

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ**

## **Английский язык**

Методическое пособие  
по английскому языку  
для студентов машиностроительных специальностей

Составители Т. А. Матросова  
В. И. Филимонов

Ульяновск  
2008

УДК 620.186 (076)  
ББК 34.62 я 7  
Т 34

Рецензент: доцент цикла «Прикладная лингвистика» УлГТУ, к.пед.н.  
Е.А. Цыбина

Одобрено секцией методических пособий научно-методического совета университета

**Материаловедение: свойства металлов : методическое пособие по**  
Т34 английскому языку для студентов машиностроительных специальностей /  
составители: Т. А. Матросова, В. И. Филимонов. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. –  
58 с.

Методическое пособие составлено в соответствии с требованиями стандарта высшего профессионального образования к минимуму содержания и уровню подготовки инженеров машиностроительных специальностей в части знаний и умений по английскому языку. Методическое пособие содержит базовые оригинальные тексты, охватывающие проблематику материаловедческих дисциплин. Работа подготовлена на кафедре «Иностранные языки» и «Материаловедение и ОМД» УлГТУ.

**УДК 620.186 (076)**  
**ББК 34.62 я 7**

Учебное издание  
Материаловедение: свойства металлов  
Методическое пособие  
Составители Матросова Т.А., Филимонов В.И.  
Редактор Н. А. Евдокимова

Подписано в печать 26.09.2008. Формат 60 х 84/ 16.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 3,7. Тираж 100 экз.

Ульяновский государственный технический университет  
432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32  
Типография УлГТУ. 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

© Т.А. Матросова, В.И. Филимонов  
© Оформление. УлГТУ, 2008

## CONTENTS

Topic 1. General Overview of Materials and their Structure.....	5
Topic 2. Physical Properties of Materials .....	7
Topic 3. Mechanical Properties of Materials .....	10
Topic 4. Application of Concepts from Quantum Mechanics .....	12
Topic 5. Impact Properties .....	14
Topic 6. Fatigue Properties and Endurance Limit .....	17
Topic 7. Creep, Stress Rupture and Strain Hardening .....	20
Topic 8. Relative cost of engineering materials.....	23
Topic 9. Enhancement of the properties of materials .....	25
Topic 10. Recovery and Recrystallization .....	29
Topic 11. Solid-state Reactions that Improve Mechanical Properties.....	31
Topic 12. Solid-state Transformations in Ferrous Alloys.....	34
Topic 13. Grain Size and Austenitizing .....	37
Topic 14. Heat Treatment of Ferrous Materials.....	39
Topic 15. Annealing .....	42
Topic 16. Normalizing and Spheroidizing .....	44
Topic 17. Hardness and Hardenability .....	47
Topic 18. Microstructure of Heat-treated Steel.....	50
Topic 19. TTT diagrams of Heat-treated Steel .....	53
Topic 20. Production and Design Characteristics of Cast Iron.....	55

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Пособие основано на оригинальных текстах по материаловедению на английском языке, содержащих фактический познавательный материал по указанной дисциплине. Основная цель пособия – оказать помощь студентам в усвоении базовой лексики английского языка в области материаловедения.

Методическое пособие построено так, что отдельная тема может быть задана студентам для проработки и подготовки к очередному занятию. Преподаватель может отобрать несколько тем для изучения в рамках аудиторных занятий, другие же темы могут быть предложены для самостоятельного изучения студентами.

Рекомендуется следующая процедура работы с методическим пособием при самостоятельной работе студентов:

1) Желательно предварительно изучить (повторить) соответствующий раздел дисциплины «Материаловедение» на русском языке.

2) Отработать чтение терминов из глоссария изучаемой темы.

3) Прочитать внимательно абзац, отмечая незнакомые слова\*. Отыскать незнакомые слова по словарю, отработать их чтение, используя транскрипцию, выписать их значения.

4) Соблюдая правила фонетики, отработать чтение абзаца до беглого чтения.

5) Отработать последующие абзацы согласно пп. 3, 4.

6) Перевести текст на русский язык письменно.

7) Выполнить обратный письменный перевод с русского на английский.

8) Выполнить проверку перевода.

9) Процедуру проверки следует повторять до полного устранения ошибок.

10) Настоятельно рекомендуется выполнять устный перевод русского текста с листа на английский язык.

11) «Упрямые» к запоминанию термины и слова следует написать несколько раз подряд.

12) Проверить знание терминологии по глоссарию к теме.

13) При затруднениях, связанных с применением грамматических правил, следует адресоваться к справочникам по грамматике или учебникам.

14) Выполнить письменно упражнения в конце каждой из тем.

Выбор и методическая разработка тем для проведения аудиторных занятий осуществляется преподавателем в зависимости от специализации студентов, методических предпочтений преподавателя и сопутствующего грамматического материала к изучению.

\* – Незнакомое слово: 1) Неуверенность в прочтении. 2) Неизвестно контекстуальное значение. 3) Неуверенность в орфографии при написании.

# ***MATERIAL SCIENCE: PROPERTIES OF MATERIALS***



## **Topic 1. General Overview of Materials and their Structure**

---

The properties of materials are sometimes referred to as **structure-sensitive**, as compared to structure-insensitive properties. In this case structure-insensitive properties include the traditional physical properties: **electrical** and **thermal conductivity**, **specific heat**, **density**, and magnetic and optical properties. The structure-sensitive properties include the **tensile and yield strength**, **hardness**, and **impact, creep, and fatigue resistance**. It is recognized that some sources maintain that hardness is not a true mechanical property, because it varies somewhat with the characteristics of the **indenter** and therefore is a **technological test**. It is well known that other mechanical properties vary significantly with **rate of loading**, temperature, geometry of **notch** in impact testing, and the size and geometry of the test **specimen**. In that sense all mechanical tests of material properties are technological tests. Furthermore, since reported test values of materials properties are **statistical averages**, a commercial material frequently has a **tolerance band** of  $\pm 5$  percent or more **deviation** from a given published value.

In the **solid state**, materials can be classified as **metals**, **polymers**, **ceramics**, and **composites**. Any particular material can be described by its behavior when subjected to external conditions. Thus, when it is loaded under known conditions of direction, magnitude, rate, and environment, the resulting responses are called mechanical properties. There are many possible complex **interrelationships** among the internal structure of a material and its **service performance**. Mechanical properties such as yield strength, **impact strength**, hardness, creep, and fatigue resistance are strongly structure-sensitive, i.e., they depend upon the **arrangement** of the atoms in the **crystal lattice** and on any **imperfections** in that arrangement, whereas the physical properties are less structure-sensitive. These include electrical, thermal, magnetic, and optical properties and do depend in part upon structure; for example, the **resistivity** of a metal increases with the **amount of cold work**. Physical properties depend primarily upon the **relative excess or deficiency** of the **electrons** that establish **structural bonds** and upon their **availability** and **mobility**. Between the **conductors** with high electron mobility and the **insulators** with no free electrons, precise control of the atomic architecture has created **semiconductors** that can have a planned modification of their electron mobility. Similarly, advances in **solid-state optics** have led to the development of the **stimulated emission** of electromagnetic energy in the **microwave spectrum (masers)** and in the **visible spectrum (lasers)**.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	structure	структура
2.	sensitive	чувствительный
3.	electrical	электрический
4.	thermal	тепловой, термический
5.	conductivity	проводимость
6.	specific heat	удельная теплоемкость
7.	density	плотность
8.	tensile	растяжимый
9.	yield strength	предел текучести
10.	hardness	твердость
11.	impact	удар
12.	creep	ползучесть
13.	fatigue	усталость
14.	resistance	сопротивление, стойкость
15.	indenter	индентор
16.	technological	технологический
17.	test	испытание
18.	rate	скорость
19.	loading	нагружение
20.	notch	выточка, выемка
21.	specimen	образец
22.	statistical	статистический
23.	average	средний
24.	tolerance	допуск
25.	band	диапазон
26.	deviation	отклонение
27.	solid state	твердое состояние
28.	metal	металл, металлический
29.	polymer	полимер
30.	ceramic	керамика
31.	composites	композиты
32.	interrelationship	взаимосвязь
33.	service performance	служебные характеристики
34.	impact strength	ударная прочность
35.	arrangement	расположение
36.	crystal lattice	кристаллическая решетка
37.	imperfections	несовершенства
38.	resistivity	удельное сопротивление
39.	amount	объем, количество
40.	cold work	холодная обработка

№	English word	Translation
41.	relative	относительный
42.	excess	избыток
43.	deficiency	недостаток
44.	electron	электрон
45.	structural	структурный
46.	bond	связь
47.	availability	наличие
48.	mobility	подвижность
49.	conductor	проводник
50.	insulator	изолятор
51.	semiconductor	полупроводник
52.	solid-state	твердотельный
53.	optics	оптика
54.	stimulated	вынужденный
55.	emission	излучение
56.	microwave	микроволновой
57.	maser	мазер
58.	visible	видимый
59.	laser	лазер

### Questions:

1. Зависят ли механические свойства материалов от их структуры? 2. Каковы основные традиционные физические свойства веществ? 3. В какой степени физические свойства зависят от структуры материала? 4. Что влияет на относительность понятия «механические свойства»? 5. Каков уровень статистического отклонения для промышленных материалов? 6. Как классифицируются вещества, находящиеся в твёрдом состоянии? 7. Дайте определение механических свойств материалов. 8. Какие свойства материалов в большей степени зависят от структуры: физические или механические? 9. От чего зависят физические свойства материалов? 10. Как зависит удельное сопротивление от обработки давлением? 11. Как подразделяют материалы в зависимости от наличия в них свободных электронов? 12. Дайте названия устройств, излучающих принудительно электромагнитную энергию в микроволновом и видимом диапазоне.

## **Topic 2. Physical Properties of Materials**

In studying the general structure of materials, one may consider three groupings: first, atomic structure, electronic configuration, **bonding forces**, and the **arrangement** of the **aggregations** of atoms; second, the physical aspect of materials,

including properties such as electrical and thermal **conductivity**, **specific heat**, and **magnetism**; and third, their macroscopic properties, such as their mechanical behavior under load, which can be explained in terms of **impurities** and **imperfections** in the **lattice** structure and the procedures used to modify that behavior.

In the selection of materials for industrial applications, many engineers normally refer to their average **macroscopic** properties, as determined by engineering tests, and are seldom concerned with **microscopic** considerations.

Others, because of their specialty or the nature of their positions, have to deal with microscopic properties.

The average properties of materials are those involving **matter** in **bulk** with its **flaws**, variations in composition, and **variations in density** that are caused by **manufacturing fluctuations**. Microscopic properties pertain to atoms, molecules, and their interactions. These aspects of materials are studied for their direct **applicability** to industrial problems and also so that possible properties in the development of new materials can be estimated.

In order not to become confused by apparently **contradictory concepts** when dealing with the **relationships** between the microscopic aspects of matter and the **average properties** of materials, it is wise to consider the principles that account for the nature of matter at the different levels of our **awareness**. These levels are the **commonplace**, the extremely small, and the extremely large. The commonplace level deals with the average properties already mentioned, and the principles involved are those set forth by classical physics. The **realm** of the extremely small is largely explained by means of **quantum mechanics**, whereas that of the extremely large is dealt with by **relativity**.

Relativity is concerned with very large masses, such as planets or stars, and large velocities that may approach the **velocity of light**. It is also applicable to smaller masses, ranging down to **subatomic** particles, when they move at high velocities. Relativity has a definite place in the **tool boxes** of nuclear engineers and electrical engineers who deal with particle **accelerators**. For production engineers, relativity is of only academic interest and is mentioned here for the sake of completeness.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	bonding	связывающий
2.	force	сила
3.	arrangement	расположение
4.	aggregation	скопление, концентрация
5.	conductivity	проводимость
6.	specific	удельный, специфичный
7.	heat	тепло



№	English word	Translation
8.	magnetism	магнетизм
9.	impurities	примеси
10.	imperfections	несовершенства
11.	lattice	решетка
12.	macroscopic	макроскопический
13.	microscopic	микроскопический
14.	matter	вещество; материал
15.	bulk	объём, объемный
16.	flaw	трещина, щель
17.	variation	изменение
18.	density	плотность
19.	manufacturing	изготовление
20.	fluctuation	флуктуация
21.	to pertain to	принадлежать, относиться
22.	applicability	приложимость
23.	contradictory	противоречивый
24.	concept	концепция
25.	relationship	отношение, зависимость
26.	average	средний
27.	property	свойство
28.	awareness	знание, осведомленность
29.	commonplace	общеизвестный факт
30.	realm	область, сфера
31.	quantum	квантовый
32.	mechanics	механика
33.	relativity	теория относительности
34.	velocity	скорость
35.	light	свет, легкий
36.	subatomic	субатомный
37.	tool box	инструментарий
38.	accelerator	ускоритель

### Questions:

1. Какие группы понятий можно выделить при изучении общей структуры материалов? 2. Укажите четыре компонента в первой группе понятий. 3. Какие свойства материалов можно отнести к физическим свойствам? 4. Что понимается под макроскопическими свойствами? 5. Каким

образом обычно определяют макроскопические параметры материала? 6. Чем определяются микроскопические свойства материалов? 7. Какие уровни познания можно выделить с целью соотнесения микро- и макропараметров? 8. Какая дисциплина объясняет поведение микрочастиц? 9. Поведение каких объектов описывает теория относительности? 10. Приложима ли теория относительности к малым частицам и при каких условиях? 11. Какое значение имеет теория относительности для инженера-механика в части изучения свойств материалов?

### **Topic 3. Mechanical Properties of Materials**

---

Designers and engineers are usually more interested in the behavior of materials under **load** or when in a magnetic field than in why they behave as they do. Yet the better one understands the nature of materials and the reasons for their physical and mechanical properties the more quickly and wisely will he/she be able to choose the proper material for a given **design**. Generally, a material property is the measured **magnitude** of its response to a standard test performed according to a standard procedure in a given **environment**. In engineering materials the loads are mechanical or physical in nature and the properties are recorded in **handbooks** or, for new materials, are made **available** by the **supplier**. Frequently such information is tabulated for room-temperature conditions only, so when the actual service conditions are at **subfreezing** or **elevated** temperatures, more information is needed.

