

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

В. И. Абрамова

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
для студентов бакалавриата
по направлению подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2025

УДК 691.669.017(075)

Рецензент

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой инжиниринга
технологического оборудования

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Д. Б. Подашев

Абрамова, В. И.

Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование / В. И. Абрамова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2025. – 68 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Материаловедение, технология конструкционных материалов» представлены учебно-методические материалы, включающие основные вопросы лекции по каждой изучаемой теме, важнейшие понятия, вопросы для самоконтроля, материалы для выполнения курсовой работы для заочной формы обучения студентам направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Табл. 5, рис. 7, список лит. – 13 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано в качестве локального электронного методического материала кафедрой инжиниринга технологического оборудования 26 июня 2025 г., протокол № 10

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 июня 2025 г., протокол № 6

УДК 691.669.017(075)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2025 г.
© Абрамова В. И., 2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	23
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	66

ВВЕДЕНИЕ

Технологические машины и оборудование, являясь наукоемкой и технологически сложной отраслью промышленности, стимулирует развитие науки, производства, образования. Разработка технологического процесса изготовления оборудования является важным этапом в создании новых машин и механизмов. Главной задачей при проектировании оборудования выступает обеспечение выпуска продукции требуемого качества, необходимого количества при минимальных приведенных затратах. Решение поставленной задачи путем внедрения передовых, наукоемких методов обработки, использования композитных и других конструкционных материалов лежит на выпускниках технических вузов.

Изучаемая дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов», направлена на повышение конкурентоспособности отечественного машиностроения, на увеличение мощности и производительности работы машиностроительного оборудования.

Дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов» относится к базовой части образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование и является учебным курсом в области изучения взаимосвязи состава, структуры и свойств материалов, а также технологий их обработки.

Целью освоения дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» является формирование знаний и умений выбора современных материалов, используемых в машиностроении, и методов их обработки.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение методов выбора материалов для оборудования, используемого в машиностроении;
- формирование навыков в рациональном и экономном расходовании материалов, связанных с проектированием технологических машин и оборудования;
- изучение основных свойств и областей использования наиболее распространенных конструкционных, инструментальных материалов, материалов с особыми свойствами, композиционных полимерных и других неметаллических материалов;
- освоение видов предварительной и окончательной термической обработки заготовок и деталей машин, способы поверхностного упрочнения деталей;
- формирование навыков в использовании методов получения заготовок, чистовой обработки готовых изделий.

Освоение дисциплины предполагает: изучение конструкционных материалов и их свойств; изучение методов обработки материалов давлением, резанием, получения неразъемных соединений и способов литья.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– тенденции развития материаловедения;

– основные свойства и области использования наиболее распространенных конструкционных, инструментальных машиностроительных материалов, композиционных полимерных и других неметаллических материалов;

– виды предварительной и окончательной термической обработки заготовок и деталей машин;

– способы поверхностного упрочнения деталей;

– технологию и оборудование производства заготовок;

уметь:

– выбрать вид термообработки для готового изделия с точки зрения экономической эффективности, обеспечения долговечности и надежности детали;

– используя справочную литературу, правильно выбрать материалы и изделия для деталей и узлов машин;

– производить правильный выбор способов и технологий изготовления деталей и узлов машин;

– назначать методы обработки заготовок;

владеть:

– способами распознавания материала по марке, расшифровке его химического состава.

– навыками работы со справочной литературой и технической документацией.

Учебно-методическое пособие способствует формированию у студентов проектной культуры выпускника системы профессиональной подготовки технического вуза, его сознательного и ответственного отношения к проблемам выбора материалов и методов их обработки, может служить справочной информацией для слушателей других направлений и специальностей, факультетов.

Для усвоения материала дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» студент должен активно работать на лекционных и лабораторных занятиях, организовать самостоятельную внеаудиторную деятельность, выполнить курсовую работу.

Для успешного освоения дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в учебно-методическом пособии приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к занятиям и для самостоятельной работы студентов. Материал пособия содержит рекомендации по выполнению курсовой работы студентами заочной форм обучения.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

– оценочные средства текущего контроля успеваемости;

– оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания (для студентов всех форм обучения).
- задания по практическим работам (для студентов всех форм обучения).

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в формах контрольной работы и экзамена, соответственно относятся:

- задания по контрольной работе (для заочной формы обучения);
- вопросы к экзамену.

Тестирование проводится после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривают выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед тестированием преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после тестирования проводит анализ его выполнения. Примерный перечень тестовых и практических работ представлен в фонде оценочных средств дисциплины.

Контрольная работа выполняется на завершающем этапе изучения курса, целью ее является расширение, углубление и обобщение знаний, полученных при освоении дисциплины, формирование умений и навыков самостоятельного их применения.

Промежуточной аттестацией по завершению курса является экзамен.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- получившие положительную оценку при выполнении контрольной работы (для заочной формы обучения).

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить	Может найти необходимую	Может найти, интерпретировать	Может найти, систематизировать

	необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	информацию в рамках поставленной задачи	систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, задания и методические рекомендации для выполнения контрольной работы, перечень вопросов для организации самостоятельной работы студентов.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Материаловедение и технология конструкционных материалов», студент должен научиться трудиться на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции им необходимо понять цель, поставленную преподавателем. На протяжении лекции необходимо внимательно слушать, фиксировать в конспекте наиболее существенную информацию, сравнивать полученную информацию с усвоенным ранее материалом в области использования конструкционных материалов и методов их обработки, формируя собственную систему знаний. По ходу лекции необходимо выделять новые термины, определения, находить взаимосвязь с ранее изученными понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Строение материалов. Металлы и их сплавы. Механические свойства материалов
2	Теория сплавов. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации
3	Сплавы системы «железо-углерод»
4	Методы термической и химико-термической обработки
5	Легированные стали
6	Цветные металлы и сплавы
7	Неметаллические материалы
8	Композиционные материалы
9	Основы производства металлов
10	Технологические процессы получения отливок
11	Технологические процессы обработка металлов давлением
12	Производство неразъемных соединений. Сварка и пайка
13	Высокоэнергетические технологии обработки деталей
14	Формообразование поверхностей деталей резанием
15	Обработка поверхностей деталей абразивным инструментом

В случае, если студент не получил ответа, на возникшие у него в процессе лекции вопросы, следует задать их в конце занятия.

Тема 1. Строение материалов. Металлы и их сплавы. Механические свойства материалов

Ключевые вопросы темы

1. Металловедение и его значение для создания новых материалов для технологических машин и оборудования. Тенденции развития материаловедения. Кристаллическое строение металлов. Полиморфизм. Анизотропия свойств металлов. Классификация дефектов кристаллического строения металлов.

2. Механические свойства металлов и сплавов.

Ключевые понятия: металловедение, термическая обработка металлов, кристаллическая решетка, элементарная кристаллическая ячейка, координационное число, базис, коэффициент компактности, полиморфизм, анизотропия, дислокация, твердость, ударная вязкость.

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

На первом занятии лектор доводит до сведения обучающихся критерии проведения текущего контроля, возможные трудности и риски освоения дисциплины.

Первая тема дисциплины «Материаловедение, технология конструкционных материалов» позволит обучающимся получить представления о значении материалов в создании новых машин и оборудования, о взаимосвязи кристаллического строения металлов и с их свойствами, о влиянии дефектов кристаллических решеток на механические свойства.

Второй вопрос темы посвящен механическим свойствам материалов и методам их определения, испытаниях на растяжение и ударную вязкость.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите общие свойства металлов.
2. Охарактеризуйте параметры элементарной кристаллической ячейки.
3. Определите базис у ОЦК, ГЦК и ГПУ видов кристаллических ячеек.
4. Дайте определение текстуры металла.
5. Определите в какой решетке анизотропия выше: ОЦК, ГЦК или ГПУ
6. Определите техническую значимость анизотропии металлов.
7. Перечислите случаи, при которых возникают точечные дефекты
8. Дайте определение двойникованию.

Тема 2. Теория сплавов. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации

Ключевые вопросы темы

1. Фазово-структурный состав сплавов.
2. Кристаллизация металлов и сплавов. Термодинамические основы, механизм и кинетика кристаллизации металлов.

Ключевые понятия: термодинамическая система, стационарное состояние системы, равновесное состояние системы, твердые растворы, эвтектика, эвтектоид, интерметаллиды, электронные соединения

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

При освоении второй темы дисциплины студентам необходимо понять, что взаимопревращения энергий в процессах, протекающих в термодинамических системах или при их взаимодействии с внешней средой, может приводить к образованию различного фазово-структурного состава. Так, в термодинамической системе – металлический сплав – возможно образование твердых растворов, химических соединений, механических смесей и др.

Второй вопрос темы относится к разбору процесса кристаллизации металлов и сплавов, методов упрочнения сплавов.

После изучения темы студентам нужно усвоить, что основными задачами материаловедения являются разработка материалов с заданными свойствами, методов их получения и обработки. Главным источником создания современных материалов с заданными, зачастую уникальными, свойствами служат многокомпонентные многофазовые системы.

Вопросы для самопроверки

1. Как можно равновесную систему вывести из равновесия?
2. Определите, что может выступать в качестве компонента сплава
3. Дайте определение фазы сплава.
4. Дайте определение фазы внедрения.
5. Образование химических соединений в сплавах
6. Дайте определение эвтектики, и каковы условия ее кристаллизации.
7. Сформулируйте правило фаз.
8. Информация, которую дает кривая охлаждения сплава
9. Дайте определение электродного соединения.

Тема 3. Сплавы системы «железо-углерод»

Ключевые вопросы темы

1. Фазы и структурные составляющие диаграммы, кристаллическое строение, структура, свойства. Линии диаграммы. Критические точки на диаграмме «Fe-Fe₃C». Классификация углеродистых сталей и их маркировка. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали.

2. Чугуны. Классификация чугунов. Процессы графитизации. Влияние углерода, марганца, кремния, серы и фосфора на свойства чугунов, скорости охлаждения.

Ключевые понятия: диаграмма состояния сплава, феррит, аустенит, перлит, ледебурит, ликвидус, солидус, перитектика, критические точки, углеродистые стали, чугуны.

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

При освоении третьей темы студентам необходимо осознать, что наиболее широкое применение получили сплавы железа с углеродом, понять, как с помощью диаграммы состояния сплавов «Fe-Fe₃C», зная по концентрацию компонентов сплава, можно определить фазы, структуру, свойства сплава, что углеродистые стали классифицируются по структуре, качеству, назначению, способу получения и др.

Второй вопрос темы посвящен изучению процессов графитизации, классификации и маркировке чугунов, области применения белых, черных, высокопрочных, ковких, антифрикционных и легированных чугунов.

После изучения темы студентам нужно понять, что по диаграмме «Fe-Fe₃C» по содержанию углерода можно определить фазовое состояние сплава и режимы термической обработки в стали.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте характеристику структурным составляющим и фазам диаграммы «Fe-Fe₃C».
2. Феррит и перлит – фазы или структуры.
3. Назовите основные точки, линии и области фазовой диаграммы «Fe-Fe₃C».
4. Аустенит и ледебурит – фазы или структуры?
5. Назовите группы сплавов в системе «Fe-Fe₃C».
6. Перечислите структурные отличия у технически чистого железа, сталей и чугунов.
7. Образование графита в структуре чугунов.

Тема 4. Методы термической и химико-термической обработки

Ключевые вопросы темы:

1. Теория термической обработки. Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита. Закалка, отпуск, отжиг с фазовыми и без фазовых превращений. Технология термической обработки стали

2. Химико-термическая обработка стали.

Ключевые понятия: термическая обработка, мартенсит, троостит, сорбит, бейнит, закалка, закалочная среда, прокаливаемость, отпуск, старение, отжиг, нормализация, химико-термическая обработка, цементация, азотирование, нитроцементация, цианирования, борирование.

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

На следующей лекции студенты должны освоить термическую обработку сплавов, заключающуюся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью для получения материала с заданными свойствами, путем изменения его структуры: фазового состава, перераспределения компонентов, размеров и формы кристаллических зерен, вида дефектов, их количества и распределения.

Вторая часть лекции посвящена физическим основам и технологическим процессам химико-термической обработки стали.

После изучения темы студентам нужно понять, что обеспечение высоких технико-экономических показателей термического передела и качество термической и химико-термической обработки определяются свойствами подвергаемого термической обработки металла и сведением к минимуму побочных явлений.

Вопросы для самопроверки

1. Превращения, протекающие в сталях при нагреве и охлаждении
2. Дайте определение термической обработке
3. Назовите основные виды термической обработки.
4. Рассмотрите перлитное превращение и назовите три его стадии.
5. Перечислите, что произойдет при изменении скорости охлаждения
6. Отличие отжига от закалки
7. Назовите виды закалки и их назначение.
8. Отличие отжига от старения
9. Опишите принцип выбора режимов цементации

Тема 5. Легированные стали

Ключевые вопросы темы:

1. Легирование стали. Фазы, образуемые легирующими элементами с железом и углеродом. Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа.

2. Классификации и маркировка легированных сталей. Конструкционные легированные стали: цементируемые, улучшаемые, рессорно-пружинные стали и шарикоподшипниковые стали. Инструментальные стали и сплавы. Стали с особыми физическими и химическими свойствами. Конструкционные коррозионностойкие и жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали.

Ключевые понятия: легирующие компоненты, карбиды, карбидообразующие компоненты, графитизирующие компоненты, нейтральные компоненты, цементируемые, улучшаемые стали, рессорно-пружинные стали, шарикоподшипниковые стали, магнитные и немагнитные стали, нержавеющие, жаропрочные и жаростойкие стали.

Литература: [1; 2; 4; 6; 8–10].

Методические рекомендации

На пятой лекции доносится до студентов то, что использование легированных сталей позволяет: повысить прочность конструкции без термообработки стали за счет растворения в феррите легирующих элементов (ферритные стали); повысить прочность и твердость в результате увеличения устойчивости аустенита (аустенитные стали); придать специальные свойства (жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, упругость, намагничиваемость и др.); упрочить за счет введения карбидаобразующих элементов.

Вторая часть лекции посвящена разбору классификаций и маркировке легированных сталей.

После изучения темы студентам нужно осознать, что легирующие компоненты, специально вводятся в сплав, для придания ему требуемой структуры и свойств.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните цель легирования сталей.
2. Перечислите области применения легированных сталей.
3. Принципы классификации легированных сталей
4. Принцип маркировки легированных сталей
5. Приведите примеры деталей, которые изготавливаются из цементируемых сталей.
6. Перечислите свойства, которыми должны обладать улучшаемые стали после термической обработки.
7. Легированные стали, которые применяют для изготовления пружин и рессор
8. Области применения жаропрочных сплавов.
9. Какой основной легирующий элемент входит в состав жаростойких сталей?
10. Перечислите, какими элементами легируют коррозионностойкие стали

Тема 6. Цветные металлы и сплавы

Ключевые вопросы темы

1. Медь и сплавы на основе меди. Антифрикционные сплавы. Алюминий, литейные и деформированные сплавы на основе алюминия. Термическая обработка сплавов алюминия.

2. Титан и его сплавы. Свойства, классификация сплавов титана. Магний и его сплавы. Бериллий и его сплавы

Ключевые понятия: латуни, бронзы, безоловянные бронзы, мельхиоры, нейзильberы, куниаль, технический алюминий, алюминий высокой чистоты, алюминий особой чистоты, авиааль, дюралюминий, силумин, жаропрочный алюминиевый сплав, баббиты

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

На шестой лекции необходимо донести до студентов сведения о разнообразных свойствах цветных металлов и сплавах, что сплавы меди обладают пластичными, литейными антифрикционными свойствами, алюминиевые сплавы подразделяются на литейные и деформируемые упрочняемые и неупрочняемые сплавы.

Вторая часть лекции посвящена изучению свойств, маркировки и области применения титана, магния и бериллия, и их сплавов.

Вопросы для самопроверки

1. Маркировка меди.
2. Назовите отличие свойств меди и латуни.

3. Маркировка бронзы.
4. Объясните, чем отличаются бронзы от латуней, содержащих те же химические элементы, но в другом количестве
5. Признаки классификации сплавов на основе алюминия.
6. Назовите медный сплав, из которого возможно изготовление пружины
7. Алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой.
8. Классификация титановых сплавов.
9. Маркировка магниевых сплавов

Тема 7. Неметаллические материалы

Ключевые вопросы темы

1. Полимеры и материалы на их основе. Классификации и свойства. Пластмассы на основе термопластичные и термореактивные полимеров. Каучуки и резины. Пленкообразующие материалы.

2. Стекло. Керамика.

Ключевые понятия: мономеры, олигомеры, полимеры, поликонденсация, полиприсоединение, поливинилхлорид, полистирол, эпоксидные смолы, фенолформальдегидные смолы, слоистые пластики, гетинакс, текстолит, каучук, вулканизация, резины, лаки, эмали, компаунды.

Литература: [1; 2; 4; 6].

Методические рекомендации

На седьмой лекции необходимо донести до студентов то, что основным компонентом пластических масс являются конструкционные и функциональные полимеры, получаемые в процессах поликонденсации или полиприсоединения, резины – результат вулканизации натуральных или искусственных каучуков, в составе композиций современных пленкообразующих материалов обязательным компонентом выступают полимеры.

Вторая часть лекции посвящена основным свойствам и особенностям применения керамики и стекла.

После изучения темы студентам нужно осознать, что современная промышленность нуждается в неметаллических материалах, обладающих разнообразными свойствами.

Вопросы для самопроверки:

1. Отличие поликонденсации от полиприсоединения
2. Назовите более химически стойкий полимер.
3. Причины старения полимеров.
4. Охарактеризуйте свойства пластмасс.
5. Назовите области применения пластмасс.
6. Отличие каучуков от резин.
7. Значение серы при производстве резины.
8. Отличие лаков от эмалей.
9. Признаки классификации лаков.

Тема 8. Композиционные материалы

Ключевые вопросы темы

1. Композиционные материалы. Дисперсно-упрочняемые, волокнистые и слоистые композиты. Получение деталей из композиционных материалов.

2. Способы получения порошков. Приготовление смеси. Спекание.

Ключевые понятия: дисперсно-упрочняемые композиты, волокнистые композиты, слоистые композиты, матрица, армирующие компоненты, композиты с полимерной матрицей, композиты с металлической матрицей.

Литература: [1; 2; 4; 6; 8].

Методические рекомендации

Следующая тема дисциплины позволит обучающимся получить представления о значении дисперсно-упрочняемых, волокнистых композиционных материалов, об их структуре, свойствах и области применения.

Вторая часть лекции посвящена разбору особенностей технологии изготовления композиционных материалов.

После изучения темы студентам нужно осознать, что композиционные материалы получают путем соединения матрицы и упрочняющей фазы, для чего используются как традиционные технологии (порошковая технология для дисперсно-упрочняемых композитов, прессование и намотка для композитов на полимерной матрице), так и специфические, применяемые только для определенного вида композитов (карбонизация и осаждение углерода из газовой фазы для композитов с углеродной матрицей и т. д.).

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение композитам.
2. Классификация композитов по виду упрочняющей фазы.
3. Материалы для упрочнения дисперсно-упрочненных композитов.
4. Материалы для изготовления матрицы дисперсно-упрочненных композитов.
5. Материалы для упрочнения волокнистых композитов.
6. Назовите материалы, волокна которых используют в волокнистых композитах.
7. Причины прочности композитов.
8. Преимущество композитов перед сталью и цветными сплавами.

Тема 9. Основы производства металлов

Ключевые вопросы темы

1. Основы металлургического производства. Общие понятия о рудах, топливе и флюсах. Кислородно-конверторный способ получения стали. Получение стали в мартеновских, электрических дуговых и индукционных печах. Порошковая металлургия.

2. Основы производства алюминия, титана и меди.

Ключевые понятия: металлургия, промышленная руда, окатыши, топливо, флюс, ферросплавы, кокс, шихта, раскислители, шамотный кирпич, кислородно-конверторный способ, мартеновские печи, электрические печи,

дуговые печи, индукционные печи

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

На девятой лекции необходимо донести до студентов то, что металлургическое производство является деятельностью по выплавке черных и цветных металлов из руды или лома с использованием доменного производства, методов электрометаллургии, кислородно-конверторным способом, особенностью процессов, связанных с изменением химического состава, структуры и свойств металлов и сплавов.

Вторая часть лекции посвящена освоению основам металлургического производства алюминия, титана и меди.

После изучения темы студентам нужно осознать, что основной задачей металлургического производства является получение металлической продукции из руд, концентратов или других видов металлосодержащего сырья.

Вопросы для самопроверки

1. Продукты металлургической промышленности.
2. Сырье для металлургической промышленности.
3. Цели использования ферросплавов
4. Требования к оgneупорным материалам.
5. Способ получения кокса.
6. Руды, используемые для выплавки чугуна.
7. Сущность процесса получения чугуна в доменной печи.
8. Исходные материалы для производства стали.
9. Стали по степени раскисления.
10. Сырье для производства меди и алюминия.

Тема 10. Технологические процессы получения отливок

Ключевые вопросы темы

1. Теоретические основы линейного производства. Модели. Формовочные и стержневые смеси. Технология изготовления песчаных литейных форм и стержней.

2. Другие способы литья. Литье в металлические формы. Литье под давлением. Центробежное литье. Литье в оболочковые формы. Непрерывное литье. Литье выжиманием. Технология изготовления пластмассовых деталей методом литья.

Ключевые понятия: жидкотекучесть, усадка, литье, отливка, стержень, дендритная ликвация, модель, формовочная смесь, стержневая смесь, кокиль, литейная оснастка, опока, литниковая система.

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Десятая тема дисциплины позволит обучающимся получить представления о том, что литейная форма при литье в песчаные формы представляет собой конструкцию, состоящую из элементов, образующих

рабочую полость, заполнение которой расплавленным металлом обеспечивает получение отливки заданных формой и размеров. Литейная форма должна обладать прочностью, газопроницаемостью, пластичностью, огнеупорностью.

Вторая часть лекции посвящена изучению специальных способов литья, таких как литье в металлические формы, под давлением, центробежное литье, литье в оболочковые формы, непрерывное литье и литье выжиманием.

После изучения темы студентам нужно осознать, что литейная технология получения заготовок имеет такие достоинства, как универсальность, позволяющая получать отливки сложной конфигурации большой номенклатуры сплавов, широкого диапазона размеров и массы и рентабельность в серийном производстве.

Вопросы для самопроверки

1. Строение литейной формы.
2. Материалы для изготовления литейной формы.
3. Приспособления, входящие в литейную оснастку.
4. Опишите, из каких частей состоит литниковая система
5. Назовите основные дефекты литья в песчаные формы.
6. Перечислите стадии процесса получения оболочковых форм.
7. Признаки классификации кокилей.
8. Принципиальные особенности технологического процесса литья под давлением.

Тема 11. Технологические процессы обработки металлов давлением

Ключевые вопросы темы:

1. Теоретические основы пластической деформации металлов. Влияние нагрева на структуру и свойства деформируемого металла. Понятие холодной, неполной и горячей обработки давлением. Прокатка металла. Сущность процесса прессования. Волочение.

2. Операции ковки. Объемная горячая и холодная штамповка. Листовая штамповка. Технология изготовления пластмассовых деталей штамповкой из листового материала.

Ключевые понятия: пластическая деформация, наклеп, текстура, холодная обработка давлением, горячая обработка давлением, нагревательные печи, прокатка, прессование, волочение, ковка, пресс, штамп, матрица, пуансон, листовая штамповка.

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Одннадцатая лекция позволит обучающимся получить представления о том, что формообразование обработкой давлением основано на способности заготовок из металлов и других материалов изменять свою форму без разрушения под действием внешних сил, что в процессе волочения, прессования, прокатки можно получить заготовки постоянного профиля.

Вторая часть лекции посвящена рассмотрению таких процессов обработки давлением, как ковка и штамповка, так как в современном

производстве около 20 % всех деталей получают из кованных или штампованных поковок.

После изучения темы студентам нужно осознать, что при пластическом деформировании требуемая форма заготовок достигается перемещением частиц металла в новое положение при условии их устойчивого равновесия, при этом первоначальная масса, претерпевшая формообразования, остается постоянной.

Вопросы для самопроверки

1. Свойства металла, изменяющиеся при деформировании в холодном состоянии.
2. Дайте определение «возврата».
3. Поясните понятия «холодная», «неполная горячая», «горячая деформация».
4. Прямое и обратное прессование.
5. Опишите процесс волочения проволоки и труб.
6. Основные операции при прокатке бесшовных труб.
7. Назовите основные операции ковки.
8. Роль заусенца при штамповке в открытых штампах
9. Почему при штамповке в закрытых штампах необходимо иметь заготовки большей точности размеров?
10. Оборудование, применяемое для листовой штамповки.

Тема 12. Производство неразъемных соединений. Сварка и пайка

Ключевые вопросы темы:

1. Производство неразъемных соединений сваркой. Физико-химические основы получения сварного соединения. Классификация методов сварки. Технологии получения неразъемных соединений методами сварки плавлением.
2. Технологии получения неразъемных соединений методами сварки давления. Способы пайки. Технологический процесс пайки. Особенности сварки пластмасс.

Ключевые понятия: свариваемость, защитная атмосфера, шов, коэффициент наплавки, режимы сварки, дуга, сварная ванна.

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Изучение следующей темы позволит обучающимся получить представления о том, что сварочный процесс направлен на получение монолитного соединения, которое возникает в случае установления связей между атомами свариваемых деталей на границе их раздела при нагревании и/или пластическом деформировании. К термическим методам сварки относятся ручная дуговая, автоматическая дуговая, электрошлаковая сварки, дуговая сварка в защитных газах, плазменная сварка, электронно-лучевая сварка, термитная и газовая сварки.

Вторая часть лекции посвящена представлению термомеханических и механических видов сварки, технологии процесса пайки и особенностям сварки пластмасс.

После изучения темы студентам необходимо осознать, что материал в процессе его сварки изменяет свои свойства в зависимости, как от самого материала, его физико-химических свойств, так и метода сварки и его режимов. Поэтому без учета анализа свариваемости материала, условий процесса сварки, особенностей конструкции свариваемого изделия нельзя грамотно выбрать метод сварки.

Вопросы для самопроверки

1. Факторы, способствующие широкому применению сварки в современных конструкциях.
2. Принцип классификации методов сварки.
3. Физико-химические принципы, лежащие в основе разных источников теплоты для термических видов сварки
4. Опишите, как реализуется защита расплавленного металла в зависимости от вида сварки плавлением
5. Сравните области применения электронно-лучевой и лазерной сварки.
6. Факторы, влияющие на прочность и точность при контактной сварке.
7. Определите, чем объясняется повышенные затраты энергии при роликовой сварке по сравнению с точечной
8. Параметры режима при диффузионной сварке.
9. Основные области применения механических способов сварки.

Тема. 13. Высокоэнергетические технологии обработки деталей

Ключевые вопросы темы

1. Высокоэнергетические технологии обработки деталей.
Высокоэнергетическая индукционная обработка.
2. Технологии лазерной и электронно-лучевой обработки материалов.

Ключевые понятия: индукционная обработка, импульсная обработка, удельная поверхностная мощность, монохроматическое излучение, полихроматическое излучение, полимонохроматическое излучение.

Литература [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Данная тема дисциплины позволит обучающимся получить представления о том, что к высокоэнергетическим технологиям обработки деталей относятся высокочастотная индукционная, лазерная, электроннолучевая, ионная, плазменная и рентгеновская обработка, которые являются наиболее перспективными для получения материалов с особыми свойствами. Индукционная обработка стальных и чугунных деталей, применяемая для нагрева металла под ковку, штамповку, термическую обработку, делится на традиционную индукционную обработку, когда характерный уровень удельных поверхностных мощностей составляет до $10^7 \text{ Вт}/\text{м}^2$, и высокоэнергетическую (импульсную) обработку при удельных мощностях $10^7\text{--}10^9 \text{ Вт}/\text{м}^2$, когда скорости процессов нагрева и охлаждения в слое металла становятся сравнимы со скоростями диффузионного массопереноса и газообразования.

Вторая часть лекции посвящена изучению электронно-лучевой и лазерной технологиям обработки материалов.

После изучения темы студентам нужно усвоить, что область применения высокоэнергетической обработки металлов постоянно расширяется, методы высокоэнергетической обработки используются для нанесения высокоэффективных покрытий, упрочнения деталей машин, резки, наплавки, газо- и водоочистки, утилизации отходов, полимеризации.

Вопросы для самопроверки

1. Отличие метода высокочастотной импульсной закалки от стандартной индукционной закалки.
2. Какая область детали из всей зоны нагрева будет упрочняться?
3. От каких параметров процесса и как зависит глубина упрочняемого слоя?
4. Особенности лазерной обработки.
5. Технологические операции, проводимые с использованием лазера.
6. Процессы, протекающие при взаимодействии электронного пучка с поверхностью материала.
7. Виды обработки, при которых используется электронный пучок.

Тема 14. Формообразование поверхностей деталей резанием

Ключевые вопросы темы

1. Формообразование поверхностей деталей резанием. Физико-химические основы резания. Точение и обработка на станках токарной группы. Схемы обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, винтовых и фасонных поверхностей, сверление, зенкерование, развертывание на станках токарной группы.
2. Особенности механической обработки на сверлильных, фрезерных станках. Оснастка и инструмент для фрезерования. Режимы резания.

Ключевые понятия: процесс стружкообразования, тепловой баланс, главное движение резания, вспомогательное движение резания, скорость резания, подача инструмента, силы резания, оснастка.

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Четырнадцатая лекция дисциплины призвана донести до студентов то, что обработка резанием является универсальным методом размерной обработки, который позволяет обрабатывать поверхности деталей различной формы и размеров с высокой точностью из наиболее используемых конструкционных материалов. Одним из основных способов лезвийной обработки является точение.

Вторая часть лекции посвящена определению режимов резания, изучению инструмента, приспособлений для крепления инструмента и заготовки на фрезерных и сверлильных станках.

После изучения темы студентам нужно осознать, что, несмотря на большие достижения в технологии производства высокоточных заготовок, значение обработки резанием на металлорежущих станках на производстве непрерывно повышается, так как современные металлорежущие станки являются машинами, использующими механические, электрические, гидравлические, электронные приводы для управления рабочим циклом изготовления деталей и решения сложных технических задач.

Вопросы для самопроверки

1. Задачи размерной обработки резанием.
2. Назовите режимы резания при точении.
3. Причины нагрева зоны резания обрабатываемого материала и методы снижения нагрева.
4. Материалы, используемые в качестве инструментальных.
5. Причины и виды износа инструмента.
6. Оснастка, используемая для крепления заготовки на фрезерном станке.
7. Причина нароста на резце при резании, и его влияние на процесс.
8. Способ крепления инструментов на сверлильных станках.
9. Расскажите, чем определяется качество и точность обработки резанием.

Тема 15. Обработка поверхностей деталей абразивным инструментом

Ключевые вопросы темы:

1. Обработка поверхностей деталей абразивным инструментом на шлифовальных станках. Схемы шлифования наружных и внутренних цилиндрических, конических поверхностей. Шлифование плоских поверхностей. Бесцентровое шлифование.

2. Классификация и маркировка абразивного инструмента.

Литература: [2; 4; 7; 11–13].

Методические рекомендации

Заключительная тема дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» позволит обучающимся получить представления о том, что для формообразования поверхности методом шлифования необходимо вращательное движение круга и относительное перемещение по одной из координатных осей или вращательным движением вокруг оси детали.

Вторая часть лекции посвящена изучению абразивного инструмента, условий непрерывности самозатачиваемости в процессе шлифования.

После изучения темы студентам нужно усвоить, что целью процесса шлифования является приданье заготовке определенной формы, калибровка поверхности до требуемого размера и получение минимальной шероховатости.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение процессу механической обработки, называемому шлифованием.
2. Случай, в которых применяется шлифование.
3. Назовите основные виды шлифования.
4. Расскажите, как выбираются режимы и рассчитываются силы резания при шлифовании.
5. Инструменты, используемые при шлифовании.
6. Испытания шлифовальных кругов.
7. Цель правки шлифовальных кругов.
8. Перечислите особенности резания на плоскошлифовальных станках.
9. Технологические требования, предъявляемые к конструкции обрабатываемых на шлифовальных станках деталей.
10. Приведите примеры, когда применяется бесцентровое шлифование.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Целью практических работ является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных на лекциях и приобретение навыков самостоятельного выполнения экспериментальных работ. Студенты освоят методы выбора необходимого материала детали или инструмента с учетом его качественных показателей, конкретных условий применения и стоимости, а также технологии получения материалов.

В результате освоения практических занятий по дисциплине обучающийся должен:

уметь:

- выбрать вид термообработки для готового изделия с точки зрения экономической эффективности, обеспечения долговечности и надежности детали;
- используя справочную литературу, правильно выбрать материалы и изделия для деталей и узлов машин;
- производить правильный выбор способов и технологий изготовления деталей и узлов машин;
- назначать методы обработки заготовок;

владеть:

- способами распознавания материала по марке, расшифровке его химического состава.
- навыками работы со справочной литературой и технической документацией.

Тематический план практических (ПР) работ представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Структура ПР

Номер ПР	Наименование практических работ
1	2
1	Макроструктурный анализ
2	Микроструктурный анализ
3	Маркировка, химический состав и применение углеродистых сталей и чугунов
4	Применение методов термической обработки материалов
5	Определение основных свойств легированных конструкционных сталей по их маркам
6	Определение основных свойств легированных инструментальных сталей по их маркам

Продолжение таблицы 3

1	2
7	Выбор машиностроительных сталей
8	Выбор инструментальных сталей
9	Выбор коррозионностойких материалов
10	Выбор жаропрочных и жаростойких сталей
11	Выбор сталей и сплавов, работающих при низких температурах
12	Применение цветных металлов и сплавов
13	Применение неметаллических конструкционных материалов
14	Проектирование и расчет модели для получения полостей в литейных формах
15	Проектирование и расчет стержней
16	Проектирование и расчет элементов литниковой системы
17	Выбор инструмента и разработка технологии для обработки отливки
18	Разработка технологического процесса холодной листовой штамповки
19	Обработка заготовок на станках токарной группы
20	Определение технологических свойств порошков
21	Определение плотности, пористости сформованных и спеченных порошковых материалов
22	Разработка технологического процесса изготовления деталей методом порошковой металлургии

Практическая работа № 1
Макроструктурный анализ

Цель работы: приобретение навыков исследования основных типов макроструктур металлов и сплавов

Задание на практическую работу

1. Ознакомиться с коллекцией типичных макроструктур, зарисовать и описать их.
2. Исследовать макроструктуру сварного соединения по образцу, зарисовать и описать особенности структуры, дефекты и т. д.
3. Определить на образце стали ликвацию серы (изготовить макрошлиф, получить серный отпечаток, составить заключение о распределении серы по сечению шлифа).

Пример задачи

На рисунке 1 показано макростроение слитка низкоуглеродистой кремнистой стали (0,1%С и 4%Si); по сечению слитка видны отдельные зоны с различными, но

характерными для каждой зоны формой и расположением кристаллов.

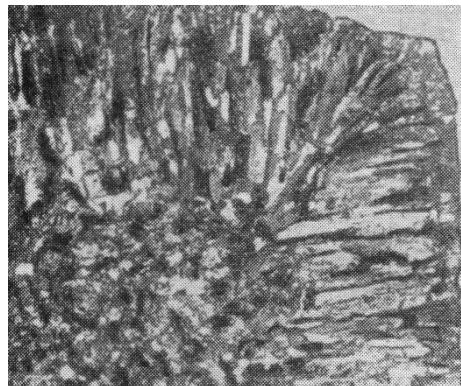


Рисунок 1 – Макроструктура слитка (поперечный разрез) низкоуглеродистой кремнистой стали ($0,1\%C$, $4\%Si$)

Описать макростроение в отдельных зонах стального слитка и объяснить причины образования различного строения кристаллов по сечению.

Решение. Структура литого слитка состоит из трех основных зон. Первая зона – наружная *мелкозернистая корка*, состоящая из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов. При первом соприкосновении со стенками формы в тонком прилегающем слое жидкого металла возникает сильное переохлаждение, сопровождающееся зарождением большого числа центров кристаллизации, что приводит к образованию мелкозернистой структуры. Вторая зона – зона *столбчатых кристаллов*. Степень переохлаждения меняется. В результате из небольшого числа центров кристаллизации начинают расти нормально ориентированные к поверхности корки столбчатые кристаллы. Третья зона – зона *равноосных кристаллов*. Температура застывающего металла почти полностью уравнивается во всем объеме слитка, что и вызывает образование равноосной структуры.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение макроструктуры.
2. Описать способы изучения макроструктуры.
3. Указать цели применения анализа макроструктуры.
4. Описать методы выявления макроструктуры.
5. Описать методы выявления ликвации серы при макроструктурном анализе.
6. Описать оценку макроструктуры и качества сварного соединения.
7. Дать определение ликвации и перечислить её виды.

Практическая работа № 2

Микроструктурный анализ

Цель работы: получение навыков изучения основных типов микроструктур металлов и сплавов.

Задание на практическую работу

1. Ознакомиться с устройством и основными правилами работы металломикроскопа

2. По выбранному микрошлифу исследовать микроструктуру.

Пример задачи

На рисунке 2, *a* показана макроструктура стали болта, а на рисунке 2, *б* – микроструктура. Охарактеризовать микроструктуру и указать содержание углерода в стали. Описать способ изготовления болта, используя результаты макроанализа (рисунок 2, *a*).

Указать, чем отличалось бы макростроение болта, если бы он был изготовлен резанием из катаного прутка.

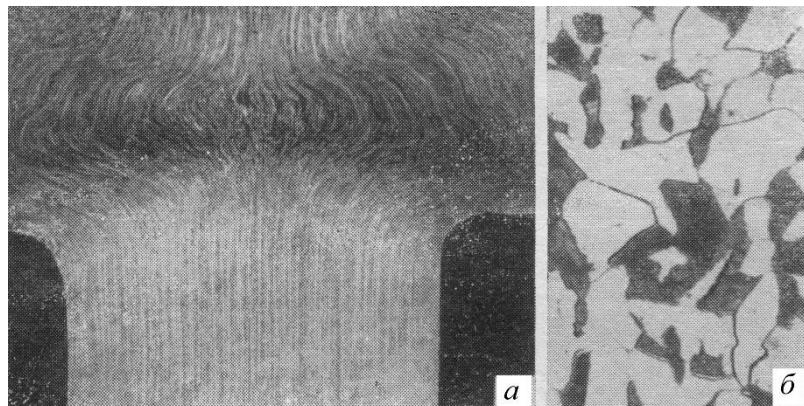


Рисунок 2 – Сталь в болте:

a – макростроение (нат. вел); *б* – микростроение стержня болта, ×400

Решение

Болт изготовлен посредством ковки, что видно из рисунка 2, *a*. Четко прослеживается волокнистая структура, что характерно для этого вида обработки. Используя метод пропорций, по рисунку 2, *б* можно определить марку стали. В углеродистой доэвтектоидной стали можно считать, что весь углерод находится в перлите. В чистом перлите содержится 0,8%С. В доэвтектоидной стали на перлит приходится только часть сплава, а содержание углерода в весовых процентах пропорционально площади шлифа, занимаемой перлитом. Эта пропорция вытекает из примерного равновесия удельных весов феррита и перлита. В противном случае по микроструктуре можно было бы судить только об объемных отношениях.

Глядя в микроскоп (или на микрофотографию), определяют примерно (на глаз) площадь, занимаемую перлитом $F_{\text{П}}$ в %.

Составляют пропорцию $100 \% \Pi - 0,8 \% C$

$$F_{\text{П}} - x \% C.$$

Определяем, что площадь перлита (темные участки) – примерно 30 %. Подставляя в пропорцию это значение, определяем, что в стали примерно 0,24 % углерода, т. е. марка стали 25.

В случае, если бы болт был изготовлен резанием, мы не наблюдали бы

текстуры, характерной для обработки металлов давлением (ковки), что видно из рисунка 2, а.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение микроструктуры металла.
2. Рассказать принцип работы металлографического микроскопа.
3. Указать, от чего зависит увеличение микроскопа.
4. Дать определение разрешающей способности микроскопа.
5. Перечислить основные узлы металлографического микроскопа.
6. Описать процесс изготовления микрошлифа.
7. Дать определение микрошлифа.
8. Объяснить назначение травления микрошлифа.
9. Описать процесс формирования изображения на металлографическом микроскопе.

Практическая работа № 3

Маркировка, химический состав и применение углеродистых сталей и чугунов

Цель работы: получить навык определения маркировки, химического состава и применения углеродистых сталей и чугунов

Задание на практическую работу:

- расшифровать марки стали;
- указать к какой группе относятся стали:
- по качеству;
- по назначению;
- по содержанию углерода (с указанием структуры по диаграмме «Железо-углерод»).

Пример

Дана сталь 45. Сталь содержит до 0,45 % углерода. Остальное – железо. (количество примесей по марке стали точно сказать невозможно). Сталь относится к качественным углеродистым сталям. Это конструкционная сталь, широко используемая для производства деталей машин. По содержанию углерода относится к доэвтектоидным сталям. Микроструктура – феррит и перлит.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение стали.
2. Классификацию сталей по содержанию углерода; по степени раскисления.
3. Классификация сталей: по качеству, по назначению.
4. Структура, свойства, маркировка и применение конструкционных углеродистых сталей.

5. Структура, свойства, маркировка и применение инструментальных углеродистых сталей
6. Дать определение чугуна.
7. Серый чугун (структура, механические свойства, маркировка, получение и применение).
8. Ковкий чугун (структура, механические свойства, маркировка, получение и применение).
9. Высокопрочный чугун (структура, механические свойства, маркировка, получение и применение).

Практическая работа № 4

Применение методов термической обработки материалов

Цель работы:

- сформировать умения и навыки по выбору режимов термической обработки для различных конструкционных сталей;
- научиться назначать режимы термической обработки.

Задание на практическую работу

Задание 1. Для марки стали соответствующей вашему варианту указать содержание углерода и принадлежность данной стали к конструкционной или инструментальной, определить механические свойства до термообработки. Выбрать и обосновать последовательность операций предварительной и окончательной термообработки изделия из данной стали

Задание 2. Для указанных условий (деталь, марка стали, цель термообработки) определить вид термообработки и ее температурный режим

Пример

Заводу нужно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками. Сталь должна иметь предел текучести не ниже 750 МПА, предел выносливости не ниже 400 МПа и ударную вязкость не ниже 900 кДж/м².

Завод имеет сталь трех марок: Ст 4, 45 и 20ХНЗА. Какую из этих сталей следует применить для изготовления вала? Нужна ли термическая обработка выбранной стали и если нужна, то какая? Дать характеристику микроструктуре и указать механические свойства после окончательной термической обработки.

Решение задачи

Стали марок Ст 4, 45 и 20ХНЗА имеют химический состав, приведенный в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав сталей, %

Сталь	ГОСТ	C	Mn	Si
Ст4	380–71	0,18–0,27	0,40–0,70	0,12–0,30
Сталь45	1050–60	0,42–0,50	0,50–0,80	0,17–0,37
20ХН3А	4543–71	0,17–0,23	0,30–0,60	0,17–0,37

Сталь	ГОСТ	Gr	Ni	S	P
Ст4	380–71	≤0,3	≤0,3	≤0,050	≤0,040
Сталь 45	1050–60	≤0,25 0,60–2,75-	≤0,25 3,15	≤0,045 ≤0,025	≤0,040 ≤0,025
20ХН3А	4543–71	0,90			

Сталь марки Ст4, согласно ГОСТ, имеет следующие свойства в состоянии поставки (после прокатки или ковки): ($\sigma_b = 420 \div 540$ МПа, $\sigma_t = 240 \div 260$ МПа; $\delta = 21\%$).

Сталь 45, согласно ГОСТ, в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более HB 207. При твердости HB 190–200 сталь имеет предел прочности не выше 600–620 МПа, а при твердости ниже HB 180 предел прочности не превышает 550–600 МПа. Для отожженной углеродистой стали отношение σ_t/σ_b составляет примерно 0,5. Следовательно, предел текучести стали 45 в этом состоянии не превышает 270–320 МПа.

Сталь 20ХН3А, согласно ГОСТ, в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более HB 250. Следовательно, предел прочности при твердости HB 230–250 не превышает 670–750 МПа и может быть ниже 600 МПа для плавок с более низкой твердостью. Тогда предел текучести составляет 350–400 МПа, так как σ_t/σ_b для отожженной легированной стали 0,5–0,6.

Таким образом, для получения заданной величины предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для низкоуглеродистой стали Ст4 улучшающее влияние термической обработки незначительно. Кроме того, Ст4 – как сталь обыкновенного качества имеет повышенное содержание серы и фосфора (см. таблицу 4), которые понижают механические свойства и особенно сопротивление ударным нагрузкам.

Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломка которого нарушает работу машины, применение более дешевой по составу стали обыкновенного качества нерационально.

Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХНЗА – к классу высококачественной легированной стали. Они содержат соответственно 0,42–0,50 и 0,17–0,23 % С и принимают закалку.

Для повышения прочности можно применять нормализацию или закалку с высоким отпуском.

Последний вариант обработки сложнее, но позволяет получить не только более высокие характеристики прочности, но и более высокую вязкость. В стали 45 минимальные значения ударной вязкости (a_u после нормализации составляют 200–300 кДж/м², а после закалки и отпуска с нагревом до 500 °С достигают 600–700 кДж/м².

Так как вал двигателя воспринимает в работе динамические нагрузки, а также и вибрации, более целесообразно применить закалку и отпуск. После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемости углеродистой стали эта структура в изделиях диаметром более 20–25 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной до 2–4 мм.

Последующий отпуск вызывает превращение мартенсита и троостита в сорбит только в тонком поверхностном слое, но не влияет на структуру и свойства перлита и феррита в основной массе изделий.

Сорбит отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем феррит и перлит.

Наибольшие напряжения от изгиба, кручения и повторно переменных нагрузок воспринимают наружные слои, которые и должны обладать повышенными механическими свойствами. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла.

Таким образом, углеродистая сталь не будет иметь требуемых свойств по сечению вала диаметром 70 мм.

Сталь 20ХНЗА легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки достаточно однородные структуру и механические свойства в сечении диаметром до 75 мм.

Для стали 20ХНЗА рекомендуется термическая обработка:

1. Закалка с 820—835° С в масле.

При закалке с охлаждением в масле (а не в воде, как это требуется для углеродистой стали) возникают меньшие напряжения, а, следовательно, и меньшая деформация. После закалки сталь имеет структуру мартенсита и твердость не ниже $HRC\ 50$.

2. Отпуск 520–530 °С. Для предупреждения отпускной хрупкости, к которой чувствительны стали с хромом и марганцем, вал после нагрева следует охлаждать в масле.

Механические свойства стали 20ХНЗА в изделии диаметром до 75 мм после термической обработки:

Предел прочности $\sigma_b=900\text{--}1000$ МПа, предел текучести $\sigma_t = 750\text{--}800$ МПа, относительное удлинение $\delta = 8\text{--}10\%$, относительное сужение $\psi = 45\text{--}50\%$, ударная вязкость $a_u = 900$ кДж /м².

Таким образом, эти свойства обеспечивают требования, формулированные в задаче, для вала диаметром 70 мм.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение закалки.
2. Указать цель закалки и способы закалки доэвтектоидной и заэвтектоидной сталей.
3. Перечислить структуры, которые можно получить при закалке.
4. Описать влияние содержания углерода в доэвтектоидной стали на температуру нагрева под закалку.
5. Указать состояние сплава, предшествующее операции отпуска.
6. Описать фазовые превращения, протекающие при отпуске закалённых сплавов.
7. Указать температуры низкого, среднего и высокого отпуска.
8. Описать структуру, образующуюся после низкого, среднего и высокого отпуска.
9. Перечислить изделия, для которых применяют низкий, средний и высокий отпуск.
10. Описать влияние температуры отпуска на механические свойства стали.

Практическая работа № 5

Определение основных свойств легированных конструкционных сталей по их маркам

Цель работы: приобрести умения определять свойства легированных сталей по их маркам

Задание на практическую работу

1. Изучить легирование сталей
2. Изучить влияние легирования на свойства сталей
3. Научиться определять свойства конструкционных легированных сталей по их маркам

Пример

Дана марка стали 09Г2С. Определить примерный химический состав стали, к какому классу она относится, описать примерные свойства и назначение данной стали.

Решение

В стали марки 09Г2С: примерно 0,09 % углерода, 2 % марганца, 1 % кремния, остальное железо. Сталь относится к конструкционным строительным сталям доэвтектоидного класса. Сталь имеет низкие прочностные и высокие пластические свойства, не подвергается термообработке (из-за низкого содержания углерода). Используется для строительных конструкций.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение легированных сталей.
2. Указать цель легирования.
3. Описать свойства корпусных судостроительных сталей и привести их марки.
4. Описать требования к цементуемым легированным сталям и отличие их свойств от углеродистых.
5. Описать требования к улучшаемым сталям, их марки и области применения.
6. Перечислить свойства рессорно-пружинных сталей, указать их термообработку и марки.
7. Описать требования к шарикоподшипниковым сталям.

Практическая работа № 6

Определение основных свойств легированных инструментальных сталей по их маркам

Цель работы: приобрести умения определять свойства легированных инструментальных сталей по их маркам

Задание на практическую работу

1. Изучить легирование сталей
2. Изучить влияние легирования на свойства сталей
3. Научиться определять свойства инструментальных легированных сталей по их маркам

Пример

Дана марка стали 9ХС. Определить примерный химический состав стали, к какому классу она относится, описать примерные свойства и назначение данной стали.

Решение

В стали марки 9ХС: примерно 0,9 % углерода, 1 % хрома, 1 % кремния, остальное железо. Хром вводится в сталь для увеличения прокаливаемости. Для стали характерна низкая теплостойкость (250 градусов). Большое количество углерода придает стали высокую прочность и твердость. Сталь используется для инструментов, работающих при низких скоростях резания.

Вопросы для самопроверки

1. Особенности и марки быстрорежущих сталей.
2. Штамповые стали холодной и горячей обработки давлением.
3. Назовите классы твердых сплавов.
4. Легированные инструментальные стали низкой теплостойкости.

Практическая работа № 7

Выбор машиностроительных сталей

Цель работы: приобрести умения выбирать материалы для типовых деталей машин и назначать для них упрочняющую термическую и химико-термическую обработку.

Задание на практическую работу

Выбрать материал для изготовления указанной детали. Рекомендовать термическую и химико-термическую обработку, обеспечивающую заданные свойства. Привести химический состав выбранного материала, а также микроструктуру в готовом изделии.

Пример

Выбрать материал для изготовления шатуна рычажного механизма. Деталь имеет размер наименьшего сечения $L = 35$ мм. Материал должен иметь предел текучести $\sigma_T \geq 900$ МПа и ударную вязкость $K_{CU} \geq 50$ Дж см². Помимо этого, необходимо обеспечить повышенную износостойкость в цапфах. Рекомендовать режим термической или химико-термической обработки, обеспечивающей заданные свойства, показать микроструктуру и механические свойства, а также химический состав материала в готовом изделии.

Решение

Шатун испытывает большие напряжения растяжения, поэтому необходимо выбрать улучшаемую сталь. Необходимые механические характеристики имеют две стали (группа IV): 40ХНР ($\sigma_T = 900$ Мпа) и 40ХНМА после закалки в воде ($\sigma_T = 1500$ Мпа).

Как известно, для деталей, работающих при эксплуатации на растяжение, необходимо обеспечить сквозную прокаливаемость. Поэтому критерию наиболее подходит сталь 40ХНМА (прокаливаемость стали 40ХНМА 40мм, а стали 40ХНР – 25мм), на которой и следует остановить выбор.

Необходимые механические свойства обеспечиваются после улучшения: закалки от 850 °C в масле и высокого отпуска (520 °C) с охлаждением в воде или масле (во избежание отпускной хрупкости).

Выбранная сталь имеет следующий химический состав

Химический элемент	C	Cr	Ni	M	S	P	Fe
Содержание, %	0,37-0,44	0,6-0,9	1,25-1,65	0,15-0,25	<0,025	<0,025	остальное

Наличие в составе стали 40ХНМА хрома и молибдена позволяет

проводить в качестве упрочняющей химико-термической обработки цапф азотирование. Его режим: температура 500...520 °C, продолжительность 50...60 ч, толщина упрочненного слоя 0,5...0,6 мм, поверхностная твердость 640...700 HV. Микроструктура в готовом изделии будет однородна по сечению – сорбит отпуска и избыточный феррит.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите виды машиностроительных сталей
2. Назовите принципы выбора стали для определенной детали
3. Назначение термической или химико-термической обработки сталей.

Практическая работа № 8 **Выбор инструментальных сталей**

Цель работы: получить навыки выбора материалов для изготовления режущего, штамповочного и измерительного инструмента в зависимости от условий его работы и научиться назначать упрочняющую термическую и химико-термическую обработку.

Задание на практическую работу

Выбрать материал для изготовления указанного инструмента. Рекомендовать термическую и химико-термическую обработку, обеспечивающую заданные свойства. Привести химический состав выбранного материала, а также микроструктуру в готовом изделии.

Пример

Выбрать материал резца для обработки конструкционной стали твердостью до HRC 30...45, жаропрочных и конструкционных сталей со скоростью резания не менее 80 м/мин. Привести химический состав и механические свойства материала в готовом изделии. Назначить вид и режимы термической обработки, описать структуру материала в состоянии поставки и приобретенную после термической обработки.

Решение

Учитывая высокие требуемые скорость резания и теплостойкость при обработке твердых конструкционных и легированных сталей, останавливаем свой выбор на быстрорежущих стальях повышенной производительности.

Расчет индекса стоимости показывает, что наиболее дешевой является сталь Р12Ф3, которую и выбираем. Эта сталь имеет следующий химический состав.

Марка стали	P12Ф3	P18Ф2	P9M4K8	P13Ф4К5	P18Ф2К5
$K_{инд}$	53	58	75,5	78,9	75,8

Быстрорежущие стали относятся к карбидному (ледебуритному) классу. В состоянии поставки фазовый состав стали представляет собой легированный феррит и карбиды. Для снижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием сталь подвергают отжигу при температуре 840...860 °C. Структура отожженных сталей состоит из сорбитообразного перлита, вторичных и более крупных первичных карбидов.

Для обеспечения высоких режущих свойств необходимо провести закалку и трехкратный отпуск. Во избежание появления трещин заготовки при закалке нагревают медленно с прогревами при 450 и 850 °C, применяя соляные ванны для уменьшения окисления и обезуглероживания. Температура закалки – 1230...1260 °C. Для уменьшения деформации инструмента применяем ступенчатую закалку с выдержкой в соляной ванне при 500...550 °C.

После закалки сталь не обладает максимальной твердостью HRC 60...62, так как в структуре кроме мартенсита и первичных карбидов присутствует 30...40 % остаточного аустенита. Остаточный аустенит превращают в мартенсит при отпуске (550...570 °C) или обработке холодом. Проведение трехкратного отпуска обеспечивает повышение твердости до HRC 65...69.

Таким образом, применение выбранной стали обеспечит сохранение мартенситной структуры и твердости при нагреве режущей кромки до 620...635 °C, повышение допустимой скорости резания в 2...4 раза и стойкости инструмента до переточки в 10...30 раз по сравнению с обычными легированными инструментальными стальюми.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите виды инструментальных сталей
2. Описать принцип выбора стали для определённого инструмента.
3. Описать порядок назначения термической или химико-термической обработки сталей.

Хими-ческий элемент	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	S	P	Fe
Содер-жание, %	0,75... 1,05	≤0,4	≤0,5	3,8... 4,3	12,0... 13,0	0,5... 1,0	2,5... 3,0	≤0,04	≤0,035 ...0,04	ос-таль-ное

Практическая работа № 9

Выбор коррозионностойких материалов

Цель работы: приобрести умения выбирать материалы для изготовления металлоконструкций, работающих в условиях воздействия влажной атмосферы, агрессивных сред пищевых, химических производств и т. д.

Задание на практическую работу

Выбрать материал, обладающий заданной стойкостью в указанной коррозионной среде. Рекомендовать термическую и химико-термическую обработку, обеспечивающую заданные свойства. Привести химический состав выбранного материала, а также микроструктуру в готовом изделии.

Пример

Выбрать материал для хранения и перевозки 50%-ной азотной кислоты при температуре окружающей среды. Рекомендовать режим термической обработки, обеспечивающий высокую стойкость к коррозии; показать микроструктуру и механические свойства, а также химический состав материала в готовом изделии.

Решение

В коррозионной среде указанного состава весьма стойкими (балл3, скорость коррозии 5–10 мкм/год) являются аустенитные хромоникелевые стали 08Х18Н10Т и 08Х17Н13М2Т. Из этих двух сталей более дешевой является сталь 08Х18Н10Т (она содержит меньше дефицитного никеля и не содержит молибдена). Ее химический состав такой.

Химический элемент	C	Cr	Ni	Ti	S	P	Fe
Содержание, %	<0,08	17-18	9-11	0,6	<0,025	<0,025	остальное

Для получения однородной аустенитной структуры, обладающей наиболее высокой коррозионной стойкостью, сталь подвергают закалке от 1050...1100 °С в воду или на воздухе. После этого сталь обладает довольно высокими механическими свойствами: $\sigma_B = 520$ МПа, $\delta = 40\%$.

Выбранная сталь поставляется в виде холоднокатаного листа. Она хорошо штампуется, что важно при изготовлении цистерны. В процессе пластической деформации происходит частичное мартенситное превращение аустенита, что сопровождается трехкратным повышением предела прочности. После штамповки цистерна сваривается. Сталь 08Х18Н10Т является стабилизированной, т. е. содержит пониженное количество углерода и дополнительный карбидообразующий элемент – титан, поэтому ее нагрев не

вызывает выделения хрома из аустенита, снижающего его коррозионную стойкость. Соответственно, сварка этой стали не повышает склонности к межкристаллитной коррозии.

Вопросы для самопроверки

1. Описать механизм электрохимической коррозии.
2. Описать принцип выбора стали для определённой детали.
3. Описать порядок назначения термической или химико-термической обработки сталей.
4. Перечислить элементы, добавление которых в сталь увеличивает коррозионную стойкость, и объяснить почему.

Практическая работа № 10

Выбор жаропрочных и жаростойких сталей

Цель работы: получить навыки выбора сталей и сплавов, обладающих высокой длительной прочностью и стойкостью к газовой коррозии в условиях высоких температур.

Задание на практическую работу

Выбрать материал для изготовления указанной детали или металлоконструкции, обладающий достаточной стойкостью в условиях высоких температур. Указать режимы термической обработки, обеспечивающие заданные свойства. Привести химический состав выбранного материала, а также микроструктуру в готовом изделии.

Пример

Выбрать материал для котла сверхвысокого давления тепловой электростанции, работающего при температуре до 680 °С. Материал должен иметь предел длительной прочности $\sigma_{650} \geq 60$ Мпа. Привести химический состав материала, режим термической обработки, обеспечивающий заданные свойства, и микроструктуру в готовом изделии.

Решение

Для котлов сверхвысокого давления с рабочей температурой 500...700°С Используют аустенитные дисперсионно-твердеющие стали 18Н10Т, 4Х14Н14В2М, 4Х12Н8Г8МБФ, 09Х15Н19В2БР и др. Учитывая высокое значение заданной рабочей температуры, наиболее целесообразно применение сложнолегированной стали 4Х12Н8Г8МБФ. Ее химический состав.

Сталь 4Х12Н8Г8МБФ имеет предел длительной прочности $\sigma_{650} \geq 64$ Мпа, что превышает требуемую величину.

Максимальную жаропрочность аустенитных сталей обеспечивает закалка от 1050...1100 °С и старение. Температура старения (750...800°С) должна

превышать рабочую.

Микроструктура стали в готовом изделии представляет собой аустенит и избыточные фазы (карбиды, интерметаллические соединения и т. д.).

Выбранная сталь обеспечит длительную эксплуатацию котла при рабочей температуре, хотя и обладает относительно высокой стоимостью.

Вопросы для самопроверки

1. Описать механизм химической коррозии.
2. Описать принцип выбора стали для определённой детали.
3. Описать порядок назначения термической или химико-термической обработки сталей.
4. Указать элементы легирования, увеличивающие жаростойкость стали, и объяснить почему.
5. Объяснить отличие жаростойкости от жаропрочности.

Практическая работа № 11

Выбор сталей и сплавов, работающих при низких температурах

Элемент	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Nb	V	Si	S	P
Содержание, %	0,34-0,4	11,5-13,6	7-9	7-9	1,1-1,4	0,25-0,45	1,2-1,5	0,17-0,37	≤0,04	≤0,04

Цель работы: научиться выбирать материалы для деталей машин и металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях низких климатических температур, а также сверхнизких температур криогенной техники.

Задание на практическую работу

Выбрать материал, не склонный к хрупкому разрушению в области рабочих температур. Привести режим термической обработки, а также механические свойства при нормальной и рабочей температурах. Указать химический состав выбранного материала и микроструктуру в готовом изделии.

Пример

Выбрать материал резервуара для хранения и перевозки сжиженного азота. Привести химический состав материала, режим термической обработки, обеспечивающей работоспособность материала при криогенных температурах, а также механические свойства при нормальной и рабочей температурах и

микроструктуру.

Решение

Температура конденсации азота составляет -196°C , что входит в диапазон рабочих температур всех сталей, применяемых в криогенной технике. Наиболее дешевой является сталь 0Н9, поскольку она содержит наименьшее количество легирующих элементов.

Химический элемент	C	Ni	Mn	Si	S	P	Fe
Содержание, %	$\leq 0,10$	8,5...10	0,3...0,6	0,15...0,35	$\leq 0,15$	$\leq 0,02$	осталь- ное

Для элементов оболочки резервуара наиболее рациональной представляется термическая обработка, состоящая из двойной нормализации с 900 и 790°C и старения при $550\text{...}600^{\circ}\text{C}$.

После первой нормализации сталь имеет структуру мартенсита с $10\text{...}15\%$ остаточного аустенита, после второй нормализации количество остаточного аустенита уменьшается до нескольких процентов. Старение вызывает упрочнение стали за счет выделения из мартенсита промежуточных фаз. Таким образом, в готовом изделии сталь будет иметь структуру мартенсита, упрочненного промежуточными фазами, и аустенита (в количестве нескольких процентов).

К достоинствам стали 0Н9 относится также отсутствие необходимости термической обработки сварных соединений.

После окончательной термической обработки сталь 09Н будет иметь следующие механические свойства:

– при 20°C : $\sigma_{\text{B}} = 720 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 520 \text{ МПа}$, $\delta = 28\%$, $\psi = 82\%$,
 $\text{KCU} = 2,53 \text{ МДж/m}^2$;
– при -196°C : $\sigma_{\text{B}} = 1100 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 820 \text{ МПа}$, $\delta = 26\%$,
 $\psi = 65\%$, $\text{KCU} = 1,29 \text{ МДж/m}^2$.

Выбранная сталь 0Н9 сохраняет при рабочей температуре достаточно высокую ударную вязкость, является относительно дешевой и технологичной в отношении обработки давлением и сварки.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите марки материалов, работающих при низких температурах
2. Описать принцип выбора материала для детали криогенной техники.
3. Описать принципы термической обработки деталей и конструкций, работающих при низких температурах.

Практическая работа № 12

Применение цветных металлов и сплавов

Цель работы: получение навыков рационального применения цветных металлов и сплавов на их основе для изготовления деталей машин.

Задание на практическую работу

Для изготовления указанной детали или конструктивного элемента используется цветной сплав. Обоснуйте целесообразность его применения по сравнению с возможным заменителем. Приведите химический состав цветного сплава, а также режим упрочняющей термической обработки и механические свойства в готовом изделии

Пример

Магниевый сплав Мл5 применяют для изготовления деталей швейных машин (шпульки, катушки). Обоснуйте целесообразность использования этого относительно дорогого цветного сплава по сравнению с дешевым заменителем (ковкий чугун КЧ 37-12).

Решение

Вращающиеся с большой частотой детали швейных машин испытывают большие центробежные силы. Напряжение от центробежной силы прямо пропорционально плотности материала. Черные сплавы, в том числе ковкий чугун, примерно в 4,5 раза превосходят магниевые сплавы по плотности, а также по пределу прочности, т.е. имеют примерно одинаковую удельную прочность. Соответственно, в случае вышеупомянутых деталей, форма и размеры которых определяются их кинематической функцией, по воздействию центробежных сил магниевый сплав Мл5 примерно равносечен ковкому чугуну КЧ 37-12.

При разгоне швейной машины вращающиеся детали, выполненные из ковкого чугуна, будут создавать примерно в 4,5 раза большую инерцию, чем в случае, если бы они были изготовлены из магниевого сплава Мл5.

При литье чугуна потребуется значительно большая температура заливки ($T_{пл} = 1150...1500^{\circ}\text{C}$), чем в случае магниевых сплавов ($T_{пл} \approx 650^{\circ}\text{C}$).

Хотя цена магниевых сплавов примерно в 7 раз превышает цену черных сплавов, это не будет существенным при изготовлении относительно малогабаритных деталей швейных машин.

Таким образом, по ряду технологических и эксплуатационных характеристик магниевый сплав Мл5 является более предпочтительным для изготовления вращающихся деталей швейных машин, чем ковкий чугун КЧ 37-12.

Литейный сплав Мл5 легирован несколькими элементами

Химический элемент	Mn	Zn	Al	Mg
Содержание, %	0,15...0,5	0,2...0,8	7,5...9,0	остальное

Марганец улучшает коррозионную стойкость, а цинк и алюминий повышают механические свойства.

Отливки из высокопрочного сплава Мл5 подвергаются упрочняющей термической обработке: закалке (420°C , выдержка 12–24 ч) и отпуску (170°C , выдержка 16 ч), после чего обладают хорошими прочностными свойствами ($\sigma_{\text{B}} = 255 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 120 \text{ МПа}$, $\delta = 6\%$).

Вопросы для самопроверки

1. Объясните, чем отличаются свойства цветных и черных металлов
2. Перечислите сплавы меди, которые Вы знаете. Приведите примеры марок этих сплавов.
3. Объясните, в чем особенность свойств алюминиевых деформируемых сплавов
4. Перечислите, какие литейные сплавы алюминия Вы знаете
5. Приведите примеры магниевых и титановых сплавов.

Практическая работа № 13

Применение неметаллических конструкционных материалов

Цель работы: получение навыков и умений изучения свойств важнейших неметаллических конструкционных материалов: пластмасс, керамики, стекла и резины; особенностей применения неметаллических конструкционных материалов в машиностроении

Задание на практическую работу

Выбрать материал для указанного изделия или конструктивного элемента с учетом особенностей его функционирования. Привести строение и механические свойства материала в готовом изделии

Пример

Выбрать материал для колеса малошумящей червячной передачи, если скорость скольжения не превышает 2 м/с, а напряжения составляют $\sigma = 60 \text{ МПа}$. Привести строение и механические свойства материала в готовом изделии.

Решение

Отсутствие шума при работе червячной передачи может обеспечить применение червячных колес, изготовленных из пластмасс (отличающихся антифрикционными свойствами – полиамиды, текстолит).

Допустимые напряжения для полиамидов составляют $\sigma_{\text{B}} = 50 \text{ МПа}$, для текстолитов – $\sigma_{\text{B}} = 65 \text{ МПа}$. Таким образом, достаточную несущую способность обеспечивают текстолиты ($\sigma_{\text{B}} = 65 > 60 = \sigma$).

Текстолит – слоистый пластик на основе хлопчатобумажной ткани и

фенолформальдегидной связки.

Его механические свойства: $\sigma_b = 65 \dots 100$ МПа, $\delta = 1 \dots 3\%$, $a_h = 20 \dots 35$ Дж / см². Детали из текстолита могут работать при температуре 125 °C.

Применение червячных колес, изготовленных из текстолита, обеспечивает амортизацию ударов при работе передачи, глушение механической вибрации и минимальный износ зубьев.

Несмотря на то, что цена текстолита примерно на порядок превосходит цену литейных бронз, используемых для аналогичных целей, производство червячных колес из этого пластика потребует в 4...5 раз меньших капиталовложений и трудоемкости. Текстолит поставляется в виде плит и листов.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите классификации полимеров.
2. Дать определение пластмасс и указать области их применения.
3. Особенности керамических материалов и области их применения.
4. Объяснить отличие ситаллов от силикатных стекол.
5. Описать процесс получения резины.

Практическая работа № 14

Проектирование и расчет модели для получения полостей в литейных формах

Цель работы: получение навыков проектирования и расчета модели для получения полостей в литейной форме

Задание на практическую работу

1. Изучить процесс получения песчано-глинистой формы и необходимой оснастки.
2. Научиться разрабатывать эскизы модели.
3. Рассчитать модель для получения полостей в литейной форме.

Пример

Дана деталь. Рассчитать модель для получения полостей в литейных формах.

Решение

Разработка чертежа модели

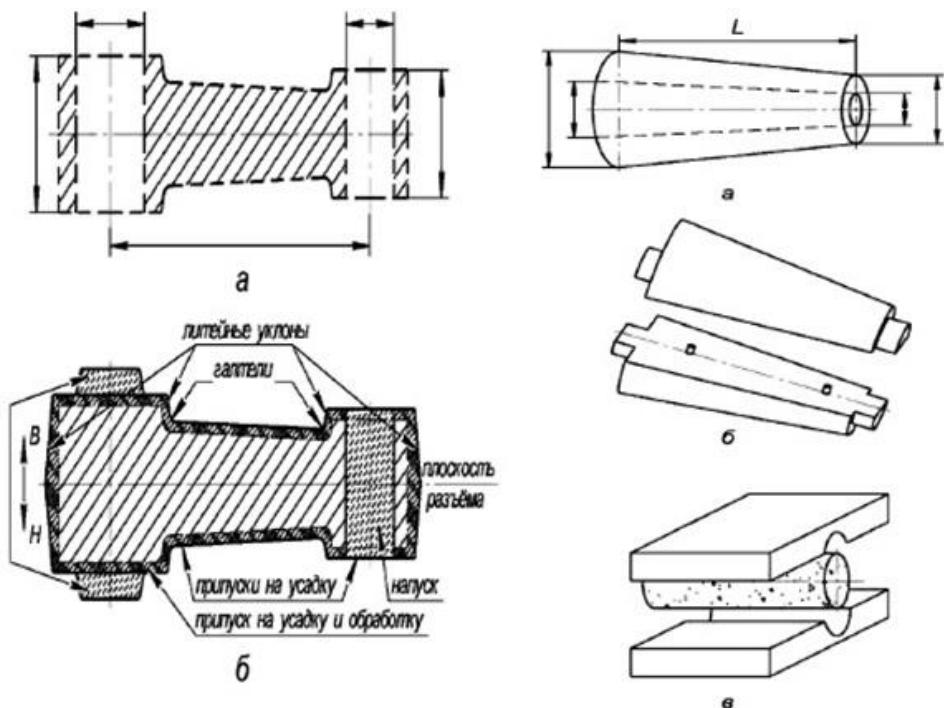


Рисунок 3 – Разработка чертежа модели:
а – чертеж детали; б – чертеж модели; в – эскиз стержневого ящика со стержнем

Исходным документом для разработки чертежа модели (рисунок 3, б) является чертеж детали (рисунок 3, а). Модель является прототипом будущей детали и отличается от нее:

- припусками на величину усадки литьевого сплава и последующей механической обработкой для обеспечения заданной геометрической точности и качества поверхности детали;
- формовочными (литейными) уклонами на вертикальных стенках модели для обеспечения свободного удаления модели из формы без повреждения и разрушения ее стенок; уклоны в зависимости от высоты модели могут составлять 0,5–3°;
- галтелями – скреплениями внутренних углов поверхностей модели; галтели облегчают извлечение модели из формы, предохраняют от осыпания формовочной смеси в углах формы, предотвращают появление трещин в отливке;
- стержневыми знаками, представляющими собой выступы на модели для образования в форме знаковых углублений, в которые помещают стержень, формирующий в отливке отверстие или внутреннюю полость;
- напусками, предусматривающимися в тех местах отливки, которые нецелесообразно изготавливать литьем; напуски упрощают модель и, следовательно, изготовление отливки; например, литьем невыгодно изготавливать отверстия диаметром 20–50 мм, так как стержни для них будут недостаточно прочными и поэтому могут разрушиться струей заливающего

металла; в этих местах предусматривают на чертеже модели (отливки) напуски, а необходимые на детали отверстия будут изготовлены сверлением;

– плоскостью разъема, разделяющую модель на две половины для облегчения формирования и извлечения ее из формы; плоскость разъема в большинстве случаев проектируют по плоскостям симметрии детали.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение литейного производства.
2. Перечислить состав модельного комплекта.
3. Назначение модели, и каковы ее отличия от готовой отливки
4. Дефекты в отливке, называемые усадкой
5. Дать определение ликвации литейных сплавов

Практическая работа № 15

Проектирование и расчет стержней

Цель работы: получение навыков проектирования и расчета стержней для литейной формы

Задание на практическую работу

Научиться разрабатывать эскизы стержневого ящика и стержня

Пример

Спроектировать и рассчитать стержни и стержневые ящики для отливки детали (рисунок 3, а).

Решение

Изготовление стержня

Для получения отверстия в отливке изготавливают стержень в разъемном стержневом ящике (рисунок 4).

Половинки стержневого ящика очищают от остатков смеси, протирают рабочие поверхности ветошью, смоченной в керосине. Обе половинки ящика скрепляются и в образовавшуюся полость засыпают и уплотняют стержневую смесь. В нее закладывается для обеспечения прочности стержня металлический каркас, после чего смесь повторно уплотняют, накалывают вентиляционные каналы для выхода газов. Затем ящик разбирается, стержень извлекается, сушится при температуре 120–250 °С. При этом удаляется влага, а связующие материалы, спекая смесь, повышают твердость, прочность и газопроницаемость стержня.

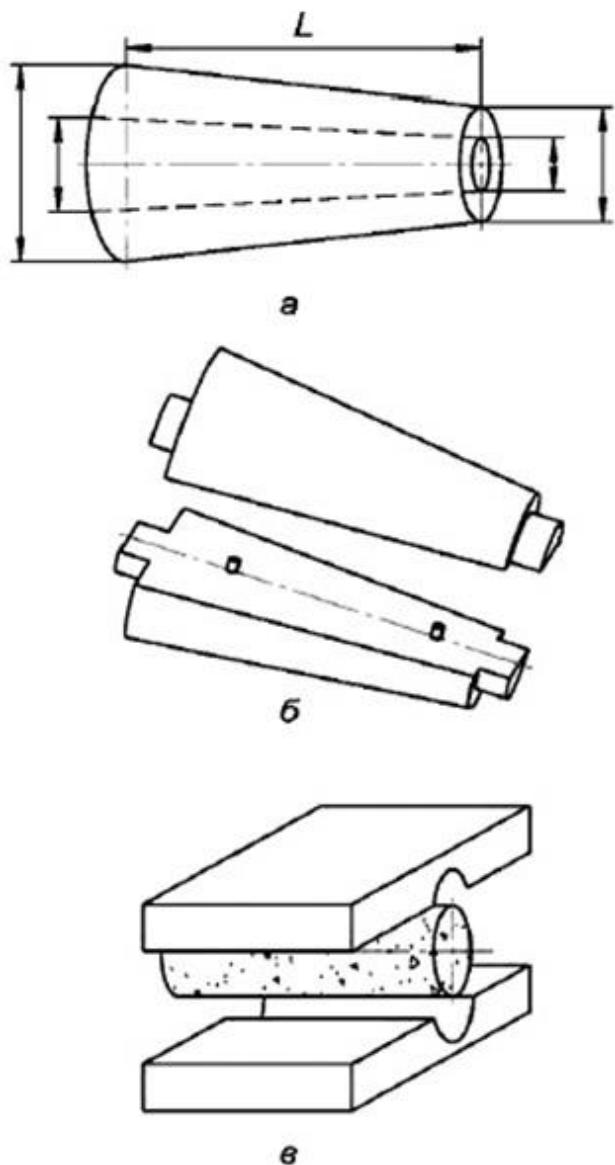


Рисунок 4 – Отливка и модельно-опочечный комплект:
а – чертеж модели; б – модель; в – ящик со стержнем

Вопросы для самопроверки

1. Назначение стержня
2. Изложите порядок изготовления литейной формы при ручной формовке.
3. Материалы, используемые для получения стержня
4. Назовите основные литейные свойства сплавов

Практическая работа №16

Проектирование и расчет элементов литниковой системы

Цель работы: получение навыков проектирования и расчета элементов литниковой системы

Задание на практическую работу

Рассчитать элементы литниковой системы.

Изобразить эскиз литниковой системы.

Пример. Изобразите эскиз литниковой системы и опишите ее части.

Литниковая система состоит из *литниковой чаши* 1, *стояка* 2, *шлакоуловителя* 3 и *питателей* 4. Литниковая чаша уменьшает динамический напор струи металла и частично отделяет шлак. Стояк, соединяющий литниковую чашу со шлакоуловителем, делают конусным. Шлакоуловитель трапециoidalного сечения размещают в верхней половине формы в плоскости разъема. Он должен задержать шлаковые и земляные включения, не допустив их в полость формы. Это достигают понижением скорости металла в шлакоуловителе, изменяя направление его движения. При торможении металла шлаковые включения всплывают и задерживаются в шлакоуловителе. Хорошо очищает металл шлакоуловитель гребенчатого типа (рисунок 5, б). При машинной формовке используют фильтровальную огнеупорную сетку 5, которую устанавливают в воронку (рисунок 5, в) или в шлакоуловитель (рисунок 5, г). Питатели подводят металл непосредственно в полость формы. Размещают их в нижней полуформе в плоскости разъема.

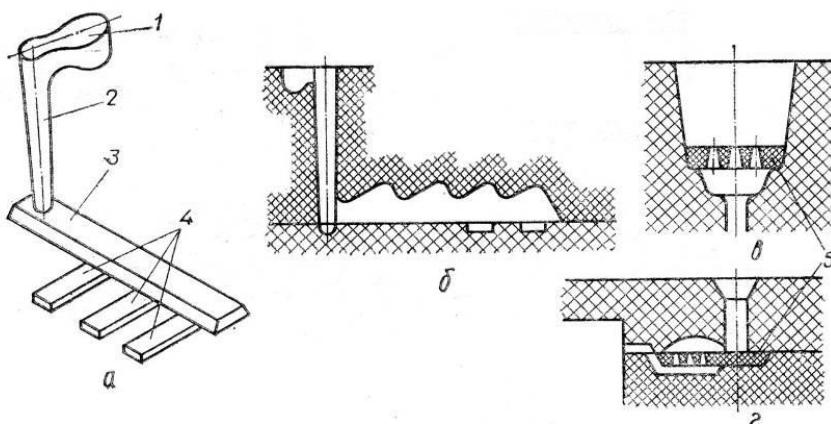


Рисунок 5 – Литниковая система:

- а) литниковая система; 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель;
- 4 – питатели; б) шлакоуловитель гребенчатого типа; в) воронка;
- г) шлакоуловитель при машинной формовке;
- 5 – фильтровальная огнеупорная сетка

Расчет литниковой системы производится по вариантам, исходя из чертежа детали и данных (практическая работа 14).

Вопросы для самопроверки

1. Назначение литниковой системы.
2. Элементы, входящие в литниковую систему.
3. Дать определение жидкотекучести литьевых сплавов.
4. Факторы, которые влияют на жидкотекучесть.
5. Дать определение усадки литьевых сплавов.

Практическая работа № 17

Выбор инструмента и разработка технологии для обработки отливки

Цель работы: получить практические навыки разработки технологии для обработки отливки

Задание на практическую работу

1. Изучить инструменты для обработки отливок
2. Выбрать инструмент для обработки отливок
3. Разработать технологию обработки отливки

Пример

Выберите инструмент для получения отверстий в литых заготовках

Решение

Для этой цели используются

- Сверлильные станки для создания отверстий разных диаметров и глубин. В конструкции станка есть шпиндель с патроном для фиксации оснастки.
- Сверла – различаются по размерам (длине, диаметру) и форме:
- спиральные – цилиндрическая форма, режущая кромка затачивается под углом 118 градусов,
- конические – выполнены в виде конуса со ступенчатой поверхностью, используются для вы сверливания отверстий и исправления проходов с дефектами
- коронки (кольцевые фрезы) – полое зубчатое сверло, предназначено для сверления тонкого металла.

Вопросы для самопроверки

1. Факторы, от которых зависит качество поверхности обработанной детали
2. Укажите основные элементы режущей части резца.
3. Перечислите существующие конструкции резцов.
4. Дать характеристику типов резцов в зависимости от их назначения.
5. Перечислите основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
6. Дайте краткую характеристику современным инструментальным материалам.
7. Инструментальные материалы, применяемые для изготовления токарных резцов

Практическая работа № 18

Разработка технологического процесса холодной листовой штамповки

Цель работы: получить практические навыки разработки технологического процесса холодной листовой штамповки.

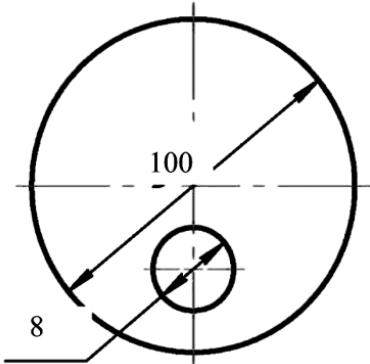
Задание на практическую работу

1. Освоить способы экономичного раскroя листового материала.
2. Научиться пользоваться ГОСТами на материал и сортамент.
3. Научиться составлять технологический процесс.

Пример

Рассчитать массу детали.

Определить коэффициент использования материала (КИМ) для двух вариантов раскroя (для листа и ленты или полосы).



Материал – Сталь 30 ГОСТ 1050-2013

Толщина листа 1 мм

Решение

Масса детали рассчитывается из геометрических соображений, и, принимая плотность стали, равной 7,85 г/см³.

Расчет коэффициента использования материала (КИМ) выполнить по любой из формул.

$$\text{КИМ} = \frac{F_d}{F_3} = \frac{\sum F_d}{F_{\text{листа}}} = \frac{m_3}{m_d}$$

где F_d – площадь детали, см²; F_3 – площадь заготовки, см²; $\sum F_d$ – сумма площадей деталей, раскроенных на листе, см²; $F_{\text{листа}}$ – площадь всего листа, см²; m_d – масса детали, кг; m_3 – масса заготовки, кг.

Определить усилие вырубки и усилие пресса. Усилие вырубки в кН

$$P = 0,8\sigma_B \cdot Z \cdot S,$$

где σ_B – временное сопротивление при растяжении (МПа) – определить из ГОСТа на материал; Z – периметр, по которому произошло отделение детали от заготовки, мм; S – толщина материала, мм.

Усилие пресса

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \text{ (МПа)}.$$

Разработать технологический процесс холодной листовой штамповки заданной детали с пооперационными эскизами заготовки. Использовать в качестве примера заводской технологический процесс.

Мелкосерийное производство

1. Отрезать от листа полосу в размер ... мм. Гильотинные ножницы

2. Разрезать полосу на детали в размер ... мм. Гильотинные ножницы, универсальный штамп.

3. Пробить фигурный паз (если имеется отверстие в детали).

Упрощенный штамп

4. Зачистить детали. Наждак

5. Контроль.

Вопросы для самопроверки

1. Дать определение штамповке

2. Виды штамповки

3. Особенности холодной листовой штамповки

4. Способы рационального раскroя материала для листовой штамповки

5. Расчет необходимого усилия пресса для холодной листовой штамповки

Практическая работа № 19

Обработка заготовок на станках токарной группы

Цель работы: изучить технологию обработки заготовок на станках токарной группы

Задание на практическую работу

1. Ознакомиться с металлорежущим инструментом и основными технологическими операциями.

2. Изучить виды токарных резцов и материалы, применяемые для изготовления инструмента, изучить влияние режима резания на качество готовых изделий.

Пример

Определить режимы резания при токарной обработке (для своего варианта)

Решение

Режим резания при токарной обработке определяется скоростью резания V , подачей S_n и S_{np} , глубиной резания t (рисунок 6). Эти параметры режима резания характеризуют интенсивность процесса резания. Скорость резания V , м/мин определяется как линейная скорость точки заготовки, расположенной на обрабатываемой поверхности и наиболее удалённой от оси заготовки. Скорость резания определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ (м / мин)}$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности (диаметр заготовки), мм; n – частота вращения заготовки, об/мин.

Путь, пройденный режущей кромкой инструмента относительно заготовки за единицу времени главного движения, например, за один оборот заготовки, называют подачей и обозначают S , м/мин или мм/об. Подача бывает

продольной (вдоль оси заготовки) и поперечной S_n (перпендикулярно оси заготовки).

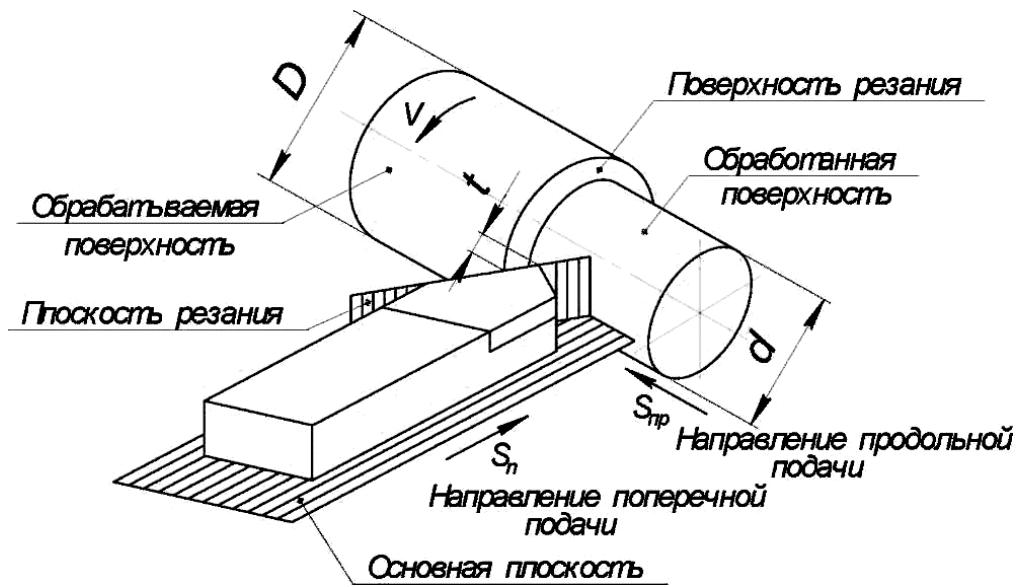


Рисунок 6 – Координатные плоскости и поверхности заготовки

Глубина резания t , мм, представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхности, измеренное перпендикулярно к последней.

При токарной обработке глубина резания определяется по формуле

$$t = 0,5(D-d)$$
 (мм),

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; d – диаметр обработанной поверхности, мм.

Подставляя численные значения для своего варианта, производится расчет режимов резания.

Вопросы для самопроверки

1. Назвать основные параметры режима резания.
2. Дать определение скорости резания, подачи, глубины резания.
3. Явления, которыми сопровождается процесс резания
4. Отличие черновой обработки от чистовой
5. Факторы, от которых зависит качество поверхности обработанной детали
6. Влияние величины главного заднего угла α на процесс резания
7. Влияние величины переднего угла γ на процесс резания
8. Укажите основные элементы режущей части резца.
9. Перечислите существующие конструкции резцов.
10. Дать характеристику типов резцов в зависимости от их назначения.
11. Перечислите основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам.

12. Дайте краткую характеристику современным инструментальным материалам.
13. Инструментальные материалы, применяемые для изготовления токарных резцов
14. Объясните, почему углеродистые инструментальные стали редко применяют для изготовления токарных резцов
15. Преимущества легированных сталей для режущего инструмента перед углеродистыми сталью
16. Быстрорежущие стали, твёрдые сплавы. Назвать марки

Практическая работа № 20

Определение технологических свойств порошков

Цель работы: Получить навыки определения технологических свойств порошков (насыпной плотности, плотности утряски, текучести, угла естественного откоса). Уметь определять основные технологические свойства металлического порошка, рассчитывать пористость, относительную плотность порошка; определять уплотняемость и формуемость порошка.

Задание на практическую работу

Изучить методику определения технологических свойств порошков (насыпной плотности, плотности утряски, текучести, угла естественного откоса). Определить основные технологические свойства металлического порошка, рассчитать пористость, относительную плотность порошка; определить уплотняемость и формуемость порошка.

Пример

Определить плотность утряски, объем утряска металлического порошка, зная массу и объем порошка, а также объемные характеристики (относительный объем, относительную плотность и пористость)

Решение

Известную массу порошка делят на величину объема, определяя значение плотности утряски:

$$\gamma_{утр} = G/V,$$

где G – масса порошка, г; V – объем, занимаемый навеской порошка массой G , после его утряски, см³.

Максимальная плотность утряски достигается на порошках со сферической формой частиц при минимальной шероховатости их поверхности.

Величину, обратную плотности утряски, называют объемом утряски:

$$V_{утр} = 1/\gamma_{утр}, \text{ см}^3/\text{г.}$$

Зная насыпную плотность, пикнометрическую плотность, а также насыпной и пикнометрический объемы, можно определить еще несколько объемных характеристик вещества:

относительный объем:

$$\beta = V_{\text{нас}} / V_k = \gamma_k / \gamma_{\text{нас}};$$

относительную плотность:

$$\theta = \gamma_{\text{нас}} / \gamma_k = 1 / \beta;$$

пористость:

$$\Pi = (V_{\text{нас}} - V_k) / V_{\text{нас}} = 1 - V / V_k$$

где γ_k – табличная плотность материала порошка или пикнометрическая плотность его частиц; V_k – удельный объем компактного металла, $V_k = 1 / \gamma_k$.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение насыпной плотности и плотности утряски.
2. Дайте определение текучести порошка.
3. Дайте определение и расскажите, какова взаимосвязь следующих технологических характеристик: уплотняемости, прессуемости и формуемости порошка.
4. Перечислите основные методы определения формуемости порошка.
5. Расскажите, каким образом текучесть зависит от характеристик порошка.

Практическая работа № 21

Определение плотности, пористости сформованных и спеченных порошковых материалов

Цель работы:

Получить навыки определения плотности и пористости изделий, а также уметь оценить величину открытой пористости, применяя расчетный и гидростатический метод.

Задание на практическую работу

Используя расчетный метод, определить γ_p , γ_k , $\gamma_{\text{отн}}$, а также общую пористость эталонных изделий.

Определить плотность и пористость тех же изделий, а также оценить величину открытой (т. е. сообщающейся с поверхностью изделия) пористости, применяя гидростатический метод.

Оценить полученные двумя способами значения плотности и пористости, сделать выводы.

Пример

Расчетный метод

Этот метод, предусматривающий измерение объема и массы изделия, допускается применять только в том случае, когда изделие имеет простую геометрическую форму. Линейные размеры, по которым рассчитывают объем, замеряют измерительным инструментом (микрометром, штангенциркулем и др.) с точностью до $\pm 0,001$ мм. Массу изделия определяют взвешиванием на воздухе с погрешностью не более 0,01 %. Плотность изделий (расчетную) γ_p , $\text{г}/\text{см}^3$, вычисляют делением массы изделия, г, на его объем, см^3 . Допустимое расхождение результатов анализа не должно превышать 5 %.

Важно также знать относительную плотность изделия $\gamma_{\text{отн}}$, представляющую собой выраженное в процентах отношение расчетной плотности изделий к плотности, которую имело бы беспористое (компактное) изделие (γ_k):

$$\gamma_{\text{отн}} = (\gamma_p / \gamma_k) / 100.$$

Общую пористость Π_1 , %, вычисляют как $\Pi_1 = 100 - \gamma_{\text{отн}}$, где $\gamma_{\text{отн}}$ – относительная плотность изделия, %.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните, что такое пористость порошкового изделия
2. Перечислите, каковы преимущества и недостатки расчетного метода определения пористости
3. Дать определения общей, открытой и закрытой пористости.
4. Объясните сущность гидростатического метода определения пористости
5. Расскажите, в каких случаях применяется металлографический метод определения пористости и почему.

Практическая работа № 22

Разработка технологического процесса изготовления деталей методом порошковой металлургии

Цель работы: получить практические навыки разработки технологического процесса изготовления деталей методом порошковой металлургии

Задание на практическую работу

1. Изучить методы получения деталей из порошков
2. Определить плотность детали из порошка
3. Определить массу навески порошка
4. Разработать технологический процесс детали из конкретного порошкового материала

Пример 1: необходимо рассчитать при прессовании навеску порошка материала ЖГр1Д3 (96 % Fe, 1 % C и 3 % Cu), обеспечивающую получение цилиндрической детали диаметром и высотой 20 мм с конечной пористостью 20 %. По формуле найдем аддитивную плотность указанного материала, приняв плотности Fe, С и Cu равными соответственно 7,8; 2,2 и 8,8 $\text{г}/\text{см}^3$:

$$\gamma_k = \frac{100}{\frac{96}{7,8} + \frac{1}{2,2} + \frac{3}{8,8}} = 7,63 \text{ } \text{г}/\text{см}^3$$

Определим объем спеченной детали

$$V = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 2 = 6,28 \text{ } \text{см}^3,$$

где $D = 2 \text{ см}$ – диаметр детали; $h = 2 \text{ см}$ – высота детали.

Принимаем значения коэффициентов K_1 и K_2 равными соответственно 1,01 и 1,02. По формуле рассчитываем требуемую навеску
$$Q = 7,63 \cdot 6,28 \cdot (1 - 20/100) \cdot 1,01 \cdot 1,02 = 39,49\text{г}.$$

Объем деталей определяется по геометрическим формулам в зависимости от формы детали.

Плотность различных компонентов: железо - 7,87 $\text{г}/\text{см}^3$; медь – 8,96 $\text{г}/\text{см}^3$; углерод – 2,2 $\text{г}/\text{см}^3$; сера – 2,07 $\text{г}/\text{см}^3$; фосфор – 2,4 $\text{г}/\text{см}^3$; марганец – 7,44 $\text{г}/\text{см}^3$; никель – 8,91 $\text{г}/\text{см}^3$; хром – 7,19 $\text{г}/\text{см}^3$; молибден – 10,2 $\text{г}/\text{см}^3$; титан – 4,5 $\text{г}/\text{см}^3$; кремний – 2,34 $\text{г}/\text{см}^3$.

Пример 2. Техпроцесс. Деталь - втулка, материал - бронзо-графит (медь 86 %, олово 10 %, углерод 4 %). Операции:

1. Приготовление шихты.
2. Прессование.
3. Спекание ($T = 740^0$)
4. Калибровка (для получения более точных размеров).
5. Пропитка маслом ($T=80 \dots 100 ^\circ\text{C}$, в течение 2 ч).
6. Контроль готовой детали (плотность 6,0...6,5 $\text{г}/\text{см}^3$).

Вопросы для самопроверки

1. Особенности получения деталей из порошков
2. Области промышленности, в которых используются детали из порошков
3. Алгоритм определения плотности и массы навески для получения детали из порошкового материала

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Согласно учебному плану дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование студенты заочной формы обучения закрепляют изучаемый материал, самостоятельно в виде выполнению контрольной работы, в ходе которой они отвечают на пять вопросов. Задание на контрольную работу выбирается по двум последним цифрам зачетной книжки (таблица 4).

Ответы на рассматриваемые вопросы должны излагаться по существу, быть четкими, полными и ясными.

При ответе на вопросы студент должен использовать не только учебную литературу, но и статьи, публикуемые в периодической печати, указывая в работе источники информации. Текстовая часть работы может быть иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами. В конце приводится список использованных источников.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с одной стороны листа, в печатном варианте. Шрифт текстовой части размер – 12 (для заголовков – 14), вид шрифта – Times New Roman, интервал 1,5. Поля страницы: левое 3 см, правое 1,5 см, верхнее и нижнее 2 см. Нумерация страниц внизу справа.

Структура контрольной работы:

- титульный лист (приложение А);
- содержание;
- текстовая часть (каждый вопрос начинать с нового листа);
- список используемой литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.100-2018, ГОСТ 7.82-2001.

В текстовой части не допускается сокращение слов. Объем выполненной работы не должен превышать 10 листов А4.

Контрольная работа должна быть оформлена в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к контрольным работам:

- текст должен быть отпечатан на компьютере;
- основной текст подразделяется на озаглавленные части в соответствии с содержанием работы. Заглавия не подчеркиваются, в конце заголовка точка не ставится, переносы допускаются;
- страницы текста пронумерованы арабскими цифрами в правом верхнем углу без точек. Титульный лист считается первым и не нумеруется;
- на каждой странице оставлены поля для замечаний рецензента;
- список использованных источников оформляются по соответствующим требованиям.

Стиль и язык изложения материала контрольной работы должны быть

четкими, ясными и грамотными. Грамматические и синтаксические ошибки недопустимы. Выполненная контрольная работа представляется для регистрации на кафедру, затем поступает на рецензирование преподавателю.

Положительная оценка («зачтено») выставляется в зависимости от полноты раскрытия вопроса и объема предоставленного материала в контрольной работе, а также степени его усвоения, которая выявляется при ее защите (умение использовать при ответе на вопросы научную терминологию, лингвистически и логически правильно отвечать на вопросы по проработанному материалу).

Контрольная работа с оценкой «не зачтено» возвращается студенту с рецензией, выполняется студентом вновь и сдается вместе с не заченной работой на проверку преподавателю. Контрольная работа, выполненная не по своему варианту, возвращается без проверки и зачета.

Таблица 5 – Варианты контрольной работы

	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	40,41,76 101,136	39,42,77 102, 137	37,43,78 103,138	37,44,79 104, 139	36,45,80 105, 140	35,46,81 106,141	33,48,83 107, 142	32,49,84 108, 143	34,47,82 109, 144	31,50,85 110, 145
1	30,51,86 111, 146	29,52,87 112, 147	28,53,88 113, 148	27,54,89 114, 149	26,55,90 115, 150	25,56,91 116,151	24,57,92 117, 152	23,58,93 118, 153	22,59,94 119, 154	21,60,95 120, 155
2	20,61,96 121, 136	19,62,97 122, 137	18,63,98 123, 138	17,64,99 124, 139	16,65,100 125, 140	15,66,100 126, 141	14,67,99 127, 142	13,68,98 128, 149	12,69,97 129, 150	11,70,96 130, 151
3	10,71,95 131, 151	9,72,94 132, 152	8,73,93 133, 153	7,74,92 134, 155	6,75,91 135, 150	5,75,90 101, 136	4,74,89 102, 137	3,73,88 103, 138	2,72,87 104, 139	1,71,86 105, 140
4	1,70,85, 106, 141	2,69,84 107, 142	3,68,83 108, 143	4,67,82 109, 144	5,66,81 110, 145	6,65,80 111, 146	7,64,79 112, 147	8,63,78 113, 148	9,62,77 114, 149	10,61,76 115, 150
5	11,60,76 116, 151	12,59,77 117, 152	13,58,78 118, 154	14,57,79 119, 155	15,56,80 120, 153	16,55,81 121, 152	17,54,82 122, 151	18,53,83 123, 150	19,52,84 124, 149	20,51,85 125, 147
6	21,50,86 126, 148	22,49,87 127, 146	23,48,88 128, 145	24,47,89 129, 144	25,46,90 130, 143	26,45,91 131, 142	27,44,92 132, 141	28,43,93 133, 140	29,42,94 134, 139	30,41,95 135, 138
7	31,42,96 101, 137	32,43,97 102, 136	33,47,98 103, 137	34,48,99 104, 138	35,49,100 105, 139	36,50,100 106, 140	37,51,99 107, 141	38,52,98 108, 142	39,53,97 109, 143	40,54,96 109, 144
8	25,55,95 110, 145	22,56,94 111, 146	21,57,93 112, 147	30,58,92 113, 148	6,59,91 114, 149	7,60,90 115, 150	24,61,89 116, 151	5,62,88 117, 152	28,64,87 118, 153	29,65,86 119, 154
9	36,66,85 120, 155	37,69,84 121, 136	39,70,83 122, 137	35,72,82 123, 138	32,73,81 124, 139	33,74,80 125, 140	1,62,79 126, 141	17,53,78 127, 142	19,52,77 128, 143	2,51,76 129, 144

Вопросы для контрольной работы

1. Дать понятие энергии связи. Виды связей в твердых телах.
2. Опишите особенности металлического типа связи, основные свойства металлов.
3. Опишите особенности ионного типа связи, основные свойства ионных кристаллов.
4. Какие металлы имеют объёмно-центрированную кубическую решетку?

Начертите элементарную ячейку, укажите ее параметры, координационное число, плотность упаковки.

5. Опишите особенности ковалентного типа связи, основные свойства ковалентных кристаллов.

6. Какие металлы имеют гранецентрированную кубическую решетку?

Начертите элементарную ячейку, укажите параметры, координационное число.

7. Какие металлы имеют плотноупакованную гексагональную решетку?

Начертите элементарную ячейку, укажите параметры, координационное число, плотность упаковки.

8. Опишите строение и основные характеристики (параметры, координационное число, плотность упаковки) кристаллической решетки алюминия. Начертите элементарную ячейку.

9. То же для меди.

10. То же для хрома.

11. То же для молибдена.

12. То же для вольфрама.

13. То же для цинка.

14. То же для никеля.

15. То же для ванадия.

16. То же для магния.

17. Опишите явление полиморфизма в приложении к титану, а также строение и основные характеристики кристаллической решетки для кубической модификации титана.

18. Опишите явление полиморфизма в приложении к олову, а также строение и основные характеристики кристаллической решетки для тетрагональной модификации олова.

19. Опишите явление полиморфизма в приложении к железу, а также строение и основные характеристики кристаллической решетки для различных модификаций железа.

20. Опишите магнитное превращение в металлах. В чем отличие магнитного превращения от полиморфного?

21. Дайте описание твердых растворов замещения. Приведите примеры.

22. То же для циркония.

23. Опишите условия образования неограниченных твердых растворов замещения. Приведите примеры.

24. Дайте описание твердых растворов внедрения, приведите примеры.

25. Опишите химические соединения (промежуточные фазы). Приведите примеры.

26. Что такое эвтектика и эвтектоид? Приведите примеры сплавов.

27. Постройте кривую охлаждения для железа с применением правила фаз.

28. Опишите точечные несовершенства кристаллического строения металлов, их влияние на свойства металлов.

29. Опишите линейные несовершенства (дислокации) кристаллического строения металлов. Влияние дислокации на свойства металлов.

30. Опишите механизм и физическую сущность процесса кристаллизации.

31. Опишите условия получения мелкозернистой структуры при самопроизвольно развивающейся кристаллизации, используя теорию Таммана.

32. Опишите явление транскристаллизации и его влияние на свойства слитка.

33. Что такое переохлаждение и как оно влияет на структуру кристаллизующегося металла?

34. Что такое ликвация? Виды ликвации, причины их возникновения и способы устранения.

35. Как влияет скорость охлаждения на строение кристаллизующегося металла?

36. Опишите физическую сущность процесса плавления.

37. Назначение модифицирования. Виды модификаторов.

Приведите примеры.

38. Опишите влияние реальной среды на процесс кристаллизации.

39. Опишите строение реального слитка и явление транскристаллизации.

40. Объясните превращения, происходящие в сплавах в твердом состоянии (вторичная кристаллизация).

41. Как изменяется плотность дислокаций при холодной пластической деформации металлов? Влияние плотности дислокаций на свойства металла.

42. В чем различие между холодной и горячей пластической деформацией? Опишите особенности каждого вида деформации.

43. Как и почему изменяются свойства при холодной пластической деформации?

44. Под действием каких напряжений происходит пластическая деформация? Как при этом изменяются структура и свойства металла?

45. Что происходит с кристаллической решеткой металлов под действием нормальных напряжений? Укажите вид разрушения.

46. Что происходит с кристаллической решеткой металлов под действием касательных напряжений? Укажите вид разрушения.

47. Как изменяются строение и свойства при нагреве предварительно деформированного металла?

48. Для каких практических целей применяют наклеп, в чем сущность наклева?

49. Объясните природу хрупкого разрушения металлов и факторы, способствующие переходу металла в хрупкое состояние.

50. Как изменяются эксплуатационные характеристики деталей после

поверхностного наклена (дробеструйной обработки) и почему?

51. Для чего применяется отжиг в процессе изготовления холоднокатанной стальной ленты? Как называется такой вид отжига?

