

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный педагогический университет  
им. Л. Н. Толстого»

**В. И. Абрамова  
Н. Н. Сергеев**

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

*Учебник*

Тула  
Издательство ТГПУ им. Л. Н. Толстого  
2012

ББК 30.3я73  
А16

*Рецензент –*  
доктор технических наук, профессор *М. В. Ушаков*

**Абрамова В. И.**

А16      **Материаловедение: Учебник / В. И. Абрамова, Н. Н. Сергеев – Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2012. – 194 с.**

ISBN 978-5-87954-929-0

Данное издание разработано в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и является частью учебно-методического комплекса дисциплины «Материаловедение».

В учебнике рассмотрены классификация материалов, кристаллическое строение металлов и кристаллизация, процессы пластической деформации и рекристаллизации, свойства металлов. Описаны фазы, образующиеся в сплавах, и диаграммы состояния. Рассмотрены основы термической обработки и других видов упрочнения. Представлены различные классы сталей и чугунов, цветных металлов, порошковых материалов и неметаллических соединений.

В пособии предложены задачи для самостоятельного решения, выполнение которых способствует повышению качества подготовки и общего уровня знаний студентов.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по направлению подготовки 100100.62 «Сервис», может использоваться студентами других специальностей и направлений подготовки.

**ББК 30.3я73**

ISBN 978-5-87954-729-0

© В. И. Абрамова, Н. Н. Сергеев, 2012  
© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2012

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ .....	9
2. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	11
2.1. Дефекты кристаллической решетки .....	15
3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ .....	19
4. ПОЛИМОРФНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ .....	23
5. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	25
5.1. Напряжение и деформация .....	28
5.1.1. Напряжение. Тензор напряжений .....	28
5.1.2. Деформации. Тензор деформаций .....	31
5.1.3. Схемы напряженного и деформированного состояния при механических испытаниях различных видов .....	32
5.1.4. Упругая и пластическая деформация .....	34
5.1.5. Механизм пластической деформации .....	34
5.2. Классификация механических испытаний .....	37
5.3. Условия подбора механических испытаний .....	38
5.4. Статистическая обработка результатов механических испытаний .....	38
5.5. Разрушение .....	38
5.6. Наклеп .....	39
5.7. Влияние нагрева на строение и свойства деформированного металла (рекристаллизационные процессы) .....	39
6. ТЕОРИЯ СПЛАВОВ .....	44
6.1. Механическая смесь .....	45
6.2. Химическое соединение .....	45
6.2.1. Фазы внедрения .....	46
6.2.2. Электронные соединения (фазы Юм-Розери) .....	46
6.2.3. Фазы Лавеса .....	46
6.3. Твердые растворы .....	47
7. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ .....	49
7.1. Общие сведения о построении диаграмм состояния .....	50
7.2. Типы диаграмм состояния .....	51
7.2.1. Диаграмма состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (I рода) .....	51
7.2.2. Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии (II рода) .....	54
7.2.3. Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (III рода) .....	55
7.2.4. Диаграмма состояния для сплавов, образующих химические соединения (IV рода) .....	58

7.2.5. Диаграмма состояния для сплавов, испытывающих полиморфные превращения .....	59
7.3. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния .....	60
<b>8. ЖЕЛЕЗО И ЕГО СПЛАВЫ .....</b>	<b>66</b>
8.1. Диаграмма железо-углерод .....	67
8.1.1. Компоненты и фазы в системе железо – углерод .....	67
8.2. Стали .....	72
8.2.1. Влияние постоянных примесей на свойства стали .....	73
8.2.2. Маркировка углеродистых сталей общего назначения .....	74
8.2.3. Классификация и маркировка легированных сталей .....	75
8.2.4. Легированные конструкционные стали .....	77
8.2.5. Инструментальные материалы .....	82
8.2.6. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами .....	85
8.3. Чугун .....	86
8.3.1. Марки чугунов .....	89
<b>9. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ .....</b>	<b>94</b>
9.1. Температура и время термической обработки .....	95
9.2. Классификация видов термической обработки .....	95
9.3. Основные виды термической обработки стали .....	98
9.4. Четыре основных превращения в стали .....	101
9.5. Образование аустенита .....	102
9.6. Рост аустенитного зерна .....	103
9.7. Распад аустенита .....	105
9.8. Мартенситное превращение .....	112
9.9. Бейнитное превращение .....	114
9.10. Превращения при отпуске .....	114
9.11. Влияние термической обработки на свойства стали .....	115
<b>10. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА .....</b>	<b>120</b>
10.1. Цементация .....	120
10.2. Азотирование .....	122
10.3. Цианирование .....	123
10.4. Диффузионная металлизация .....	124
<b>11. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА .....</b>	<b>126</b>
<b>12. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ .....</b>	<b>127</b>
12.1. Медь и ее сплавы .....	127
12.2. Алюминий и его сплавы .....	130
12.3. Титан и его сплавы .....	134
12.4. Антифрикционные сплавы .....	136
<b>13. ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>140</b>
13.1. Конструкционные порошковые материалы .....	141
13.2. Фрикционные порошковые материалы .....	142
13.3. Пористые фильтрующие элементы .....	143

14. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ .....	144
14.1. Понятие о неметаллических материалах и классификация полимеров .....	145
14.2. Особенности свойств полимерных материалов .....	150
14.3. Пластические массы .....	151
14.4. Неорганические материалы .....	152
14.5. Древесные материалы.....	153
ЛИТЕРАТУРА .....	158
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	159

## ВВЕДЕНИЕ

**Материаловедением** называется прикладная наука о строении и свойствах материалов и установлении взаимосвязи между ними.

Курс делится на две части: металловедение и изучение неметаллических материалов. Несмотря на все более широкое использование неметаллических материалов, металлы и сплавы остаются основным конструкционным и инструментальным материалом. Поэтому металлам и сплавам уделяется большее внимание.

**Металловедением** называется наука, устанавливающая связь между составом, структурой и свойствами металлов и сплавов и изучающая закономерности их изменения при тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных воздействиях.

**Неметаллические конструкционные материалы** значительно отличаются от металлов и сплавов физическими, химическими, механическими и технологическими свойствами, а также технологическими процессами их производства и обработки. Поэтому они рассматриваются отдельно, несмотря на значительную общность используемых способов обработки.

*Цель изучения курса* – приобретение знаний студентами об основных конструкционных и инструментальных материалах, различных видах их обработок (в основном тепловой) и областях применения.

*Задачей курса* «Материаловедение» является не только получение студентами знаний и навыков для правильного выбора материала и эффективного метода его обработки, обеспечивающего повышение надежности, долговечности и снижение материалоемкости изделия, но и умений проведения испытаний по определению физико-механических характеристик материалов. Это может быть достигнуто в результате самостоятельного выполнения лабораторных работ и домашних заданий. С этой целью в учебном пособии представлены «резюме» (помещенные после каждой главы) и задачи для самостоятельного решения. Выполнение таких задач повышает качество подготовки и общий уровень знаний, формирующих технологическую культуру студента. Разобранные примеры решения этих задач позволяют при выборе материала и технологии его обработки научить студентов уделять должное внимание и экономическим аспектам, обеспечивающим снижение себестоимости изделий. Для методической помощи в учебном пособии предусмотрен систематизированный перечень наиболее распространенных в промышленности материалов. При выборе материала это облегчает поиск необходимых свойств в зависимости от сферы применения и соответствующих методов упрочнения изделия.

### ***Историческая справка***

Впервые существование связи между строением стали и ее свойствами было установлено П. П. Аносовым (1799–1839 гг.). Основы научного металловедения были заложены выдающимся русским металлургом Д. К. Черновым (1839–1921 гг.), который за свои работы был назван в литературе «отцом металлографии».

В начале XX века большую роль в развитии металловедения сыграли работы Н. С. Курнакова, который применил для исследования металлов методы физико-химического анализа.

Большое значение в развитии металловедения и термической обработки имели работы Осмонда (Франция), Юм-Розери и Мотта (Англия), Зейтца, Бейна и Мейла (США), Таммана и Ганемана (Германия) и др.

Большой вклад в развитие отечественного металловедения внесли С. С. Штейнберг, Н. А. Минкевич, Г. В. Курдюмов, А. А. Байков, А. М. Бочвар, К. П. Бунин, В. Д. Садовский, И. И. Сидорин, А. П. Гуляев и их последователи.

В области исследований неметаллических материалов можно выделить следующие фамилии ученых. Создателем структурной теории химического строения органических соединений является А. М. Бутлеров (1826–1886 гг.). Промышленное производство первых пластмасс (фенопластов) – результат работ, проведенных Г. С. Петровым в 1907–1914 годах. С. В. Лебедевым впервые в мире осуществлен промышленный синтез каучука (1932 г.). Н. Н. Семеновым разработана теория цепных реакций и распространена на механизм цепной полимеризации. Успешное развитие химии и физики полимеров связано с именами видных ученых: П. П. Кобеко, В. А. Каргина, А. П. Александрова, С. С. Медведева, С. Н. Ушакова и др. Разработка термостойких полимеров связана с именем К. А. Андрианова. В области создания полимерных материалов большой вклад внесли такие зарубежные ученые, как К. Циглер (Германия), Д. Натт (Италия) и др.

### ***РЕЗЮМЕ***

«Материаловедение» – комплексная дисциплина, в которой изучаются закономерности, определяющие строение и свойства материалов в зависимости от их состава и условий обработки.

Металловедением называется наука, устанавливающая связь между составом, структурой и свойствами металлов и сплавов и изу-

чающая закономерности их изменения при тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных воздействиях.

*Неметаллические конструкционные материалы* значительно отличаются от металлов по физическим, химическим, механическим и технологическим свойствам.

***Ученые, внесшие свой вклад в развитие металлургии:*** П. П. Аносов (1799–1839 гг.), Д. К. Чернов (1839–1921 гг.), Н. С. Курнаков, Осмонд (Франция), Юм-Розери и Мотт (Англия). Зейтц, Бейн и Мейл (США), Тамман и Ганеман (Германия), С. С. Штейнберг, Н. А. Минкевич, Г. В. Курдюмов, А. А. Байков, А. М. Бочвар, К. П. Бунин, В. Д. Садовский, И. И. Сидорин, А. П. Гуляев и др.

***Ученые, внесшие свой вклад в области исследований неметаллических материалов:*** А. М. Бутлеров (1826–1886 гг.), Г. С. Петров, С. В. Лебедев, Н. Н. Семенов, П. П. Кобеко, В. А. Каргин, А. П. Александров, С. С. Медведев, С. Н. Ушаков, К. А. Андрианова, К. Циглер (Германия), Д. Натт (Италия) и др.

### ***Вопросы для повторения***

1. Дать понятие терминам: «материаловедение», «металловедение».
2. Какие ученые внесли вклад в развитие металлургии?
3. Какие ученые внесли вклад в исследование неметаллических материалов?



# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Материалы можно разделить на две большие группы: металлические и неметаллические. Классификация данных материалов приведена на рис. 1.



Рис. 1. Классификация материалов

Для будущих бакалавров сервиса необходимо знание материалов, использующихся в швейной промышленности.

При производстве швейных изделий используют самые разнообразные материалы. Это – ткани, трикотаж, нетканые материалы, натуральная и искусственная кожа, пленочные и комплексные материалы, натуральный и искусственный мех, швейные нитки, клеевые материалы, фурнитура.

Наибольший объем в швейном производстве составляют изделия, выполненные из текстильных материалов.

Текстильные материалы, или текстиль, – материалы и изделия, выработанные из волокон и нитей. К ним относятся ткани, трикотаж, нетканые полотна, швейные нитки и др.

Текстильное волокно представляет собой протяженное тело, гибкое и прочное, с малыми поперечными размерами, ограниченной длины, пригодное для изготовления пряжи и текстильных материалов.

Текстильная нить имеет ту же характеристику, что и текстильное волокно, но отличается от него значительно большей длиной. Нить может быть получена путем прядения волокон, и тогда она называется пряжей. Шелковую нить получают, разматывая кокон тутового шелкопряда. Химические нити формируют из полимера.

### *Классификация волокон*

В зависимости от происхождения текстильные волокна делят на натуральные и химические (рис. 2).

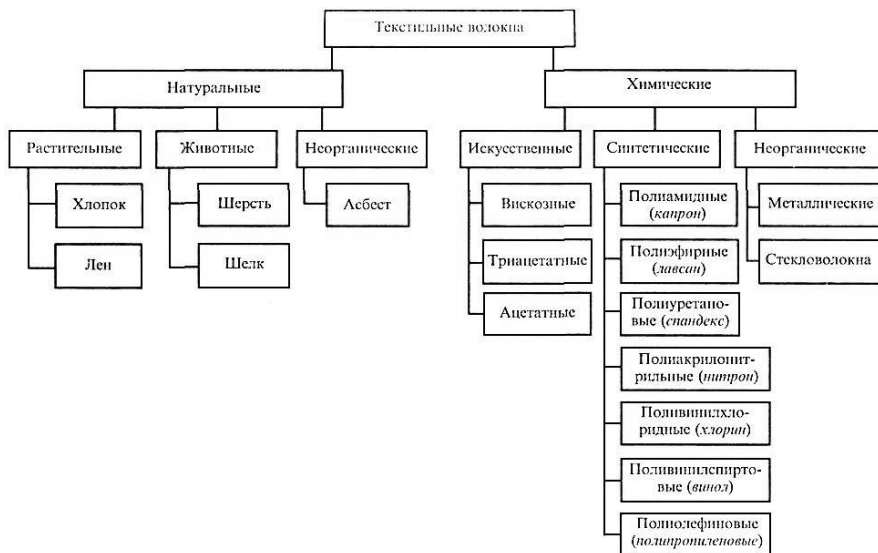


Рис. 2. Классификация волокон

К натуральным относятся волокна, создаваемые самой природой, без участия человека. Они могут быть растительного, животного или минерального происхождения.

Натуральные волокна растительного происхождения получают с поверхности семян (хлопок), из стеблей (лен, пенька и др.), из листьев (сизаль и др.), из оболочек плодов (койр).

Натуральные волокна животного происхождения представлены волокнами шерсти различных животных и коконным шелком тутового и дубового шелкопряда.

Перечисленные натуральные волокна состоят из веществ, которые относятся к природным полимерам. Это целлюлоза у растительных волокон и белки у волокон животного происхождения.

Химические волокна подразделяют на искусственные и синтетические. Искусственные волокна получают путем химической переработки природных полимеров растительного и животного происхождения, из отходов целлюлозного производства и пищевой промышленности. Сырьем для них служат древесина, семена, молоко и т. п. Наибольшее применение в швейной промышленности имеют текстильные материалы на основе искусственных целлюлозных волокон, таких как вискозное, полинозное, медно-аммиачное, триацетатное, ацетатное.

Синтетические волокна получают путем химического синтеза полимеров, т. е. создания имеющих сложную молекулярную структуру веществ из более простых, чаще всего из продуктов переработки нефти и каменного угля. Это полиамидные, полиэфирные, полиуретановые волокна, а также полиакрилонитрильные (ПАН), поливинилхлоридные (ПВХ), поливинилспиртовые, полиолефиновые.

## 2. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Все металлы и металлические сплавы – тела *кристаллические*, атомы (ионы) расположены в металлах закономерно в отличие от аморфных тел, в которых атомы расположены хаотично.

Металлы представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа мелких ( $10^{-1}$ – $10^{-5}$  см), различно ориентированных по отношению друг к другу кристаллов. В процессе кристаллизации они приобретают неправильную форму и называются *кристаллитами*, или *зернами* (рис. 3). В твердом состоянии металл представляет собой постройку, состоящую из положительно заряженных ионов, омываемых «газом» из свободных коллективизированных электронов.

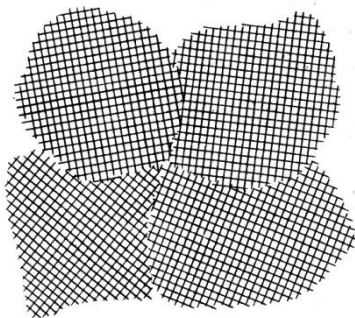


Рис. 3. Структура поликристаллического твердого тела, состоящего из зерен

Связь в металле осуществляется электростатическими силами. Между ионами и коллективизированными электронами проводимости возникают электростатические силы притяжения,