All materials have properties that designers must use to their best advantage. The following terms describe these properties:

**Ductility** is a **softness** present in some materials, such as copper and aluminum, that permits them to be formed by **stretching (drawing)** or **hammering** without **breaking**. **Wire** is made of ductile materials that can be drawn through a **die**.

**Brittleness** is a characteristic of metals that will not stretch without breaking, such as **cast irons** and **hardened steels**.

**Malleability** is the ability of a metal to be **rolled** or hammered without breaking.

**Hardness** is the ability of a metal to resist being **dented** when it receives a blow.

**Toughness** is the property of being **resistant** to **cracking** and breaking while remaining **malleable**.

**Elasticity** is the ability of a metal to return to its original **shape** after being **bent** or **stretched**.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	load	нагрузка
2.	design	конструкция
3.	magnitude	величина
4.	environment	внешние условия
5.	handbook	справочник
6.	available	доступный
7.	supplier	поставщик
8.	subfreezing	ниже точки замерзания
9.	elevated	повышенный
10.	ductility	ковкость, тягучесть
11.	softness	мягкость
12.	stretching	растяжение
13.	drawing	вытяжка
14.	hammering	ковка
15.	breaking	разрыв, обрыв
16.	wire	проволока, провод
17.	die	матрица
18.	brittleness	хрупкость
19.	brittle	хрупкий, ломкий
20.	cast iron	чугун
21.	harden	упрочнять
22.	steel	сталь
23.	malleability	ковкость, пластичность
24.	rolled	катаный
25.	hardness	твердость
26.	dent	зуб, зубец
27.	dented	зубчатый
28.	toughness	ударная вязкость
29.	resistant	стойкий
30.	cracking	разрушение, растрескивание
31.	malleable	ковкий, тягучий
32.	elasticity	упругость
33.	shape	форма
34.	bent	изогнутый, гнутый
35.	stretched	растянутый

### Questions:

1. Что в материалах интересует конструкторов и инженеров в первую очередь? 2. Важно ли для инженеров знание природы материалов и причин их поведения, почему? 3. Что в сущности представляет собой то или иное свойство

материала? 4. Из каких источников можно получить те или иные характеристики материалов? 5. Являются ли справочные свойства материалов абсолютными или относительными, почему? 6. Дайте определение ударной вязкости. 7. Как получают проволоку? 8. Дайте определение хрупкости и назовите материалы, которые могут быть отнесены к хрупким материалам. 9. Что такое ковкость? 10. Как можно дать определение твердости металла? 11. Что такое пластичность? 12. Дайте определение упругости материала.

## **Topic 4. Application of Concepts from Quantum Mechanics**

---

Quantum mechanics, once restricted to the academic halls, has now become a bread-and-butter topic. It generally deals with particles of atomic or **subatomic sizes**. But from the understanding of the behavior of these **particles** comes a better understanding of such **phenomena** as thermal conductivity, **heat capacity**, electric conductivity and the very existence of **transistors** and **thermistors**.

Quantum mechanics is a complex subject, largely outside the **scope** of this text, yet a brief mention of two of its most important concepts may aid the production-design engineer in the study of the basic characteristics of materials. One of these is Planck's quantum **hypothesis**, later extended by Einstein and others. The other is Pauli's **exclusion principle**.

The quantum hypothesis **postulates** that the **bound energy state** of particles of very small size cannot be represented by a **continuous function** but is **discrete** in nature. Thus, between any two **permissible** energy states of a **bound** particle there exists a region of states that are **forbidden**.

Each of the electrons of any atom has a particular energy **level**  $E_1, E_2, E_3$ , etc. For an electron to go from one energy state to a higher one, it must receive sufficient energy to jump through the forbidden-energy regions. Thus if an electron at energy level  $E_2$  is to go to the higher-energy level  $E_3$ , it must receive an energy  $\Delta E_2$ .

All **matter** has a **spontaneous** tendency to be in the lowest possible energy state. **Consequently**, the electrons of any atom fill the lowest **permissible** energy levels and are only **excited** to upper **empty** levels when they are given energy by means of **interaction** with electromagnetic **radiation**, particle bombardment, or an electric field, or by thermal excitation (**collision** with **neighbouring** atoms brought about by an increased **amplitude** of atomic **vibration caused** by an increase in temperature).

Thus, if an electron is **dislodged** from its **initial** energy level, it can only go to a higher unoccupied level or **entirely** out of the atom. It may be **recalled** that the number of electrons in any atom is **equal** to the number of **protons** in the **nucleus**. If for any reason an atom is **stripped** of some or all of its electrons, free electrons in the **vicinity** of the **ion** will rapidly fall into the empty energy levels, emitting their **excess** energy in the form of radiation. Many of physical properties of materials are understood through this behavior of electrons.

## Glossary

<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
1.	subatomic	субатомный
2.	size	размер
3.	particle	частица
4.	phenomenon	явление
5.	heat capacity	теплоемкость
6.	transistor	транзистор
7.	thermistor	термистор
8.	scope	диапазон, объем
9.	hypothesis	гипотеза
10.	exclusion	исключение
11.	principle	принцип
12.	postulate	постулировать
13.	bound	связанный
14.	forbidden	запрещенный
15.	matter	веществе, субстанция
16.	spontaneous	спонтанный
17.	consequently	следовательно
18.	permissible	разрешенный
19.	excite	возбуждать
20.	empty	пустой
21.	interaction	взаимодействие
22.	radiation	излучение
23.	collision	столкновение
24.	neighbouring	соседний
25.	amplitude	амплитуда
26.	vibration	вибрация
27.	caused	вызванный
28.	dislodged	смещенный
29.	initial	начальный
30.	entirely	полностью
31.	recall	возврат
32.	equal	равный
33.	proton	протон
34.	nucleus	ядро
35.	stripped	лишенный (электронов)
36.	vicinity	соседство, близость
37.	ion	ион
38.	excess	избыток

### Questions:

1. С объектами какого размера имеет дело квантовая механика? 2. Что помогает понять изучение поведения молекулярных частиц с точки зрения квантовой механики? 3. Каковы два основных понятия лежат в основе квантовой механики? 4. В чем суть квантовой гипотезы? 5. Могут ли энергетические уровни электронов быть произвольными? 6. Справедлив ли для материи принцип минимума энергии? 7. Каковы способы накачки энергии? 8. Как происходит спонтанное излучение? 9. Как соотносится количество электронов и протонов в атоме. 10. Какие свойства материалов можно понять, основываясь на поведении электронов?

## Topic 5. Impact Properties

In some designs, dynamic forces are likely to cause **failure**. For example an **alloy** may be hard and have high **compressive strength** and yet be unable to **withstand** a **sharp blow**. In particular, **low-carbon steels** are **susceptible** to **brittle** failure at certain temperatures. Most **impact** tests use a **calibrated** hammer to strike a **notched** or unnotched test **specimen**. In the former, the test result is strongly dependent on the base of the notch, where there is a large concentration of **triaxial stresses** that produce a **fracture** with little plastic **flow**. The impact test is particularly sensitive to internal stress producers such as **inclusions**, **flake graphite**, second phases, and internal **cracks**.

The results from an impact test are not easily expressed in terms of design **requirements** because it is not possible to determine the triaxial stress conditions at the notch. There also seems to be no general agreement of the interpretation or **significance** of the result. Nonetheless the impact test has proved especially useful in defining the temperature at which steel changes from brittle to **ductile** behavior. Low-carbon steels are particularly susceptible to brittle failure in a cold **environment** such as the North Atlantic. There were cases of Liberty ships of World War II **vintage splitting** in two as a result of brittle behavior when traveling in heavy seas during the winter.

In a particular design having a notch or any **abrupt** change in **cross section**, the maximum stress **occurs** at this **location** and may **exceed** the stress **computed** by typical formulas based upon **simplified assumptions** in connection with stress **distribution**. The **ratio** of this maximum stress to the nominal stress is known as a **stress concentration factor**, usually **denoted** by K. Stress concentration factors may be determined experimentally or by calculations based on the theory of **elasticity**. Figure 5.1 illustrates stress concentration factors K for **fillets** of **various radius** **divided** by the **thickness** of **castings** subjected to **torsion**, **tension**, and **bending** stresses.

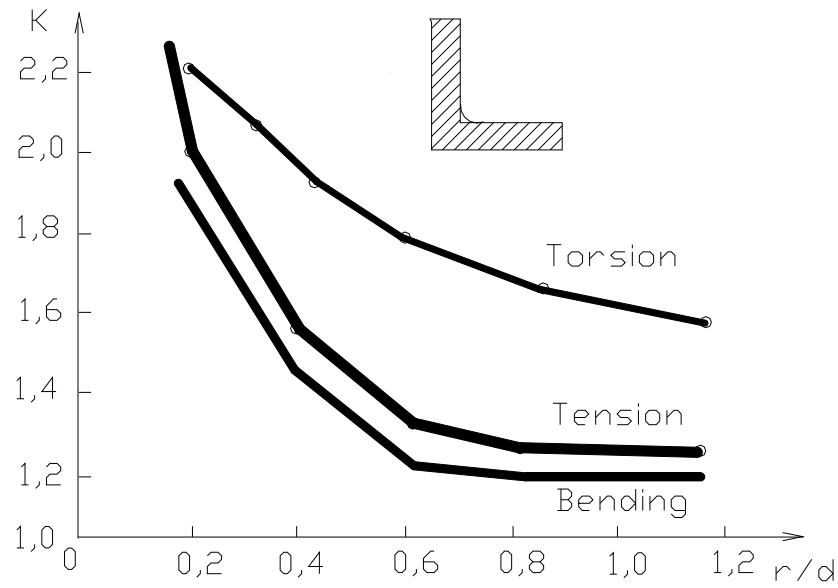


Fig. 5.1.  $K$  as a function of  $r/d$ :  
 $r$  – fillet radius;  $d$  – wall thickness

### Glossary

№	English word	Translation
1.	failure	отказ, разрушение
2.	alloy	сплав
3.	compressive	сжимающий
4.	strength	прочность, сила
5.	withstand	выдерживать
6.	sharp	острый
7.	blow	удар, порыв
8.	low-carbon	низкоуглеродистый
9.	steel	сталь
10.	susceptible	подверженный
11.	brittle	хрупкий, ломкий
12.	impact	удар
13.	calibrated	калиброванный
14.	notch	выемка, выточка
15.	specimen	образец
16.	triaxial	объемный, трехмерный
17.	stress	напряжение
18.	fracture	разрушение
19.	flow	течение
20.	inclusion	включение

№	English word	Translation
21.	flake	хлопья, волокна
22.	graphite	графит
23.	crack	трещина
24.	requirements	требования
25.	significance	значение
26.	ductile	ковкий, пластичный
27.	environment	внешние условия
28.	vintage	разлив,
29.	splitting	скалывающий, острый
30.	abrupt	резкий, обрывистый
31.	cross section	поперечное сечение
32.	occur	случаться
33.	location	положение
34.	exceed	превышать
35.	computed	рассчитанный
36.	simplified	упрощенный
37.	assumption	предположение
38.	distribution	распределение
39.	ratio	отношение
40.	stress	напряжение
41.	concentration	концентрация
42.	factor	фактор
43.	denoted	обозначенный
44.	elasticity	упругость
45.	fillet	галтель
46.	various	различный
47.	radius	радиус
48.	divided by	деленный на
49.	thickness	толщина
50.	casting	литье
51.	subjected	подверженный
52.	torsion	кручение
53.	tension	растяжение
54.	bending	гибка

### Questions:

1. Что может вызывать поломку деталей в некоторых конструкциях. 2. Как зависит поведение сплавов при ударной нагрузке от температуры? 3. Как ведут себя низкоуглеродистые стали при низких температурах? 4. Каковы условия проведения теста на ударную прочность? 5. От чего существенно зависит результат такого теста? 6. Какие факторы могут быть отнесены к факторам, порождающим внутренние напряжения? 7. В чем состоит трудность



соотнесения результата испытания с требованиями к конструкции? 8. Существует ли общий подход к оценке результатов испытаний? 9. В чем состоит особое значение испытания на ударную прочность? 10. Приведите пример хрупкого разрушения в практике эксплуатации конструкций из низкоуглеродистой стали. 11. Где локализуются концентраторы напряжений в испытываемых образцах? 12. Дайте определение коэффициента концентрации напряжений. 13. Укажите способы определения коэффициента концентрации напряжений. 14. Опишите соотношение коэффициентов концентрации напряжений для кручения, растяжения и изгиба.

## **Topic 6. Fatigue Properties and Endurance Limit**

Although **yield strength** is a suitable **criterion** for designing components that are to be **subjected** to static **loads**, for cyclic loading the behavior of a material must be evaluated under dynamic conditions. The **fatigue strength** or **endurance limit** of a material should be used for the design of parts subjected to **repeated alternating stresses** over an **extended** period of time. As would be expected, the **strength** of a material under **cyclic** loading is considerably less than it would be under a static load (Fig. 6.1). The **plot** of stress as a function of the number of cycles to **failure** is commonly called an S-N **curve**. It is interesting to note that for **specimens** of SAE\* 1047 steel there is a stress called the endurance or fatigue limit below which the material has an **infinite** life ( $>10^8$  cycles), i.e., the steel would not **fail regardless** of **exposure time** (Fig. 6.2). In contrast, the 2014-T6 aluminum alloy has no limiting stress value.

Fatigue data are **inherently** more **variable** than **tensile** test data. In part the **scatter** is caused by variation in surface **finish** and **environment**. **Polished** specimens of the same material give **significantly** better life than **machined** or **scaly** surfaces. Since most fatigue failures **initiate** at surface **notches**, fatigue behavior and notch **sensitivity** are closely **related**. Thus mechanical or other **treatments** that **improve** the **integrity** of the surface, or **add residual compressive** stresses to it, improve the endurance limit of the specimen.

**Overstressing** above the fatigue limit for cycles fewer than necessary to produce failure at that stress reduces the fatigue limit. Also, **understressing** below the fatigue limit may increase the fatigue limit. Thus, **cold working** and **shot peening** usually improve fatigue properties.

Several standard types of **fatigue-testing** machines are commercially **available**. The results of **extensive fatigue-life** testing programs are now available in the form of S-N curves that are **invaluable** for **comparing** the **performance** of a material that is expected to be subjected to dynamic loads.

---

\* - Society of American Engineers

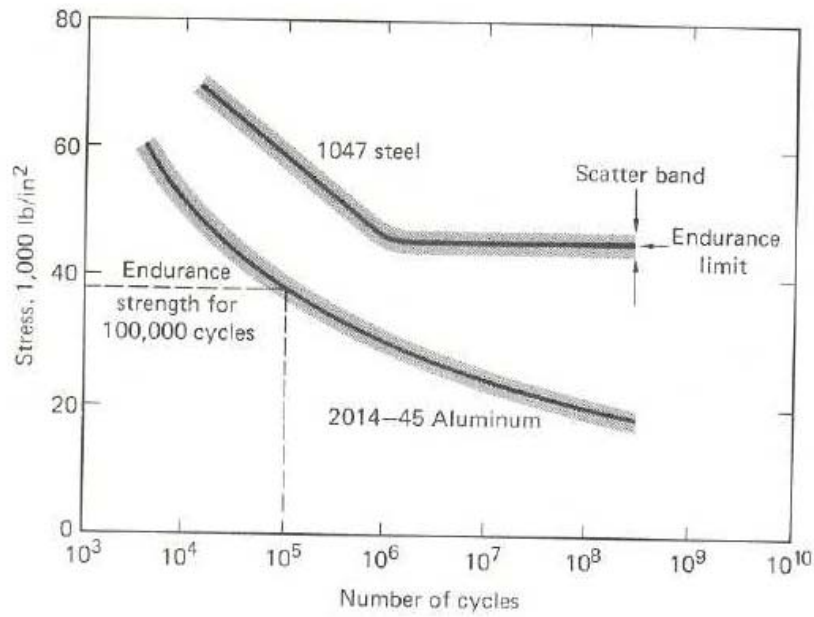


Fig. 6.1. Typical fatigue-failure curves for Al and 1047 steel (2.21)

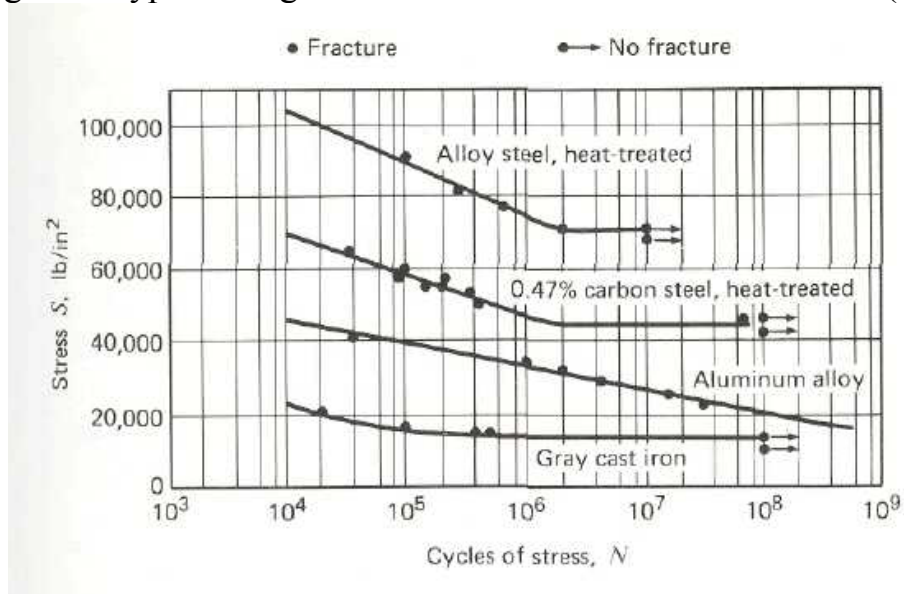


Fig. 6.2. Fatigue (S-N) curves and endurance limits for various alloys

### Glossary

№	English word	Translation
1.	yield strength	предел текучести
2.	criterion	критерий
3.	subjected	подверженный
4.	load	нагрузка
5.	fatigue strength	выносливость
6.	endurance limit	предел усталости
7.	repeated	повторный

<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
8.	alternating	переменный
9.	stress	напряжение
10.	extended	углубленный, расширенный
11.	cyclic	циклический
12.	plot	график
13.	failure	поломка, разрушение
14.	curve	кривая
15.	specimen	образец
16.	infinite	бесконечный
17.	fail	поддаться, разрушиться
18.	regardless of	независимо от
19.	exposure time	время воздействия
20.	inherently	по сути
21.	variable	изменчивый
22.	tensile	растяжимый
23.	scatter	разброс
24.	finish	отделка (поверхности)
25.	environment	внешние условия
26.	polished	полированный
27.	significantly	существенно
28.	machined	обработанный резанием
29.	scaly	чешуйчатый
30.	initiate	начинать(ся)
31.	notch	выемка, выточка
32.	sensitivity	чувствительность
33.	related	относящийся к, связанный
34.	treatment	обработка
35.	improve	улучшать
36.	integrity	нетронутость; целостность; полнота
37.	add	складывать, добавлять
38.	residual	остаточный
39.	compressive	сжимающий
40.	overstressing	перегрузка
41.	understressing	недогрузка
42.	cold working	холодная обработка
43.	shot peening	дробеструйная обработка
44.	fatigue-testing	испытание на усталость
45.	available	доступный, наличный
46.	extensive	обширный, углубленный
47.	fatigue-life	эксплуатационная долговечность

№	English word	Translation
48.	invaluable	бесценный
49.	comparing	сравнивание

### Questions:

1. Какая характеристика является подходящим критерием для проектирования изделий, работающих при статических нагрузках? 2. Для каких условий работы применимо понятие «предел выносливости»? 3. Значение какой характеристики выше: предела прочности или предела выносливости? 4. Дайте определение кривой выносливости. 5. Как называют нагрузку, при которой срок службы стальной детали можно считать практически бесконечным? 6. Существует ли предел выносливости для алюминиевого сплава 2014-E6? 7. Чем обусловлены большие отклонения данных по испытаниям на усталость по сравнению с испытаниями на растяжение? 8. Оказывает ли влияние наличие выточек в детали на предел выносливости, каков характер этой зависимости? 9. Укажите два способа повышения усталостной прочности деталей. 10. Какие виды обработки металлов давлением повышают предел выносливости? 11. На каком оборудовании проводят испытания на усталостную прочность? 12. В какой форме обычно представляют данные испытаний на усталостную прочность? Для чего служат эти данные?

## Topic 7. Creep, Stress Rupture and Strain Hardening

As metals are **exposed** to temperatures within 40 percent of their **absolute melting point**, they begin to **elongate** continuously at low constant load (**stresses beyond the proportional limit**). A typical **creep curve** is a **plot** of the elongation against time of a **wire subjected** to a **tensile load** at a given temperature (Fig. 2.25). Creep is explained in terms of the **interplay** between **range** from 20,000 lb/in.<sup>2</sup> for certain **gray irons** to 280,000 lb/in.<sup>2</sup> or more for particular **alloy steels**.

The usable range of temperature for steel ranges from —460°F to almost 2000°F for specific **stainless** steels. Aluminum alloys can **withstand** temperatures from 300 to 500°F, and some **titanium-reinforced polymers** are useful up to 400 to 900°F, but the **vast majority** are good only to 200°F. **Hardness** is the most difficult property to use for making **valid comparisons**, because the deformation of **plastics** and **elastomers** under an **indenter** is different from that of metals. As a group, polymers are far **softer** than metals. **Ferrous** and **nickel-base alloys** range from 100 to 600 Brn, which is a **tremendous** range of values.

The **strain-hardening** behavior of a metal depends on its **lattice** structure. In **face-centered cubic crystallographic** structures, the **rate** of strain-hardening is affected by the **stacking** fault energy through its influence on mechanical properties. **Copper**, **nickel**, and **austenitic** stainless steel strain-harden more rapidly than

**aluminum. Hexagonal close-packed** metals are subject to **twinning** and strain-harden at a much higher rate than do other metals because there is only one plane of easy **glide** available in the close-packed hexagonal structure. Strain-hardening is also effected by **grain size**, **impurity atoms**, and the presence of a second phase. The strain-hardening rate increases with the complexity of the structure of the alloy.

**Severely** strained metals may have elongated grains with **distorted** and **twisted** lattices and a strong **anisotropy** that can be used by an **astute** designer if he takes **advantage** of **directional strength** in his design. On the other hand, because of the increased strength and hardness brought about by strain-hardening, the number of **reductions** in a **forming sequence** will be limited before **annealing** is **required**.

### Glossary

№	English word	Translation
1.	rupture	разрыв, разрушение
2.	exposed	подвергнутый
3.	absolute	абсолютный
4.	melting point	точка плавления
5.	elongate	растягивать(ся)
6.	stress	напряжение
7.	beyond	за (пределами)
8.	proportional limit	предел пропорциональности
9.	creep	ползучесть
10.	curve	кривая
11.	plot	график
12.	wire	проволока
13.	subjected	подвергнутый
14.	tensile load	растягивающая нагрузка
15.	interplay	взаимодействие
16.	range	диапазон
17.	gray iron	серый чугун
18.	alloy steel	легированная сталь
19.	stainless	нержавеющий
20.	withstand	выдерживать
21.	titanium	титан
22.	reinforced	армированный, усиленный
23.	polymer	полимер
24.	vast majority	подавляющее большинство
25.	hardness	твёрдость
26.	valid	законный
27.	comparison	сравнение
28.	plastics	пластики
29.	elastomers	эластомеры

№	English word	Translation
30.	indenter	индентор
31.	soft	мягкий
32.	ferrous	железистый («черный»)
33.	nickel-base	на основе никеля
34.	tremendous	огромный
35.	strain-hardening	деформационное упрочнение
36.	lattice	решётка
37.	face-centered	гранецентрированный
38.	crystallographic	кристаллографический
39.	rate	скорость
40.	stacking	накапливающийся
41.	copper	медь
42.	nickel	никель
43.	austenitic	аустенитный
44.	aluminum	алюминий
45.	hexagonal close-packed	гексагональная плотно упакованная
46.	twinning	двойникование
47.	glide	скользить
48.	grain size	размер зерна
49.	impurity atom	примесный атом
50.	severely	сильно
51.	distorted	искаженный
52.	twisted	искаженный, скрученный
53.	anisotropy	анизотропия
54.	astute	хитрый, проницательный
55.	advantage	преимущество
56.	directional strength	направленная прочность
57.	reduction	снижение
58.	forming sequence	последовательность формообразующих операций
59.	annealing	отжиг
60.	required	требуемый

### Questions:

1. При какой температуре проявляется ползучесть под действием постоянной нагрузки? 2. Что представляет собой кривая ползучести? 3. Какой образец используется в испытаниях на ползучесть? 4. Каков уровень нагрузки в испытании ползучести серого чугуна? 5. Укажите диапазон рабочих температур для нержавеющей сталей. 6. Каков рабочий температурный диапазон для алюминиевых сплавов? 7. Почему измерение твердости для пластиков и эластомеров затруднено? 8. Какой материал является более мягким: пластик или металл? 9. В каком диапазоне находится твердость черных металлов и

сплавов на основе никеля? 10. Зависит ли деформационное упрочнение от структуры кристаллической решетки? 11. Чем обусловлена скорость деформационного упрочнения в материалах с ГЦК-решеткой? 12. Дайте сравнение скорости упрочнения меди и алюминия. 13. В какой решетке реализуется механизм пластической деформации двойникованием? 14. Укажите факторы, влияющие на деформационное упрочнение металлов. 15. Укажите преимущества и недостатки деформационного упрочнения.

## **Topic 8. Relative cost of engineering materials**

The **design engineer** is responsible for the **initial specification** of a material, yet in many cases he spends little time checking alternatives. Many designers feel that their obligation ends with the **functional design**, so they tend to minimize the importance of material **selection**. The reasons are many, but two are likely to be (1) **lack of proper** education in their engineering courses and (2) inadequate time because of the need to meet a **deadline**.

In over 90 percent of all designs a material is selected primarily on the basis of **yield strength** and **ability** to fill space at the lowest cost. In some cases, other **criteria**, depending **primarily** on physical **properties** such as **electrical conductivity** or chemical properties such as **corrosion resistance**, are dictated by the **end-use** of the design and form the basis for the material specification.

It is the designer's responsibility to **match** the functional and **esthetic requirements** of his design with the **behavior** of a particular material so that the total cost after manufacture is minimized. In a large organization, this undertaking is a team effort in which design engineers, **production engineers**, and **materials specialists** all play an important role. In a small company, the designer may **handle** the **entire assignment**.

The costs of engineering materials are in a constant state of **flux**. Three components may be **recognized**: first, the general price changes that follow the **ebb** and **flow** of the national economy; second, the **supply-and-demand** effect on the price of some metals, specifically **copper** and **nickel**; and finally, the effect of rising **production capacity** and strong **competition**, as found in the **polymer** industry since

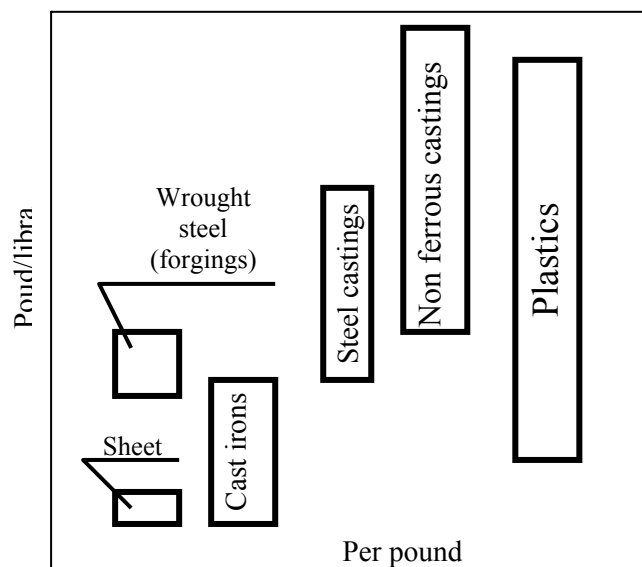


Fig. 8.1. Comparative cost/unit volume for several materials

the 1950s. In general the polymers have dropped in price in the past decade, whereas the cost of all metals but **aluminum** has increased. Inflation had led to increasing prices.

Materials cannot be compared on the basis of cost alone because they have widely varying **densities** and **strengths**. If the cost per pound is **converted** to cost per **unit volume**, a more **meaningful comparison** can be made. When the same materials are compared on the basis of cost per unit of strength per unit of volume it is evident that not only do most materials become strongly competitive, but that in the future, if stronger polymers are created, the 4000-year **dominance** of metals may be **severely challenged** (Fig. 8.1).

### Glossary

№	English word	Translation
1.	design engineer	конструктор
2.	initial	начальный
3.	specification	спецификация
4.	functional design	функциональное конструирование
5.	selection	выбор
6.	lack	недостаток, пробел
7.	proper	надлежащий
8.	deadline	срок
9.	yield strength	предел текучести
10.	ability	способность
11.	criterion	критерий
12.	primarily	в первую очередь
13.	property	свойство
14.	electrical	электрический
15.	conductivity	электропроводность
16.	corrosion resistance	сопротивление коррозии
17.	end-use	конечный потребитель
18.	match	сообразовывать
19.	esthetic	эстетический
20.	requirement	требование
21.	behavior	поведение
22.	production engineer	технолог
23.	materials specialist	металловед
24.	handle	обращаться
25.	entire	целый, полный
26.	assignment	предписание, задача
27.	flux	поток
28.	recognized	признанный
29.	ebb	отлив, упадок



№	English word	Translation
30.	flow	течение, поток
31.	supply	предложение
32.	demand	спрос
33.	copper	медь
34.	nickel	никель
35.	production capacity	производительность
36.	competition	конкуренция
37.	polymer	полимер
38.	aluminum	алюминий
39.	density	плотность
40.	strength	прочность, сила
41.	converted	превращенный
42.	unit volume	единичный объем
43.	meaningful	значащий
44.	comparison	сравнение
45.	dominance	преобладание
46.	severely	сильно, значительно
47.	challenged	конкурировать

### Questions:

1. Какой специалист осуществляет первичный выбор материала для производства той или иной детали? 2. Чем обусловлено небрежение проектировщика выбором материала и предпочтение функционального проектирования? 3. Какие свойства материала принимаются в расчет при проектировании в первую очередь? 4. Какие дополнительные требования в отношении выбора материала могут предъявляться конечным пользователем? 5. В чем заключается компромисс, который обычно возникает перед проектировщиком? 6. В чем отличие разрешения компромисса между обеспечением функциональности, эстетичности и низкой себестоимости в больших и малых проектных организациях? 7. Что можно сказать об изменении цен на конструкционные материалы? 8. Какие три основных фактора влияют на колебания цен на конструкционные материалы? 9. Какова тенденция изменения цен на полимеры, алюминий и другие металлы в последнее десятилетие? 10. Является ли цена металла единственным критерием для выбора материала изделия? 11. Какие материалы в будущем могут составить конкуренцию традиционным металлам?

## Topic 9. Enhancement of the properties of materials

**Heat treatment** is commonly used to **enhance** the mechanical **properties** of materials in the **solid state**. Although the process is usually **thermal** and **modifies**

only the **structure**, there are thermomechanical treatments that also **alter** both the structure and **shape**, and thermochemical treatments that may modify both the structure and the **surface chemistry**. All three of these processes for the enhancement of properties can be classified as heat treating. Many **alloys** are heat-treated, the more important being **ferrous** and **aluminum** alloys. The mechanical properties of **metallic** materials can be increased by **strain-hardening**.

When a metallic alloy is **plastically deformed**, its **yield strength** increases with increase in **strain** as long as the **recrystallization** temperature is not exceeded. Thus, controlled **amounts** of cold **working** may be used to increase the mechanical properties of a metallic material (Fig. 9.1). The **true stress-true strain curves** show that on a **log-log plot**, the strain-hardening **equation** is indeed a straight line and its slope is **denoted** as the coefficient of strain-hardening. Through the strain-hardening equation, an engineer can **predict** the **improvement** in properties that a given operation will **impart** to a material.

In **polycrystalline** alloys, the **mutual interference** of **adjacent grains** causes **slip** to occur on many **intersecting** slip planes with accompanying strain-hardening. This progressive **strengthening** with increasing deformation **stems** from the **interaction** of **dislocations** on intersecting slip planes.

The **ultimate tensile strength** of metals far **exceeds** that of **polymers** – by a factor of 25 for **unreinforced** materials and a factor of 8 for the **woven** glass-reinforced **resins**. In the case of the **modulus of elasticity**, the best **thermosets** are below the lowest **nonferrous** materials (fig. 9.2).

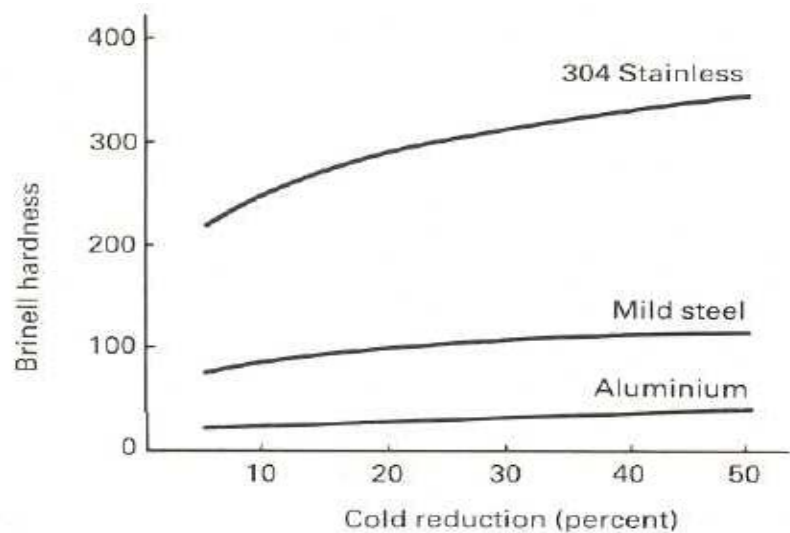


Fig. 9.1. The rate of strain-hardening in three metallic materials

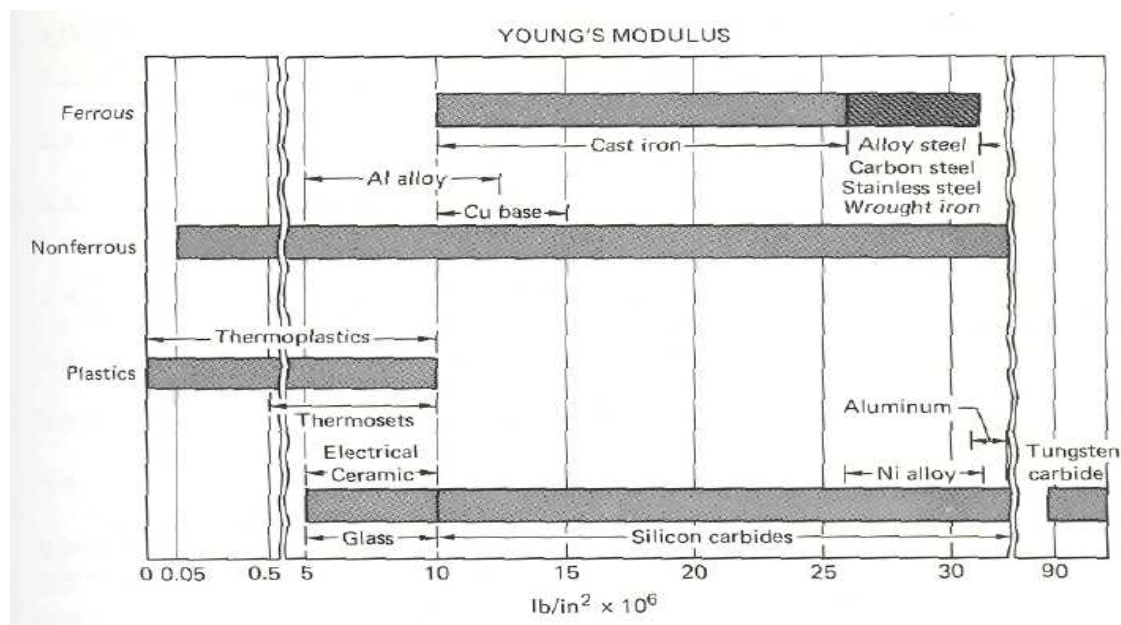


Fig. 9.2. Comparison of the elastic moduli of materials

## Glossary

№	English word	Translation
1.	heat treatment	термообработка
2.	enhance	повышать, усиливать
3.	property	свойство
4.	solid state	твердое состояние
5.	thermal	тепловой, термический
6.	modify	изменять, модифицировать
7.	structure	структура
8.	alter	изменять, искажать
9.	shape	форма
10.	surface chemistry	хим. состояние поверхности
11.	alloy	сплав
12.	ferrous	«черный»
13.	aluminum	алюминий
14.	metallic	металлический
15.	strain-hardening	деформационное упрочнение
16.	plastically deformed	пластически деформированный
17.	yield strength	предел текучести
18.	strain	деформация
19.	recrystallization	рекристаллизация
20.	amount	объем, количество
21.	working	обработка
22.	true stress	истинное напряжение
23.	curve	кривая (линия)
24.	log-log plot	график в логарифмических осях

№	English word	Translation
25.	equation	уравнение
26.	denned	уединенный, отдельный
27.	predict	предсказать
28.	improvement	улучшение
29.	impart	сообщать, передавать
30.	polycrystalline	поликристаллический
31.	mutual	обоюдный, взаимный
32.	interference	помеха, влияние
33.	adjacent	смежный, соседний
34.	grain	зерно
35.	slip	скольжение
36.	intersect/ing	пересекать, перекрещивать
37.	strengthening	укрепляющий
38.	stem	являться результатом
39.	interaction	взаимодействие
40.	dislocation	дислокация
41.	ultimate	предельный
42.	tensile	растягивающий
43.	strength	сила, прочность
44.	exceed	превышать, превосходить
45.	polymer	полимер
46.	unreinforced	неармированный
47.	woven	витой
48.	resin	смола
49.	modulus of elasticity	модуль упругости
50.	thermoset	реактопласт
51.	nonferrous	цветной (металл)

### Questions:

1. С какой целью применяется термическая обработка материалов? 2. С помощью каких процессов улучшаются механические свойства металлов? 3. Влияет ли термомеханическая обработка на изменение структуры и формы материала? 4. Какие виды металлов целесообразно подвергать термической обработке? 5. За счет какого процесса, кроме термообработки, можно повысить механические свойства металлов? 6. Как изменяется предел текучести в процессе пластической деформации при температурах ниже температуры рекристаллизации? 7. Как можно определить коэффициент деформационного упрочнения по кривым «деформация-твердость»? 8. Что можно предсказывать по уравнению деформационного упрочнения? 9. Какое взаимодействие на зеренном уровне имеет место при деформационном упрочнении? 10. Чем объясняется упрочнение при развитой пластической деформации? 11. Во сколько раз предел прочности металлов превышает этот показатель для

неармированных материалов и армированных стекловолокном смол?  
12. Каково соотношение модулей упругости реактопластов и цветных металлов?

## **Topic 10. Recovery and Recrystallization**

---

**Recovery.** During a **cold-working** process most of the energy used is **dissipated** as heat but a small percentage is **stored** within the **distorted lattice** structure of the **alloy**. That energy is the **thermodynamic** driving force that tends to return the metal to its original state provided there is sufficient thermal energy to enable the reactions to occur. Cold forming is done above the **yield point** in the **work-hardening range**, so **internal stresses** can be **built up** easily. Evidence of this is the **springback** as the work leaves the forming operation, and the **warp** in any **subsequent heat treatment**. Even a simple **washer** might, by virtue of the internal stresses resulting from **punching** and then **flattenening**, warp severely during heat treating.

Recovery is a **gradual** change in the mechanical properties of an alloy, i.e., loss in **brittleness**, or marked increase in **toughness** brought about by controlling the heat-treating times and temperatures so that there are no **appreciable** changes in the **microstructure**. However, recovery does significantly reduce the **residual** stresses within the distorted lattice structure.

When doubt exists as to whether internal stresses will cause warpage, a piece can be checked by heating it to about 1100 deg. F and then letting it cool. If there are internal stresses, the piece is likely to deform. Pieces that will warp severely while being heated have been seen, yet the **heat-treater** was expected to put them through and bring them out better than they were in the first place.

**Recrystallization.** All the properties of a cold-worked metal are affected to some degree by a yield behavior heat treatment, but the yield strength and **ductility** can only be **restored** by recrystallization. This may be defined as the **nucleation** and growth of **strain-free grains** out of the **matrix** of cold-worked metal. In general the properties of the recrystallized alloy are those of the metal before the cold-working operation. This is of commercial importance because if an alloy has become work-hardened in a **drawing operation**, it can be recrystallized and the drawing operation can be continued. Nucleation is encouraged by a highly cold-worked initial structure and a high **annealing** temperature. The presence of alloying elements in **solid solution** decreases the **rate** of nucleation.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	recovery	восстановление
2.	cold-working	холодная обработка
3.	dissipate	рассеивать
4.	store	накапливать
5.	distort	искажать, искривлять
6.	lattice	решётка
7.	alloy	сплав
8.	thermodynamic	термодинамический
9.	yield point	предел текучести
10.	work-hardening	деформационное упрочнение
11.	range	диапазон
12.	internal	внутренний
13.	stress	напряжение
14.	built up	наращивать
15.	springback	пружинение
16.	warpage	поводка
17.	subsequent	последующий
18.	heat treatment	термообработка
19.	washer	шайба
20.	punching	штамповка
21.	flattenening	правка
22.	gradual	последовательный
23.	brittle/ness	хрупкий, ломкий
24.	toughness	прочность, ударная вязкость
25.	appreciable	заметный
26.	microstructure	микроструктура
27.	residual	остаточный
28.	heat-treater	термист
29.	recrystallization	рекристаллизация
30.	ductility	ковкость, пластичность
31.	restore	восстанавливать
32.	nucleate	образовывать ядро
33.	strain-free	недеформированный
34.	grain	зерно
35.	matrix	матрица, форма
36.	drawing operation	операция вытяжки
37.	anneal/ing	отжигать
38.	solid	твёрдый
39.	solution	раствор

### Questions:

1. Что происходит в пространственной решетке в процессе холодной обработки материала? 2. При каких условиях легко возникают внутренние напряжения в металле? 3. Какие дефекты пространственной формы возникают в крупных деталях после термообработки? 4. Из-за чего может возникнуть искривление простой шайбы при термообработке? 5. Чем характеризуется процесс восстановления? 6. Возникают ли существенные изменения микроструктуры материала при восстановлении? 7. Какая операция значительно уменьшает остаточные напряжения? 8. Как можно убедиться в наличии остаточных напряжений в детали? 9. Что должен делать термист при наличии поводок в деталях? 10. Какая операция позволяет восстановить предел текучести и пластичность? 11. Как осуществляется процесс рекристаллизации? 12. Как можно повысить пластичность нагартованного материала при реализации процесса вытяжки? 13. Какие два фактора существенно влияют на образование зародышей зерен? 14. Как влияет легирование на скорость образования зародышей зерен?

## **Topic 11. Solid-state Reactions that Improve Mechanical Properties**

---

**Strain hardening** (Fig. 9.1) and **alloy hardening** (Fig. 11.1) are widely used in industry, especially in **aluminum-** and **copper-based** alloys. It is possible to **augment** the mechanical **properties** of certain alloys by other solid-state reactions that can produce much greater **hardness** than is possible by alloying alone, and plastic deformation is not **required**. However, **solid-state** reactions are usually limited to certain alloys for several reasons. Relatively few alloys can be affected by a given solid-state reaction. **Eutectoid decomposition**, for instance, is rare in alloy systems other than the **iron-carbon** system.

To achieve significant hardening, a solid-state reaction must form a **nonequilibrium** or **metastable** structure such as **martensite**. Even though an energetically favorable solid-state reaction is possible according to the equilibrium phase diagram, it may produce little or no hardening. Therefore the **occurrence** of a given reaction is a necessary, but not a sufficient, condition for **strengthening**.

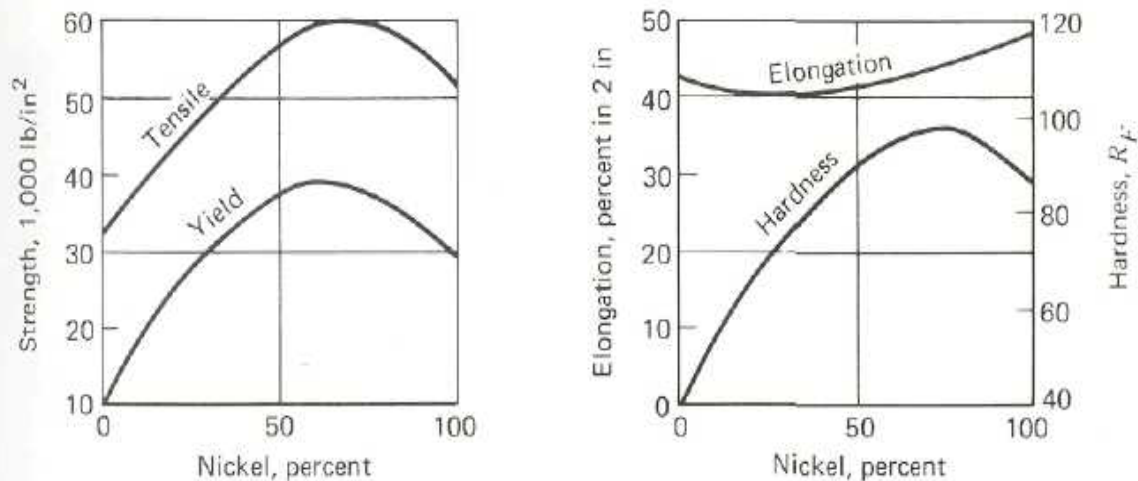


Fig. 11.1. Alloy hardening in copper-nickel alloy

Several solid-state reactions produce **gains** in mechanical properties that are important to engineers. Typical **phase diagrams** indicate the combination of phases that is needed before a solid-state reaction can occur, but that alone does not mean that a significant **improvement** will occur. A typical eutectoid reaction is a **prerequisite** to eutectoid decomposition (fig. 11.2-a). However the iron-carbon system is the only one of commercial value. When the **solvus line** which separates one- and two-phase regions **slopes** to indicate decreasing **solid solubility** of B in A, there is a chance that **precipitation hardening** may occur (fig. 11.2-b). Several aluminum alloys have this type of phase diagram. Although many **binary** alloys have similar solvus lines, aluminum alloys are the best example of precipitation hardening. The requirements of the **diffusion** reaction are indicated in fig. 11.2-c. In this case the diffusion of metal C into the alloy causes the composition of the hardenable alloy (metal B in metal A) to **shift** from a single-phase region to a two-phase region. As metal C diffuses into the solid solution, the **overall** composition gradually shifts into the  $\alpha + \beta$  region, so that the  $\beta$ -phase ( $B_xC_y$ ) begins to precipitate. The **nitriding** process works according to this reaction because **aluminum**, **chromium**, and **vanadium** form nitrides. Thus, when **nitrogen** gas diffuses into the steel **surface** that contains those elements, their nitrides form within the surface of the metal to produce an extremely hard surface. The unusual surface **hardness** is thought to be a result of the fine **dispersion** of nitride **particles** rather than of the **inherent** hardness of the nitrides alone.



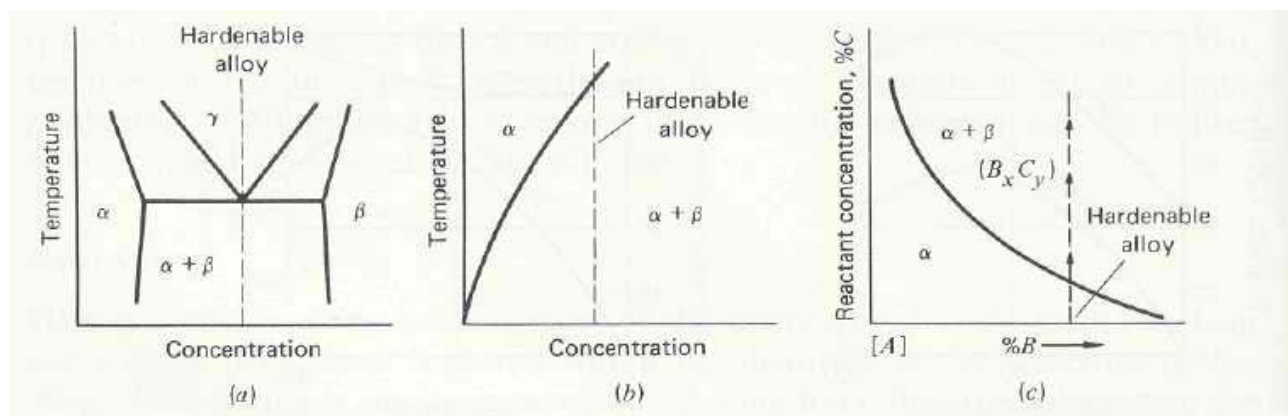


Fig. 11.2. The form of equilibrium diagram required for three solid-state reactions: (a) eutectoid decomposition; (b) precipitation from the solid; (c) diffusion reaction

### Glossary

№	English word	Translation
1.	strain hardening	деформационное упрочнение
2.	alloy hardening	легирование
3.	aluminum-based	на основе алюминия
4.	copper-based	на основе меди
5.	augment	увеличивать
6.	property	свойство
7.	hardness	твёрдость
8.	require	требовать
9.	solid-state	твёрдотельный
10.	eutectoid	эвтектоид
11.	decomposition	разложение
12.	iron-carbon	железо-углерод
13.	nonequilibrium	неуравновешенность
14.	metastable	метастабильный
15.	martensite	мартенсит
16.	occurrence	распространение, положение
17.	strengthening	упрочнение, усиление
18.	gain	усиление
19.	phase diagram	фазовая диаграмма
20.	improvement	улучшение
21.	prerequisite	предпосылка
22.	solvus line	линия растворения
23.	slope	наклон
24.	solid solubility	растворимость в твердом растворе

№	English word	Translation
25.	precipitation hardening	упрочнение выпадением твердой фазы
26.	diffusion	диффузия
27.	shift	сдвиг
28.	overall	полный, общий
29.	nitriding	азотирование
30.	chromium	хром
31.	vanadium	ванадий
32.	nitrogen	азот
33.	surface	поверхность
34.	hardness	твердость
35.	dispersion	дисперсия
36.	particle	частица
37.	inherent	присущий, неотъемлемый

### Questions:

1. Для каких сплавов характерно деформационное упрочнение и упрочнение легированием? 2. Существуют ли реакции твердого состояния, повышающие механические свойства без пластической деформации? 3. Имеются ли ограничения для таких реакций и каков характер этих ограничений? 4. В каких системах наиболее часто встречается эвтектоидный распад? 5. Какая структура должна образоваться для достижения значительного упрочнения? 6. Всегда ли диаграмма равновесного состояния с энергетически благоприятными реакциями приводит к упрочнению? 7. Является ли наличие указанной реакции достаточным условием повышения механических свойств? 8. Что является предварительным условием эвтектоидного распада? 9. Когда происходит упрочнение выпадением твердой фазы? 10. Характерно ли упрочнение выпадением твердой фазы для алюминиевых сплавов? 11. К какому сдвигу приводит диффузия металла в сплав? 12. Какие металлы образуют нитриды? 13. Как происходит процесс азотирования? 14. Чем обусловлена необычная твердость поверхности при азотировании?

## Topic 12. Solid-state Transformations in Ferrous Alloys

**Steel** is unique in its ability to exist as a **soft ductile** material that can easily be formed or **machined** and then, as a result of a **heat treatment**, assume the role of a **hard, tough** material that resists changing **shape**. There are two reasons for this behavior. The first is the fact that **iron undergoes** an **allotropic** change at 1330°F. **Carbon** has little **solubility** in the **body-centered cubic lattice** that is characteristic

of iron at room temperature, but up to 2 percent carbon is soluble in the **face-centered cubic lattice** which is **stable** above 1330°F. The second is the **solid-state eutectoid** reaction in which a solid **solution** at a certain temperature can react to form two new solid phases. In the case of carbon steels, the  $\gamma$ -phase, **austenite**, transforms to  $\alpha$ -iron (**ferrite**) and **cementite**, ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) by the eutectoid reaction. The eutectoid reaction is common in many materials, but only steel exhibits such a marked change in properties.

Thus, when iron with 0.8 percent carbon is heated above 1330°F, the carbon **dissolves** and the resulting solid solution is called austenite or  $\gamma$ -iron. If the austenite is suddenly **quenched** in water, the carbon cannot **escape** and thus is **trapped** within the lattice structure as an **interstitial** atom that **strains** the lattice because of the increased **volume** it must occupy in the new body-centered **tetragonal** structure called **martensite**, which is characterized by a **needlelike** microstructure (Fig. 3.5). Martensite is a hard, **brittle**, **metastable** structure, i.e., a **nonequilibrium** structure, that is a **supersaturated** solid solution of cementite,  $\text{Fe}_3\text{C}$ , in a body-centered tetragonal iron. In the presence of a **moderate** temperature rise (300 to 400°F), **tempering** or **recovery** occurs and the brittle structure becomes tougher, while still **retaining** its **strength** and hardness.

### Glossary

№	English word	Translation
1.	ferrous	«черный»
2.	alloy	сплав
3.	steel	сталь
4.	soft	мягкий
5.	ductile	ковкий
6.	machine	обрабатывать резанием
7.	heat treatment	термообработка
8.	hard/ness	твёрдость
9.	tough	прочный, плотный
10.	shape	форма
11.	iron	железо
12.	undergo	подвергать
13.	allotropic	аллотропный
14.	carbon	углерод
15.	solubility	растворимость
16.	body-centered	объемноцентрированный
17.	cubic	кубический
18.	lattice	решётка

№	English word	Translation
19.	face-centered	гранецентрированный
20.	stable	стабильный
21.	solid-state	твёрдотельный
22.	eutectoid	эвтектоидный
23.	solution	раствор
24.	austenite	аустенит
25.	ferrite	феррит
26.	cementite	цементит
27.	dissolve	растворять
28.	quench	закаливать
29.	escape	избегать
30.	trap	улавливать
31.	interstitial	щелистый
32.	strain	деформация
33.	volume	объем
34.	tetragonal	четырёхугольный
35.	martensite	мартенсит
36.	needlelike	игольчатый
37.	brittle	хрупкий
38.	metastable	метастабильный
39.	nonequilibrium	неравновесный
40.	supersaturate	перенасыщать (раствор)
41.	moderate	умеренный
42.	tempering	отпуск
43.	recovery	восстановление
44.	retain	удерживать
45.	strength	сила, прочность

### Questions:

1. В чем преимущество стали перед другими материалами? 2. При какой температуре происходят аллотропные изменения в стали? 3. Какова растворимость углерода в материале с решеткой ОЦК? 4. При каких температурах решетка ГЦК остается стабильной? 5. При какой реакции образуются две новых твердых фазы? 6. В какие фазы превращается аустенит в углеродистых сталях? 7. При каких температурах нагрева чугуна с 0,8-процентным содержанием углерода происходит растворение последнего? 8. Что происходит при резком охлаждении аустенита? 9. Дайте определение мартенсита. 10. Какова структура и микроструктура мартенсита? 11. Что происходит со структурой при умеренном нагреве мартенсита? 12. Как изменяются прочностные характеристики и твердость при умеренном нагреве мартенсита?

## Topic 13. Grain Size and Austenitizing

An important factor in the **heat treatment** of **steel** is the **grain** size, by which is meant the size of the microscopic grains that are established at the last temperature above the **critical range** to which the piece of steel has been treated. **Fine-grained** steels show better **toughness** at high **hardness**. Grain-size-controlled steels will show less **warpage**. **Coarse-grained** steels harden better.

Grain-size-controlled steel can be secured from the steel **mill** within certain limits. If a given grain size is **specified**, it must be obtained by suitable control of the **recrystallization** process and by prevention of excessive grain growth.

A relatively large **dendrite** grain size may be developed in the process of **solidification** as a result of the freezing rate or section size of **casting**. Large castings and **ingots** freeze with coarse grains. Thin-sectioned castings develop a fine grain size owing to rapid freezing. Normally, a fine grain size is desirable, since higher **ductility** and **impact strength** values are obtained at a given **tensile strengths** level with fine grain size.

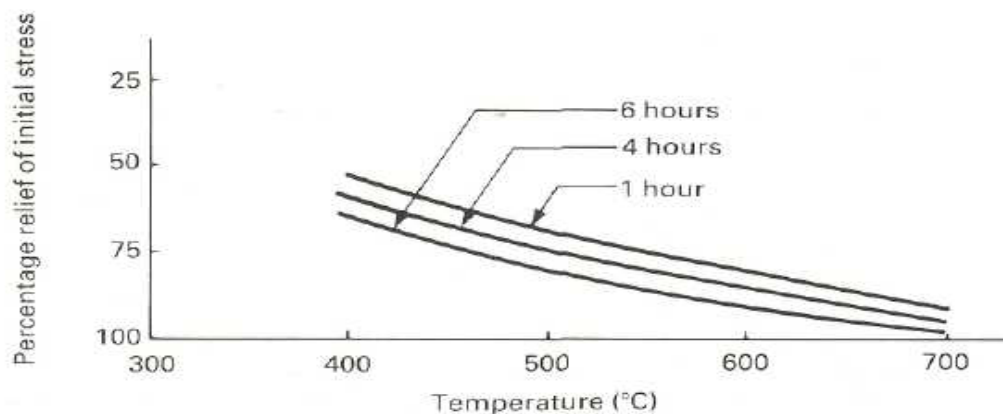


Fig. 13.1. The relation between temperature vs. soak time and the amount of stress relief

Most **ferrous** heat treatments require that **austenite** be produced as the first step in a heat-treating operation. The **iron-carbon** phase diagram (fig. 13.2) shows the minimum temperature at which austenite can form. Austenitizing is a function of both time and temperature. In practice, a **soaking** time of 1 hour/in. of cross section is considered to be adequate for austenitizing a carbon steel, although temperature and initial **carbide particle** size are both important factors.

Steels and **cast irons** contain, in addition to iron and carbon, other elements that **shift** the **boundaries** of the phase fields in the Fe-C diagram. Some **alloying** elements such as **manganese** and **nickel** are austenite **stabilizers** and extend the temperature range over which austenite is stable, while elements such as **chromium** and **molybdenum** are **ferritic** stabilizers and **restrict** the range of austenitic **stability**.

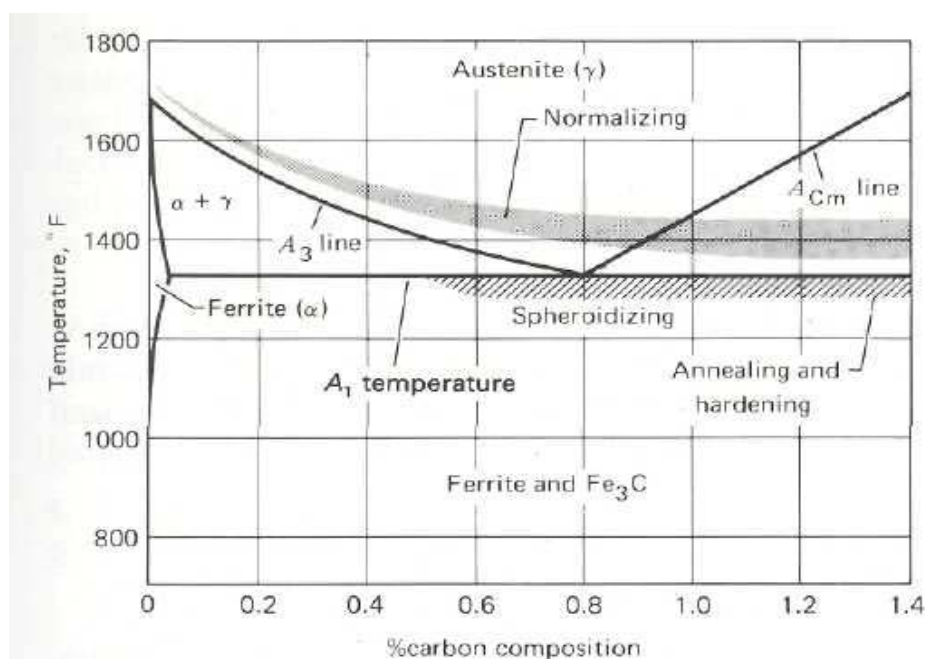


Fig. 13.2. Reduced iron-carbon equilibrium diagram

### Glossary

№	English word	Translation
1.	heat treatment	термообработка
2.	steel	сталь
3.	grain	зерно
4.	critical range	критический диапазон
5.	fine-grained	мелкозернистый
6.	toughness	прочность, ударная вязкость
7.	hardness	твердость
8.	warpage	поводка
9.	coarse-grained	крупнозернистый
10.	mill	прокатный (стан)
11.	specify	назначать, указывать
12.	recrystallization	рекристаллизация
13.	dendrite	дендрит
14.	solidification	затвердевание
15.	casting	литье
16.	ingot	слиток
17.	ductility	ковкость, пластичность
18.	impact strength	ударная прочность
19.	tensile strength	предел прочности
20.	ferrous	железистый («черный»)
21.	austenite	аустенит
22.	iron-carbon	железо-углерод

№	English word	Translation
23.	soaking	выдержка
24.	carbide	карбид
25.	particle	частица
26.	cast iron	чугун
27.	shift	сдвиг
28.	boundaries	границы, граничные условия
29.	alloying	легирующий
30.	manganese	марганец
31.	nickel	никель
32.	stabilizer	стабилизатор
33.	chromium	хром
34.	molybdenum	молибден
35.	ferritic	ферритный
36.	restrict	ограничивать

### Questions:

1. Является ли размер зерна важным фактором при термической обработке стали? 2. Что понимается под размером зерна? 3. Как влияет мелкозернистая структура на вязкость и твердость стали? 4. Как влияет размер зерна на поковки деталей? 5. Как размер зерна влияет на упрочнение? 6. Как можно получить материал с контролируемым размером зерна? 7. На какой стадии можно управлять размером зерна, ограничивая его рост? 8. Какая зеренная структура развивается в результате отверждения? 9. Как скорость охлаждения влияет на формирование зерна? 10. Как влияет размер слитков на формирование зерна? 11. Какое зерно предпочтительнее: мелкое или крупное, и почему? 12. Какой компонент должен образовываться на первых этапах термообработки черных металлов? 13. От каких двух факторов зависит образование аустенита? 14. Какое время выдержки необходимо для образования аустенита? 15. Как влияют легирующие элементы на вид диаграммы «железо-углерод»? 16. Какие элементы являются стабилизаторами образования феррита?

## Topic 14. Heat Treatment of Ferrous Materials

---

The **properties** of metals can be changed by various forms of heat treating. Steels are **affected** to a greater extent by heat treating than are other materials. All **heat treatments** either **soften** or **harden** a metal. The most common treatments for softening are **stress relieving**, **annealing**, and **normalizing**; while the major hardening processes are **case-hardening** or **surface-hardening**, and **through-**

## **hardening.**

Hardening is performed by heating steel to a prescribed temperature and then quenching it in oil or water.

**Quenching** is the process of rapidly heated metal by **immersing** it in **liquids, gases or solids** (such as sand, **limestone**, or **asbestos**).

**Tempering** is the process of reheating previously hardened steel and then cooling it, usual by air. This increases the steel's **toughness**.

**Annealing** is the process of heating and cooling metals to soften them, **release** their **internal stresses**, and make them easier to **machine**.

**Normalizing** is achieved by heating metals and letting them cool in air to **relieve** their internal stresses.

Case Hardening is the process of hardening thin outside **layer** of a metal. The outer layer placed in contact with **carbon** or **nitrogen compounds** that are absorbed by the metal as it is heated; afterward, the metal is quenched.

**Flame Hardening** is the method of harden by heating a metal to within a prescribed temperature range with a flame and then quenching metal.

Stress relieving is used to relieve stresses that remain locked in a structure, usually as a **consequence** of some **manufacturing** process. It involves heating to a temperature below the critical temperature and cooling slowly. This process is particularly **applicable** after **straightening** and **cold-working** operations and either prior to or after heat treatments to reduce **distortion**. In stress relieving, no change in **microstructure** is involved, but **residual** stresses are markedly reduced and toughness is improved. The relief of locked-in stresses is a time-temperature **phenomenon**.

When consideration is given to the simplicity of the stress-relieving operation and the equipment required, this important process, which can save considerable amounts of straightening and **reworking** time, cannot be **overlooked**. It may be applied to relieve stresses **induced** by **casting**, quenching, normalizing, machining, cold working, or **welding**.

## **Glossary**

<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
1.	ferrous	железистый («черный»)
2.	property	свойство
3.	affect	влиять
4.	heat treatment	термообработка
5.	soften	размягчать
6.	harden	упрочнять
7.	stress relieving	снятие напряжений
8.	annealing	отжиг
9.	normalizing	нормализация
10.	case-hardening	местная закалка



№	English word	Translation
11.	surface-hardening	поверхностная закалка
12.	through-hardening	объемная закалка
13.	quenching	закалка
14.	immerse	погружать, окунать
15.	liquid	жидкий
16.	gas	газ
17.	solid	твердый
18.	limestone	известняк
19.	asbestos	асбест
20.	tempering	отпуск
21.	toughness	прочность, ударная вязкость
22.	release	отпуск
23.	internal	внутренний
24.	to machine	обработать резанием
25.	normalizing	нормализация
26.	relieve	снимать (напряжения)
27.	layer	слой
28.	carbon	углерод
29.	nitrogen	азот
30.	compound	смесь
31.	flame hardening	пламенная закалка
32.	consequence	последствие
33.	manufacturing	изготовление
34.	applicable	приложимый
35.	straightening	правка
36.	cold-working	холодная обработка
37.	distortion	искажение, искривление
38.	microstructure	микроструктура
39.	residual	остаточный
40.	phenomenon	явление
41.	reworking	переработка
42.	overlooked	выступающий
43.	induced	вызванный
44.	casting	литье
45.	welding	сварка

### Questions:

1. Какие металлы наиболее подвержены действию термической обработки в части изменения их свойств? 2. Что происходит с металлом в результате термической обработки? 3. Перечислите наиболее известные виды термической обработки, уменьшающие прочностные характеристики металлов. 4. Укажите виды термической обработки, приводящие к повышению

прочностных свойств металла. 5. Дайте определение упрочнения. 6. Дайте определение операции закали. 7. Какие среды могут использоваться для охлаждения нагретого металла? 8. В чем состоит суть операции отпуска и каково изменение свойств обрабатываемого материала? 9. Каково назначение операции отжига? 10. Как охлаждают металл в процессе нормализации? 11. Какие части детали упрочняются преимущественно при цементации и азотировании? 12. Опишите операции пламенной закали. 13. Как обычно снимают остаточные напряжения? 14. Укажите сферу приложения операций снятия остаточных напряжений. 15. Как изменяется микроструктура вследствие операций снятия остаточных напряжений?

## **Topic 15. Annealing**

**Annealing** involves **heating** to and holding at a suitable temperature, followed by **cooling** at an appropriate rate, primarily for **softening** of metals. When annealing **iron-based alloys**, the work is 50 to 100°F above the critical temperature **range**. The alloy is held for a period of time to insure uniform temperature throughout the part, and then allowed to cool slowly by keeping the parts in the **furnace** and allowing both to cool (see fig. 9.1). The cooling method should not permit one portion of the part to cool more rapidly than another portion. Its purpose is to **remove stresses; induce softness; alter ductility, toughness, and magnetic properties; change grain size; remove gases; and produce a definite microstructure**.

**Steel** is annealed for one or more of the following reasons:

- To soften it for **machining** or fabrication operations;
- To relieve stresses in the material (often necessary after **casting** or **welding** operations);
- To alter its properties;
- To **condition** the steel for subsequent heat treatments or cold work;
- To **refine** grain size, improve ductility and **promote dimensional stability**.

Perhaps the principal reason for annealing is to improve **machinability** characteristics of the steel. It is not possible to present a general rule for annealing that can be used on all types of steel **subjected to diversified metal-removal** operations. For heavy **roughing cuts**, the material should be as soft as possible (Rockwell B80). This is especially true when **accuracy** and **finish** are not important; however, if a close **tolerance** is required, as on a **broaching** operation, then a finer **lamellar** microstructure with a **hardness** of approximately Rockwell B100 is more desirable. The principal point for the engineer to keep in mind when using **medium-carbon** steel is to specify the condition of the steel as purchased.

As the hardness of steel increases during **cold working**, ductility decreases and **additional** cold working becomes so difficult that the steel must be annealed to **restore** its ductility.

Localized or **spot** annealing can be accomplished with an **oxyacetylene torch** and is a valuable technique when **salvaging scrap** work, but **tool steels** should not be **torch-annealed**—they will **crack**.

### Glossary

№	English word	Translation
1.	annealing	отжиг
2.	heating	нагрев
3.	cooling	охлаждение
4.	softening	размягчение
5.	iron-based	на основе железа
6.	alloy	сплав
7.	range	диапазон
8.	furnace	печь
9.	remove stresses	снимать напряжения
10.	induce	вызывать
11.	softness	мягкость
12.	alter	изменять
13.	ductility	ковкость, пластичность
14.	toughness	прочность
15.	magnetic	магнитный
16.	property	свойство
17.	grain	зерно
18.	microstructure	микроструктура
19.	steel	сталь
20.	machining	обработка резанием
21.	casting	литье
22.	welding	сварка
23.	condition	улучшение, условие
24.	refine	повышать качество, очищать
25.	promote	продвигать
26.	dimensional	размерный
27.	stability	стабильность
28.	machinability	обрабатываемость
29.	subjected to	подверженный
30.	diversify	разнообразить
31.	metal-removal	снятие металла
32.	roughing cuts	черновая обработка
33.	accuracy	точность
34.	finish	отделка
35.	tolerance	допуск
36.	broaching	протяжка
37.	lamellar	слоистый

№	English word	Translation
38.	hardness	твёрдость
39.	medium-carbon	среднеуглеродистый
40.	cold working	холодная обработка
41.	additional	дополнительный
42.	restore	восстанавливать
43.	spot	пятно
44.	oxyacetylene	кислородно-ацетиленовый
45.	torch	горелка
46.	salvaging	сбор и использование лома
47.	scrap	металлический лом, скрап
48.	tool steel	инструментальная сталь
49.	torch-annealed	пламенный отжиг
50.	crack	трещина, щель

### Questions:

1. Какие стадии предусматривает операция отжига? 2. Какой должна быть температура нагрева при отжиге? 3. Каковы требования к нагреву и охлаждению при отжиге? 4. Как должны охлаждаться различные части детали? 5. Что достигается соблюдением требований к операции отжига? 6. Каковы причины, вызывающие необходимость отжига? 7. Улучшается ли обрабатываемость стали резанием после отжига? 8. Можно ли дать универсальные рекомендации по отжигу сталей под последующую механическую обработку? 9. Каковы требования материала под черновую обработку в случае низких требований к точности и чистоте поверхности? 10. Каковы требования к черновой обработке в случае повышенных требований к точности и чистоте поверхности? 11. Каковы пути повышения ковкости при холодной обработке? 12. Можно ли производить пламенный отжиг инструментальных сталей и почему?

## **Topic 16. Normalizing and Spheroidizing**

**Normalizing** is heating iron-based alloys to 100 to 200°F above the **upper** critical line of the **iron-carbon phase diagram**, and then **cooling** in **still** air at **ordinary** temperatures. Normalizing is performed in order to **relieve internal stresses** resulting from previous operations and to improve the mechanical **properties** of the **steel**. For example, the **hammer** stresses developed in a **forging** need to be relieved prior to **machining**.

Normalizing may be done to improve **machinability**, to **refine** the **grain** structure, and to **homogenize** the **part**. For example, homogenization of steel **castings** may be done in order to break up or refine the **dendritic** cast structure and facilitate a more uniform response to subsequent heat treatment. In the case of **wrought** products, normalization can reduce large grain size where large and small grains exist, thus developing a more uniform grain structure. **Toughness** can be increased. This is frequently desirable in the use of "**as-rolled**" **medium carbon** steels.

A broad **range** of **ferrous** products can be normalized. All of the standard, low-, medium-, and **high-carbon** wrought steels can be normalized. **Stainless** steels, **austenitic**, and **maraging** steels are not usually normalized. The normalizing may increase or decrease the **strength** and **hardness** of a given steel depending on the carbon content and the **thermal** and mechanical history of the part.

**Gears, bolts, nuts, washers**, and other parts in which low **distortion** is an important **criterion** should be made in the following general operation **sequence**: **rough machine, normalize, finish machine, carburize, heat treat, grind**.

**Spheroidizing** produces **globular carbides** in a **ferritic matrix**. The iron-base alloy is held for a **prolonged** period of time (10 to 12 hours) at a temperature near but slightly below the A<sub>1</sub> temperature, and then slowly cooled (furnace-cooled). A spheroidized steel (fig. 16.1.) has minimum hardness and maximum **ductility**. The structure improves machinability **markedly**. Normalized steels are one of the better starting spheroidized materials because their fine initial **carbide** size accelerates spheroidization.



Fig. 16.1. The microscopic structure called spheroidite

## Glossary

№	English word	Translation
1.	normalizing	нормализация
2.	heating	нагрев
3.	iron-based	на основе железа
4.	alloy	сплав
5.	upper	верхний
6.	iron-carbon	железо-углерод
7.	phase diagram	фазовая диаграмма
8.	cooling	охлаждение
9.	still	спокойный
10.	ordinary	обычный
11.	relieve	снимать

<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
12.	internal	внутренний
13.	stress	напряжение
14.	property	свойство
15.	steel	сталь
16.	hammer	молот, ковать
17.	forging	ковка
18.	machining	механообработка
19.	machinability	обрабатываемость
20.	refine	измельчать
21.	grain	зерно
22.	homogenize	гомогенизировать
23.	part	деталь
24.	casting	литье, отливка
25.	dendritic	дендритный
26.	wrought	деформируемый
27.	toughness	вязкостная прочность
28.	"as-rolled"	катаный
29.	medium	средний, средне-...
30.	carbon	углерод
31.	range	диапазон
32.	ferrous	железистый, «черный»
33.	high-carbon	высокоуглеродистый
34.	stainless	нержавеющий
35.	austenitic	аустенитный
36.	maraging	мартенситностареющий
37.	strength	прочность
38.	hardness	твердость
39.	thermal	тепловой, термический
40.	gear	зубчатое колесо
41.	bolt	болт
42.	nut	гайка
43.	washer	шайба
44.	distortion	искажение
45.	criterion	критерий
46.	sequence	последовательность
47.	rough machine	черновая мехобработка
48.	normalize	нормализовать
49.	finish machine	чистовая мехобработка
50.	carburize	цементировать
51.	heat treat	давать термообработку
52.	grind	шлифовать

№	English word	Translation
53.	spheroidizing	сфероидизация
54.	globular	шаровидный
55.	carbide	карбид
56.	ferritic	ферритный
57.	matrix	матрица
58.	ductility	тягучесть, ковкость
59.	markedly	заметно
60.	spheroidite	сфероид

### Questions:

1. В чем состоит суть операции нормализации? 2. С какой целью проводят нормализацию? 3. Каковы три основных характеристики, которые улучшаются вследствие нормализации? 4. С какой целью проводят гомогенизацию отливок? 5. Какова цель нормализации деформируемых материалов? 6. Какой параметр улучшается при нормализации среднеуглеродистых сталей, получаемых прокаткой? 7. Какие виды деформируемых сталей могут подвергаться нормализации? 8. Какие стали не подвергают нормализации? 9. От чего зависит повышение или снижение прочности и твердости при нормализации? 10. Назовите основные детали машиностроения и последовательность операций механической и термической обработки при их изготовлении? 11. Каковы последствия сфероидизации? 12. Каковы время выдержки и температура нагрева для реализации процесса сфероидизации? 13. Дайте характеристику сфероидизированной стали в отношении твердости и ковкости. 14. Благодаря чему ускоряется процесс сфероидизации нормализованных сталей?

## **Topic 17. Hardness and Hardenability**

The maximum **hardness** of a **steel** is a function of its **carbon content** (fig. 17.1). Although **alloying** elements such as **chromium** increase the **rate** at which the **martensite** transformation occurs and thus the depth to which full hardness can be achieved, no alloy steel can exceed the hardness of SAE 1055 steel.

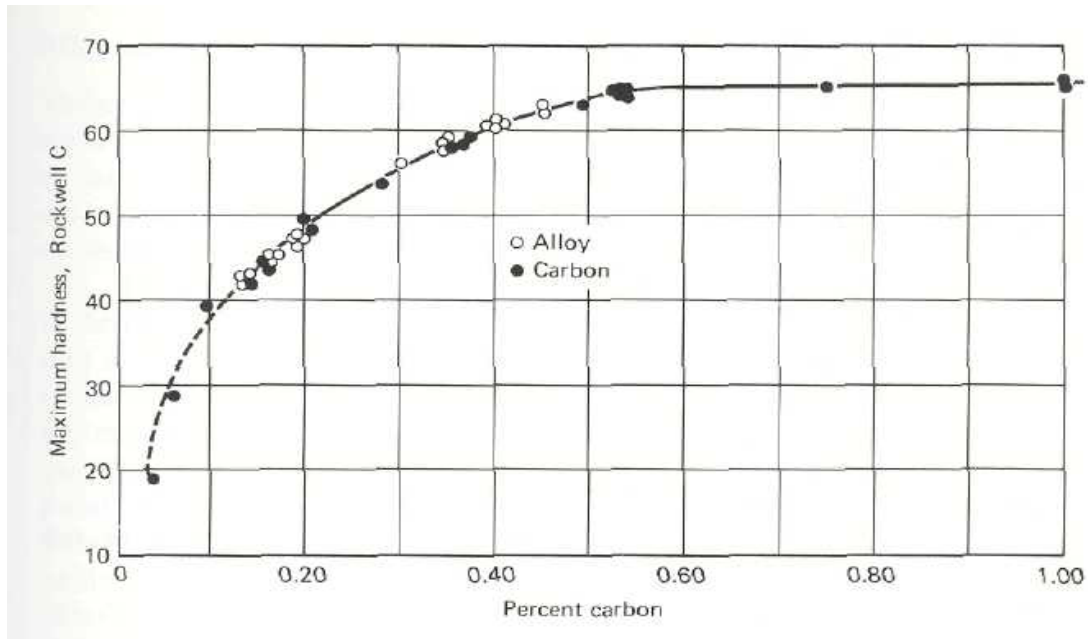


Fig. 17.1. Maximum hardness versus carbon content

**Hardenability** refers to the distance within a **specimen** normal to its **surface** that appreciable hardness can be developed. Since the **quenching rate** of a steel is limited by its heat **diffusivity** and the rate at which **austenite** can transform, the hardenability of steels depends on the alloy content and the **grain** size of the original austenite. **Hot-work** steel **die** blocks, which must be hardened throughout their mass, are alloyed to such an extent that they can transform to a **bainitic** structure with an air quench. The hardenability of a typical alloy steel and a plain carbon steel are compared in fig. 17.2. Note that for all sections above 1/2-in. diameter the **plain** carbon steel could not be quenched sufficiently rapidly to achieve full hardness even at the **outside diameter**.

A standard **test** for checking hardenability is the Jominy test. It consists of heating in a 1-in. diameter **bar** to its austenitizing temperature and then setting it over a **jet** of water that hits only the **bottom face**. Consequently, there are various **cooling** rates along the **length** of the specimen; later, hardness values can be measured along the side of the bar, representing cooling rates that vary from that of a full water **spray** down to an air cool. This is a wide-range test, yet its results can be **correlated** with tests on fully quenched bars, as well as with work on actual parts.

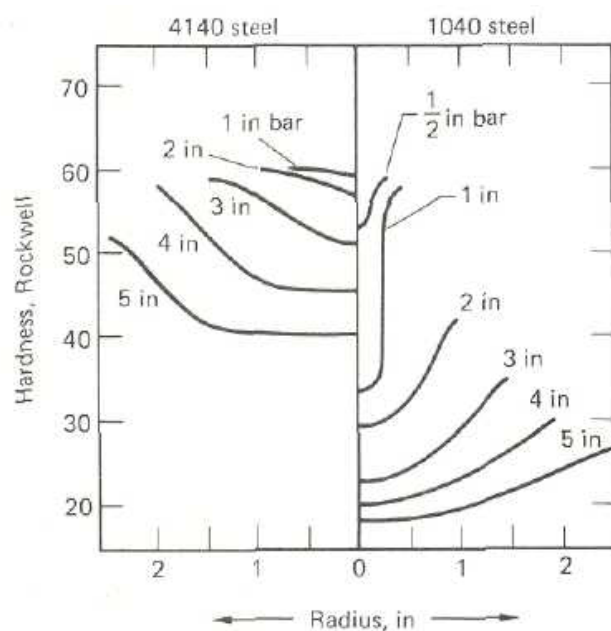


Fig. 17.2. Comparison of the hardenabilities of 4140 and 1040 steels



Another useful fact may be mentioned. A **gear** or a **shaft** made from a particular steel may be found to have at some point a Rockwell hardness of C50. A Jominy hardenability test is then run, and it is found that C50 is 19/16 in. from the water-cooled end. Any other steel that will show C50 at 19/16 in. from the quenched end will produce a **similar** hardness **distribution** when it is used to make the same part.

It is known from **various** sources, that the sizes of bars that are fully hardenable, that is, that will develop a hardness of at least Rockwell C50 at the center when quenched, are different. These are interesting figures, particularly when correlated with steel prices. The 1300 steels are practically as good as 2300 (3.5 percent **nickel**) or as 5100 **chromium** steels in the matter of **depth** of hardening; they are almost as good as nickel-chromium steels.

### Glossary

№	English word	Translation
1.	hardenability	способность к упрочнению
2.	specimen	образец
3.	surface	поверхность
4.	quenching	закалка
5.	rate	скорость
6.	diffusivity	способность к диффундированию
7.	austenite	аустенит
8.	grain	зерно
9.	hot-work	обработка вгорячую
10.	die	штамп
11.	bainitic	бейнитный
12.	plain	обычный
13.	outside	внешний
14.	diameter	диаметр
15.	test	испытание
16.	bar	стержень
17.	jet	струя
18.	bottom face	торец
19.	cooling	охлаждение
20.	length	длина
21.	spray	распыление, струя
22.	correlate	коррелирует
23.	gear	зубчатое колесо, шестерня
24.	shaft	вал, ось, шпиндель
25.	similar	схожий, подобный
26.	distribution	распределение
27.	various	различный

№	English word	Translation
28.	nickel	никель
29.	chromium	хром
30.	depth	глубина

### Questions:

1. От чего зависит максимальная твердость стали? 2. Как влияет легирование хромом на скорость мартенситных превращений в стали? 3. По отношению к какому линейному параметру определяется способность к упрочнению? 4. Чем ограничивается скорость закалки? 5. От каких двух параметров зависит способность стали к упрочнению? 6. До какой степени легируются стали для штампов? 7. Какова способность к закалке для достижения максимальной твердости у обычных углеродистых сталей? 8. Какое испытание является стандартным для выявления способности к упрочнению? 9. Дайте описание процедуры проведения испытания Жомини. 10. Где измеряют значения твердости на закаленном образце в испытании Жомини? 11. С чем можно сопоставлять результаты испытания по Жомини? 12. По какой шкале измеряют твердость в испытаниях? Укажите альтернативные методы испытаний.

## Topic 18. Microstructure of Heat-treated Steel

---

Today there is a broad variety of heat-treating equipment providing various ways of heating the steel, quenching it, and tempering it. Temperature control of the various stages can be assured; thus, the production engineer can depend upon accurate and reproducible control of heat-treated parts after he has established a sound heat-treating cycle.

The purpose of heat treatment is to change the form in which the carbon is distributed in the steel. Alloying elements present in a steel will affect the rate at which the reactions of heat treatment occur, but have little effect on the tensile properties of the steel. In ordinary carbon steel that is not hardened, the carbon is present (as carbides) in either globules or rodlike particles that can be readily discerned with the microscope. The structure having the parallel-plate appearance is known as pearlite (Fig. 18-left), while the globular structure is referred to as spheroidite. When steel such as this is heated to a relatively high temperature (1500°F), the carbide particles become dissolved in the surrounding ferrous structure and a solution of carbon in iron known as austenite is formed (Fig. 18-right).

As austenite is cooled, the carbon tends to separate from the solution and return to its original form. However, by controlling the rate of cooling, the return to pearlite or spheroidite may be avoided. For example, if the austenite of a 0.80 percent carbon steel is cooled from 1500°F down to 1200°F and is then allowed to remain at 1200°F until it transforms, it will take the form of pearlite. This steel would be quite soft, having a Brinell hardness of about 200. However, if the austenite is cooled quickly to a lower temperature, say 600°F, it will escape the 1200°F transformation stage, and will change to a structure known as bainite, which has a hardness of about 550 Brinell. If the austenite is cooled to a still lower temperature, for example 250°F, before transformation takes place, the very hard structure known as martensite will be formed. Martensite gives a Brinell of about 650.

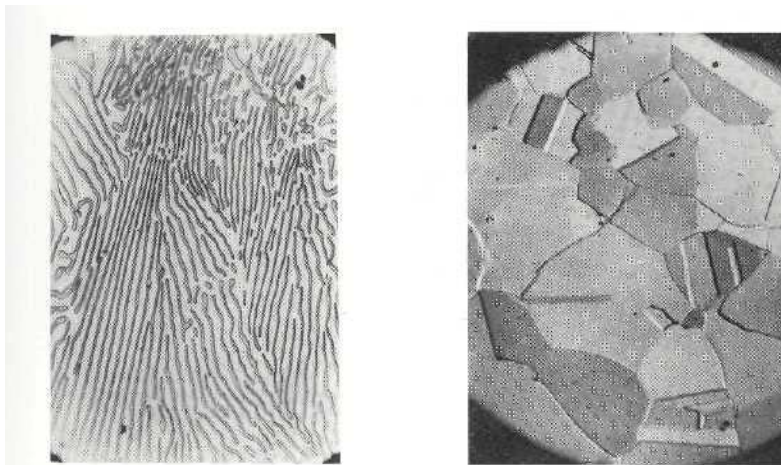


Fig. 18.1. The microstructure of pearlite (left) and austenite

An important rule that the production engineer should keep in mind is that, when forming any particular transformation product, the steel must escape transformation at a higher temperature. If this is not observed, then the desired transformation product will not be achieved. From the foregoing, it can be seen that a hardened piece of steel takes the form of martensite or bainite. The formation of pearlite must be avoided. Thus, the process of heat treating involves first heating and soaking at the correct temperature, then cooling the steel rapidly enough to avoid the formation of pearlite, and finally holding at the desired temperature to form either bainite or martensite.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	microstructure	микроструктура
2.	heat-treating	термическое (-ий)
3.	equipment	оборудование
4.	heating	нагрев
5.	steel	сталь
6.	quenching	закалка
7.	tempering	отпуск
8.	production engineer	технолог
9.	accurate	точный

№	English word	Translation
10.	reproducible	воспроизводимый
11.	sound	четкий
12.	carbon	углерод
13.	alloying	легирующий
14.	rate	скорость
15.	tensile	растяжимый, относящийся к растяжению
16.	property	свойство
17.	carbide	карбид
18.	globule	ширик
19.	rodlike	столбчатый
20.	particle	частица
21.	readily	легко, хорошо
22.	discerned	различимый
23.	parallel-plate	плоско-параллельный
24.	pearlite	перлит
25.	spheroidite	сфероид
26.	dissolve	растворять
27.	ferrous	железистый
28.	austenite	аустенит
29.	avoid	избегать
30.	remain	оставаться
31.	soft	мягкий
32.	hardness	твердость
33.	bainite	бейнит
34.	martensite	мартенсит
35.	escape	избегать
36.	soaking	выдержка

### Questions:

1. Для реализации каких операций предназначено большое разнообразие термического оборудования? 2. Можно ли осуществлять контроль температуры на различных стадиях обработки? 3. Почему важен точный и воспроизводимый контроль при термообработке деталей? 4. В чем состоит цель термической обработки? 5. На что существенно влияет наличие легирующих элементов в стали? Каково их влияние на механические свойства? 6. В какой форме находится углерод в обычных сталях, не подвергающихся закалке? 7. Какой внешний вид имеет перлитная структура? 8. Дайте определение аустенита. 9. Как ведет себя аустенит при охлаждении стали? 10. Как можно предотвратить превращение аустенита в перлит или сфероидит? 11. О каких превращениях углерода необходимо иметь представление технологу для получения желаемой твердости стали? 12. Опишите процедуру термической обработки, предусматривающую предотвращение образования перлита.

## Topic 19. TTT diagrams of Heat-treated Steel

Figure 19.1 shows the  $M_s$  temperature as a function of **carbon content** and illustrates the transformation time in seconds required by **austenite** at different temperatures. This **chart** is known as a **TTT curve** (time, temperature, transformation). This **isothermal transformation diagram** is very useful as it shows the **various structures** formed by a **steel** during its **cooling period** or formed while the steel is held at a temperature to which it was cooled.

A study of this diagram will indicate the importance of cooling time in order to avoid the formation of the **soft pearlite**. Small parts that cool rapidly (i.e., **dwell** in the 1000°F zone for less than 1 to 3 s) are readily transformed to either **bainite** or **martensite** and escape the pearlite formation. However, in large sections, where the cooling period is longer, it would be necessary to use a steel that had the nose of its TTT curve moved to the right so there would be a longer period of cooling time in order to avoid the formation of pearlite. When steel is **alloyed** with certain element such as **chromium** or **molybdenum**, thick sections can be **hardened** even in the center. Such steels are referred to as having greater hardenability.

From this, it can be seen that the effect of **reducing** the carbon content is to **induce** more rapid transformation **rates**. The effect of alloying is to **shift** the entire isothermal transformation diagram to the right; that is, transformation at all temperature **levels** starts later and is slower to go to **completion**. It should be recognized that although this is a general characteristic of alloying, various alloys **differ substantially** in both the **magnitude** and the nature of their effect. That is, the **shape** of the isothermal curve will vary **considerably** as well as its **location** with respect to the time-temperature **axes**. Several heat **treatments** are shown **schematically** on TTT diagrams.

There are two forms of martensite in carbon steels: **lath** and **plate**. These forms are based on the **morphology** and **microstructural** characteristics of the martensite. The lath morphology forms in low- and **medium-carbon** steels and consists of regions or **packets** where many fine laths or **board-shape crystals** are **arranged** parallel to one another. The plate morphology forms in high-carbon steels and consists of martensite plates that form at **angles** with respect to each other.

**As-quenched** martensite is **supersaturated** with carbon; it has a very high **interfacial** energy per **unit volume** associated with the **fine** laths and/or plates.

### Glossary

№	English word	Translation
1.	carbon	углерод
2.	content	содержание
3.	austenite	аустенит
4.	chart	диаграмма, график

<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
5.	curve	кривая
6.	isothermal	изотермический
7.	transformation	превращение
8.	diagram	диаграмма
9.	various	различный
10.	structure	структура
11.	steel	сталь
12.	cooling	охлаждение
13.	period	период
14.	soft	мягкий
15.	pearlite	перлит
16.	dwell	находиться
17.	bainite	бейнит
18.	martensite	мартенсит
19.	alloyed	легированный
20.	chromium	хром
21.	molybdenum	молибден
22.	harden	упрочнять
23.	reduce	уменьшать
24.	induce	вызывать
25.	rate	скорость
26.	shift	сдвиг
27.	level	уровень
28.	completion	завершение
29.	differ	различаться
30.	substantially	существенно
31.	magnitude	величина
32.	shape	форма
33.	considerably	значительно
34.	location	(место)положение
35.	axis	ось
36.	treatment	обработка
37.	schematically	схематично
38.	lath	реечный (пакетный)
39.	plate	пластинчатый
40.	morphology	морфология
41.	microstructural	микроструктурный
42.	medium-carbon	среднеуглеродистый
43.	packet	пакет, пакетный
44.	board-shape	пластинчатый
45.	crystal	кристалл

№	English word	Translation
46.	arrange	упорядочить, расположить
47.	angle	угол
48.	As-quenched	закаленный
49.	supersaturated	пересыщенный
50.	interfacial	граничный, сопряженный
51.	unit	единичный
52.	volume	объем
53.	associate	ассоциировать, связывать

### Questions:

1. Что показывает график ВТП (время-температура-превращение)?
2. В чем достоинство диаграммы изотермического превращения?
3. Показывает ли диаграмма как можно избежать образования мягкого перлита?
4. Какой режим охлаждения необходим для мелких деталей для предотвращения образования перлита?
5. Куда должна смещаться носовая часть графика в случае охлаждения больших по размерам деталей?
6. Как влияет легирование хромом или молибденом на упрочнение крупных деталей?
7. Как влияет содержание углерода на скорость превращений?
8. В какую сторону происходит сдвиг диаграммы изотермического превращения при уменьшении содержания углерода в стали?
9. Каков характер превращений на всех температурных уровнях?
10. Как изменяет легирование положение и форму диаграммы ВТП?
11. В каких двух формах находится мартенсит в углеродистых сталях?
12. В каких сталях образуется реечный мартенсит?
13. В каких сталях образуется пластинчатый мартенсит?
14. Чем пересыщен закаленный мартенсит, что можно сказать о граничной энергии, приходящейся на единичный объем?

## **Topic 20. Production and Design Characteristics of Cast Iron**

**Castability.** To the engineer, castability refers to the ease with which the material can be cast in thin and complex sections. **Cast iron** is a **fluid casting alloy** and can be considered as having good castability characteristics. Its castability is better than that of **steel** or **aluminum**. For example, **automobile engine blocks** and **heads** are produced readily in cast iron and would be difficult to cast with other **ferrous** materials.

**Machinability.** Machinability refers to the ease of **cutting** material with due regard to **surface finish** and **tool life** as well as rate of metal **removal**. Cast irons generally are **machined** easily and good finishes at low total costs are obtained. Those cast irons having higher **strengths** and higher **hardness** values are obviously not as easily machined as those with lower hardness/strength values.

**Corrosion resistance.** Cast irons will **corrode** readily under atmospheric conditions. This corrosion, however, forms a **protective** surface that offers resistance to further atmospheric corrosion as well as **soil** corrosion. Widespread use of cast iron for **water-main** and **soil pipe** is a good indication of its generally favorable corrosion resistance. Gray-cast-iron water mains and gas lines have been in service in some areas for more than 100 years.

**Vibration damping.** Damping capacity is an inverse function of the **modulus of elasticity**. Gray cast iron has good damping qualities, making it a valuable engineering material in the design of parts subject to vibration due to **dynamic forces**.

One way of demonstrating damping capacity is to **strike** the casting: steel will **ring**, while cast iron will **thud**. The **energy absorbed** per cycle in gray iron is about 10 times that of steel, but damping capacity decreases with applied load.

**Wear resistance.** In **sliding friction**, gray iron is outstanding in its wear resistance. This is amply demonstrated by the fact that practically all engine **cylinders** or **liners** are made of gray iron. The ways of many machine tools are made of gray iron for the same reason.

**Weldability.** Two methods lend themselves most readily to the **welding** of gray-iron castings. These are **oxyacetylene** welding with cast-iron **filler** and metal **arc** with nickel or **copper-nickel** welding **electrodes**. Oxiacetylene welding is the fastest method of **depositing** metal and offers sound deposits and identical color match. When properly executed, the welds are readily machinable and free from **defects**. The **items** to be **joined** must be **preheated**.

**Shrinkage rules and machining allowances.** Unlike most metals, gray iron shrinks very little when it **solidifies**. The **amount** of material necessary to provide for machine finish will vary with the casting **size** and the materials' tendency to **warp**, as well as the **analysis** of cast iron itself.

## Glossary

№	English word	Translation
1.	castability	жидкотекучесть
2.	cast iron	чугун
3.	fluid	текучая среда
4.	alloy	сплав
5.	steel	сталь
6.	aluminum	алюминий
7.	automobile	автомобиль
8.	engine	двигатель
9.	block	блок
10.	head	головка
11.	ferrous	«черный»
12.	machinability	обрабатываемость



<b>№</b>	<b>English word</b>	<b>Translation</b>
13.	cutting	резание
14.	surface finish	поверхностная отделка
15.	tool life	стойкость инструмента
16.	removal	снятие, удаление
17.	machine	обрабатывать резанием
18.	strength	прочность
19.	hardness	твердость
20.	corrosion	коррозия
21.	resistance	сопротивление
22.	corrode	корродировать
23.	protective	защитный
24.	soil	почвенный
25.	water-main	водопроводная магистраль
26.	soil pipe	канализационная труба
27.	vibration	вибрация, вибрационный
28.	damping	демпфирование
29.	modulus of elasticity	модуль упругости
30.	dynamic	динамический
31.	force	сила
32.	strike	ударять, бить
33.	ring	звенеть
34.	thud	гудеть
35.	wear	износ
36.	sliding friction	трение скольжения
37.	cylinder	цилиндр
38.	liner	втулка
39.	weldability	свариваемость
40.	welding	сварка
41.	oxyacetylene	кислородно-ацетиленовый
42.	filler	заполнитель, припой
43.	copper-nickel	медь-никель
44.	electrode	электрод
45.	depositing	отложение
46.	defect	дефект
47.	item	изделие
48.	join	соединять
49.	preheat	предварительно нагреть
50.	shrinkage	усадка
51.	allowance	припуск
52.	solidify	затвердевать
53.	amount	масса, количество

№	English word	Translation
54.	size	размер
55.	warp	вызвать поводку
56.	analysis	анализ

### Questions:

1. Дайте определение жидкотекучести. 2. Какова жидкотекучесть чугуна в сравнении со сталью и алюминием? 3. Какие элементы автомобильных двигателей изготавливают из чугуна? 4. Дайте определение обрабатываемости. 5. Какова обрабатываемость чугуна? 6. Как влияют твердость и прочность чугуна на его обрабатываемость? 7. Подвержены ли чугуны коррозии на открытом воздухе? 8. За счет чего замедляется коррозия чугуна на воздухе? 9. Каково применение чугуна, связанное с его хорошими коррозионными свойствами? 10. Какую марку чугуна применяют преимущественно из-за ее хороших демпфирующих свойств? 11. Можно ли различить сталь и чугун на слух? 12. Как соотносятся энергии вибропоглощения в стали и чугуне? 13. Каковы трибологические свойства чугуна? Какие элементы двигателей изготавливают из серого чугуна в связи с малым коэффициентом трения? 14. Назовите два способа сварки. 15. Требуется ли предварительный нагрев перед сваркой крупных деталей? 16. Велика ли усадка чугуна при затвердевании в сравнении с другими металлами? 17. Для каких операций обязательны припуски под обработку?