52. Как влияет степень пластической деформации на процесс рекристаллизации и величину зерна? Что такое критическая степень деформации?

53. Как влияют состав сплава и степень пластической деформации на температуру рекристаллизации? Как определить температуру рекристаллизации?

54. Объясните сущность процесса первичной рекристаллизации (рекристаллизации обработки).

55. Какие процессы протекают при горячей пластической деформации?

56. Для какой цели применяется рекристаллизационный отжиг? Как назначается режим отжига? Дайте примеры.

57. В чем различие между упругой и пластической деформацией?

58. Какой вид напряжений приводит к вязкому разрушению путем среза? Объясните природу разрушения.

59. Какой вид напряжений приводит к хрупкому разрушению путем отрыва? Объясните природу разрушения.

60. Опишите механизм упругой и пластической деформации поликристаллического металла.

61. Опишите сущность процесса собирательной рекристаллизации.

62. Объясните, почему пластическую деформацию олова при комнатной температуре называют горячей деформацией, а вольфрама при температуре 1000 °C – холодной пластической деформацией?

63. Волочение проволоки проводят в несколько переходов. Если волочение выполняют без промежуточных операций отжига, то проволока на последних переходах даст разрыв. Объясните причины разрывов и укажите меры для предупреждения этого.

64. Для чего применяется отжиг после наклена холоднокатанных прутков стали Ст3? Выбор режима отжига.

65. Каким способом можно восстановить пластичность холоднокатанных медных лент? Назначьте режим термической обработки и опишите физическую сущность происходящих процессов.

66. Детали из меди, штампованные в холодном состоянии, имели низкую пластичность. Объясните причину этого явления и укажите, каким способом можно повысить относительное удлинение. Рекомендуйте режим обработки и приведите характер изменения механических свойств.

67. Как изменяется блочная (мозаичная) структура при нагреве предварительно деформированного металла? В чем сущность процесса полигонизации?

68. Объясните, можно ли отличить по микроструктуре металл, деформированный в холодном состоянии, от металла, деформированного в горячем состоянии, и укажите, в чем различие в микроструктуре.

69. Назначьте режим отжига холоднокатаного профиля из магния. Как такой отжиг называется? Опишите сущность происходящих процессов.

70. Каким образом можно восстановить пластичность холоднокатаного алюминиевого прутка? Назначьте режим термической обработки и опишите физическую сущность происходящих процессов.

71. Как изменяются механические и другие свойства при нагреве наклепанного металла и почему?

72. Как влияет изменение структуры на свойства холоднодеформированного металла? В чем сущность и каково практическое применение наклена?

73. Прутки олова были деформированы при температуре 20 $^{\circ}\text{C}$. Объясните, почему эти прутки не упрочнились при деформировании, и опишите процессы, протекающие при этом.

74. Полосы свинца были деформированы при комнатной температуре на различную степень деформации: 10, 20, 40 и 60 %. После прокатки твердость (HB) всех полос свинца оказалась практически одинаковой. Объясните, почему свинец не упрочнился?

75. Какие процессы происходят при горячей пластической деформации и как изменяются строение и свойства металла?

76. Вычертите диаграмму состояния системы железо-углерод (железо-цементит) (рисунок 7). Укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы. Постройте кривую охлаждения (с применением правила фаз) и опишите превращения от жидкого состояния до нормальной температуры для сплава, содержащего 0,15 % С. Укажите структуру сплава при комнатной температуре, назовите сплав.

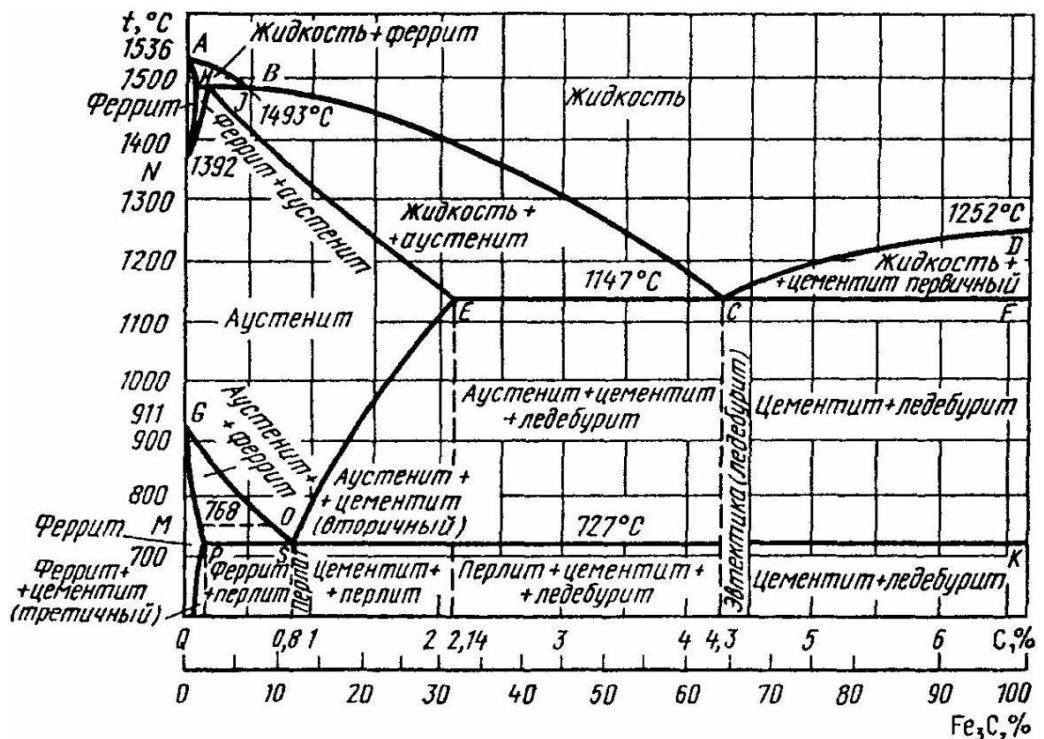


Рисунок 7 – Диаграмма состояния системы железо-углерод (железо-цементит)

77. То же для сплава, содержащего 0,25 % С.
78. То же для сплава, содержащего 0,05 % С.
79. То же для сплава, содержащего 0,3 % С.
80. То же для сплава, содержащего 0,45 % С.
81. То же для сплава, содержащего 0,65 % С.
82. То же для сплава, содержащего 0,7 % С.
83. То же для сплава, содержащего 0,8 % С.
84. То же для сплава, содержащего 0,9 % С.
85. То же для сплава, содержащего 1,0 % С.
86. То же для сплава, содержащего 1,2 % С.
87. То же для сплава, содержащего 1,5 % С.
88. То же для сплава, содержащего 1,8 % С.
89. То же для сплава, содержащего 2,5 % С.
90. То же для сплава, содержащего 3,0 % С.
91. То же для сплава, содержащего 3,5 % С.
92. То же для сплава, содержащего 4,3 % С.
93. То же для сплава, содержащего 5,0 % С.
94. То же для сплава, содержащего 5,5 % С.
95. То же для сплава, содержащего 6,0 % С.
96. То же для сплава, содержащего 0,2 % С.
97. То же для сплава, содержащего 0,6 % С.
98. То же для сплава, содержащего 1,3 % С.

99. То же для сплава, содержащего 4,0 % С.
100. То же для сплава, содержащего 2,2 % С.
101. Какое содержание углерода в эвтектоидной стали?
102. Какую кристаллическую решетку имеют α - и β -железо?
103. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит?
104. Укажите название областей на стальной части диаграммы.
105. Какие процессы протекают в стали при ее охлаждении в области 727°C ?
106. Какое максимальное содержание углерода в аустените?
107. Какое максимальное содержание углерода в феррите?
108. Как влияет содержание углерода на свойства стали?
109. Как классифицируются углеродистые стали по качеству? Приведите пример марки углеродистой стали обыкновенного качества, качественной и высококачественной.
110. Расшифруйте марку стали ст 0 кп согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
111. Расшифруйте марку стали ст 2 кп согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
112. Расшифруйте марку стали ст 2 кп согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
113. Расшифруйте марку стали ст 6 сп согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
114. Расшифруйте марку стали ст 4 сп согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
115. Расшифруйте марку стали 15 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
116. Расшифруйте марку стали 20 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
117. Расшифруйте марку стали 25 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.
118. Расшифруйте марку стали 30 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.

применения.

133. Расшифруйте марку стали У11 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.

134. Расшифруйте марку стали У12 согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.

135. Расшифруйте марку стали У12А согласно ГОСТ с указанием химического состава, прочностных характеристик, микроструктуры и применения.

136. Выберите материал для изготовления дроби для дробеструйных аппаратов очистки деталей. Дробь при работе аппарата не должна деформироваться и должна иметь высокую твердость и износостойкость. Опишите структуру выбранного материала.

137. Станину станка изготавливают методом литья с последующей обработкой резанием. В процессе работы станина не испытывает ударных нагрузок. Условия работы довольно легкие. Выберите материал для ее изготовления, расшифруйте марку и поясните структуру данного чугуна.

138. Корпуса редукторов изготавливают из чугуна методом литья с последующей обработкой резанием. Материал должен обладать прочностью $\sigma_b = 500$ МПа, относительным удлинением 1,5 % и иметь твердость HB230. Выберите и обоснуйте марку чугуна, расшифруйте ее и поясните структуру.

139. Почему белые чугуны ограниченно применяются в машиностроении? Дайте подробное пояснение. Какие разновидности белых чугунов существуют, и какова их структура?

140. Произошла поломка коленчатого вала дизельного двигателя. После исследования микроструктуры было дано заключение, что структура данного сплава состоит из зерен перлита с включениями пластинчатого графита. По техническим условиям данный материал должен обладать $\sigma_b = 650$ МПа, $\delta = 2$ %, HB = 220–300. Из какого материала был изготовлен коленчатый вал? Из-за чего произошла поломка, и что Вы рекомендуете для предотвращения разрушения вала в дальнейшем?

141. Выберите материал для корпуса небольшого электродвигателя. Условия работы легкие, нагрузки небольшие. Корпус отливается с последующей обработкой резанием. Расшифруйте марку чугуна и поясните его структуру.

142. Для добычи гравия из реки Томь используют земснаряды. Шарнирные соединения труб для транспортировки гравия делают из чугуна. Условия работы: большой гидроабразивный износ, ударные нагрузки, постоянная вибрация. Выберите и обоснуйте марку чугуна.

143. Выберите материал для изготовления отопительных батарей. Способ

их изготовления – литье. Расшифруйте выбранную марку и поясните структуру.

144. Расшифруйте марку чугуна СЧ10, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

145. Расшифруйте марку чугуна СЧ15, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

146. Расшифруйте марку чугуна СЧ20, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

147. Расшифруйте марку чугуна СЧ35, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

148. Расшифруйте марку чугуна КЧ30-6, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

149. Расшифруйте марку чугуна КЧ35-10, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

150. Расшифруйте марку чугуна КЧ45-7, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна.

151. Расшифруйте марку чугуна КЧ60-3, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна

152. Расшифруйте марку чугуна ВЧ35, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна

153. Расшифруйте марку чугуна ВЧ40, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна

154. Расшифруйте марку чугуна ВЧ50, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна

155. Расшифруйте марку чугуна ВЧ50, приведите химический состав и механические свойства согласно ГОСТ, приведите микроструктуру и применение данной марки чугуна

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земков, Ю. П. Материаловедение / Ю. П. Земков. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 188 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/364784> (дата обращения: 07.12.2024). – ISBN 978-5-507-48829-2. – Текст : электронный.
2. Гетьман, А. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / А. А. Гетьман. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 492 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/441662> (дата обращения: 21.12.2024). – ISBN 978-5-507-50509-8. – Текст электронный.
3. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении: учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пириайнен. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 664 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/399746> (дата обращения: 07.12.2024). – ISBN 978-5-507-47646-6. – Текст: электронный
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. пособие / А. А. Воробьев, Д. П. Кононов, Д. А. Жуков [и др.]. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2020. – 142 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/222506> (дата обращения: 21.12.2024). – Текст: электронный.
5. Солдатов, В. Г. Конструкционные стали: учеб. пособие для вузов / В. Г. Солдатов. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 184 с. — Режим доступа: для авториз. пользователей. — Лань: электронно-библиотечная система. —URL: <https://e.lanbook.com/book/422468> (дата обращения:21.12.2024). — ISBN 978-5-507-49511-5. — Текст: электронный.
6. Романченко, Н. М. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / Н. М. Романченко. – Красноярск: КрасГАУ, 2019. – Часть 1: Материаловедение. – 2019. – 329 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187425> (дата обращения: 21.12.2024). – Текст: электронный.
7. Романченко, Н. М. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / Н. М. Романченко. – Красноярск: КрасГАУ, 2022. – Часть 2: Технология конструкционных материалов. – 2022. – 267с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL:<https://e.lanbook.com/book/298925> (дата обращения:21.12.

2024). – Текст: электронный.

8. Арабов, М. Ш. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум: учеб. пособие для вузов / М. Ш. Арабов, З. М. Арабова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 160 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/399689> (дата обращения: 07.12.2024). – ISBN 978-5-507-47636-7. – Текст: электронный.

9. Колина, Т. П. Материаловедение: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 15.03.02 Технологические машины и оборудование/ Т. П. Колина. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 37 с. – URL: [https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_po_Materialovedeniyu\(1\).pdf](https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_po_Materialovedeniyu(1).pdf) (дата обращения: 08.12.2024). – Текст: электронный.

10. Колина, Т. П. Материаловедение: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовой работы для студентов бакалавриата по направлениям подгот. 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технол. машины и оборудование, 15.03.04 Автоматизация технол. процессов и пр-в / Т. П. Колина; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2022. – 48, [1] с. – Текст: непосредственный.

11. Бедарев, В. С. Технология конструкционных материалов: учеб-метод. пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по напр. подгот. 15.03.02 Технологические машины и оборудование / В. С. Бедарев – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 79 с. – URL: https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_Texnologiya_konstrukcionnyx_materialov.pdf (дата обращения: 09.12.2024). – Текст: электронный.

12 Бедарев, В. С. Технология конструкционных материалов: учеб.-метод. пособие по проведению лабораторных работ для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование / В. С. Бедарев. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 159 с. – URL:[https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_k_LR_Texnologiya_konstrukcionnyx_materialov\(1\).pdf](https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_k_LR_Texnologiya_konstrukcionnyx_materialov(1).pdf) (дата обращения: 09.12.2024). — Текст: электронный.

13. Соколова, И. А. Технология конструкционных материалов: учеб.-метод. пособие для выполнения курсовой для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование / И. А. Соколова, М. Б. Лещинский, В. С. Бедарев. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 102 с. – URL:[https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_k_KR_Texnologiya_konstrukcionnyx_materialov\(1\).pdf](https://www.klgtu.ru/vikon/sveden/files/UMP_k_KR_Texnologiya_konstrukcionnyx_materialov(1).pdf) (дата обращения: 09.12.2024). – Текст: электронный.

Локальный электронный методический материал

Влада Игоревна Абрамова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 5,5. Печ. л. 4,2.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1