы их анализа: учебник.- М.: МИСиС, 2015. Экз.1
11. Орыщенко А.С. Принципы легирования, структура, свойства и свариваемость конструкционных низколегированных сталей для судостроения и морской техники : учебное пособие.- СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2016. Экз.8
12. Яковлев А.Д. Лакокрасочные покрытия функционального назначения: учебное пособие.- СПб.: Химиздат, 2016. Экз.1

Дополнительная литература:

13. Бибииков Е.Л. Процессы кристаллизации и затвердевания: учебное пособие для вузов.- М.: Альфа-М, ИНФРА-М, 2013. Экз. 3
14. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: учебник.- М.: Машиностроение, 2013. Экз.4
15. Конструкционные стали и сплавы: учебное пособие.- СПб.: Политехника, 2013. Экз.5
16. Гаркунов Д.Н. Триботехника: учебное пособие для вузов.- 2-е изд.-М.: Кнорус. 2013. Экз.1

17. Ильин А.А. Покрытия различного назначения для металлических материалов: учебное пособие для вузов.-М.: Альфа-М, Инфра-М, 2013. Экз.2
18. Мирзоев Р.А. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: учебное пособие.-СПб.: Изд-во Политех.ун-та, 2013. Экз.1
19. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии: учебное пособие- 2-е изд.- Долгопрудный: Издат. Дом Интеллект, 2014. Экз.1
20. Бибииков Е.Л. Литье титановых сплавов: учебное пособие для вузов.-М.: Альфа-М, Инфра-М, 2014. Экз.1
21. Ежов А.А. Разрушение металлов.- М.: Наука, 2014. Экз.1
22. Звягин В.Б. Оборудование и автоматизация процессов тепловой обработки материалов и изделий: учеб.пособие.- СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014.
23. Экз. 6
24. Константинов И.Л. Технологияковки и горячей объемной штамповки : учеб.пособие.- М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер.ун-т, 2014. Экз.1
25. Никитин К.В. Управление качеством литых изделий из алюминиевых сплавов на основе явления структурной наследственности.- М.: Радуница, 2015. Экз.1
26. Гадалов В.Н. Исследование быстрокристаллизованных порошков на основе титана и никеля, полученных электроэрозийным диспергированием и возможности их компактирования: монография.-М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2015. Экз.1
27. Гибсон Я. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать. Быстрое прототипирование и прямое цифровое производство.- М.: Техносфера, 2016. Экз.1
28. Горынин В.И. Высокопрочные материалы для резьбовых соединений.- СПб.:2016. Экз.2
29. Развитие нанотехнологий на основе нанокompозитов. -СПб.:Изд-воСПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. Экз.3
30. Горынин В.И. Пути повышения хладостойкости сталей и сварных соединений.- СПб.,2017. Экз.2

Электронные ресурсы

1. Научная электронная библиотека «eLibrary»

Журналы:

1. Вопросы материаловедения
2. Заводская лаборатория. Диагностика материалов Конструкции из композиционных материалов
3. Металлы
4. Механика композиционных материалов
5. Наноструктурное материаловедение
6. Перспективные материалы
7. Письма о материалах
8. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия
9. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия