



# 金属材料与 热处理

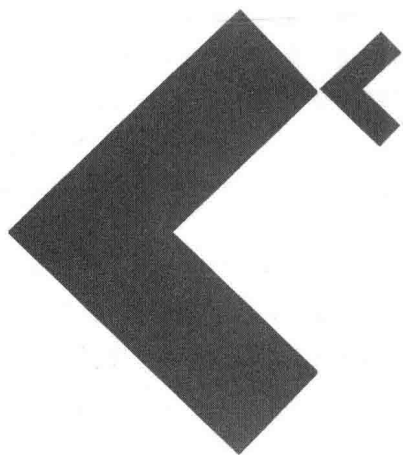
刘劲松 蒲玉兴 主编



湖南大学出版社  
HUNAN UNIVERSITY PRESS

# 金属材料与 热处理

刘劲松 蒲玉兴 主编



湖南大学出版社  
HUNAN UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书共计9章, 主要内容包括金属材料基础理论(金属的性能、金属的结构与结晶、金属的变形、铁碳合金相图)、钢的热处理(热处理原理、热处理工艺)、常用金属材料(碳素钢与铸铁、合金钢、有色金属及其合金、零件的选材与加工)三部分。各章之前均有学习指南(学习目的、教学重点), 主要知识点后附有“工程应用典例”“释疑解难”“奇闻轶事”, 各章之后附有小结和复习思考题。

本书适合高职高专机械类或近机类专业师生, 也可作为机械制造与维修企业的上岗培训教材, 还可供电视大学、职工大学师生和有关工程技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/刘劲松, 蒲玉兴主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2019.7

ISBN 978-7-5667-1547-0

I. ①金… II. ①刘… ②蒲… III. ①金属材料 ②热处理  
IV. ①TG14 ②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第117736号

---

## 金属材料与热处理

JINSHU CAILIAO YU RE CHULI

主 编: 刘劲松 蒲玉兴

责任编辑: 王桂贞

特约编辑: 陈为民 张志鹏

印 装: 长沙鸣翔印务有限公司

开 本: 787×1092 16开 印张: 14 字数: 359千

版 次: 2019年7月第1版 印次: 2019年7月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5667-1547-0

定 价: 50.00元

---

出 版 人: 雷 鸣

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-88822559(发行部), 88821174(编辑室), 88821006(出版部)

传 真: 0731-88649312(发行部), 88822264(总编室)

网 址: <http://www.hnupress.com>

电子邮箱: [wanguia@126.com](mailto:wanguia@126.com)

---

版权所有, 盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

# 前 言

本书是以教育部最新要求为指导，从学科系统化和整体化改革的趋势出发，考虑到职业技术教育的特点，对传统的课程体系进行重组优化，并结合多年的教学实践经验及对课程改革的探索编写而成的。

本教材在以下三个方面进行了探索和尝试：

①优化课程内容，完善课程体系。在保证基础知识和基本理论的前提下，删除陈旧的知识，简化繁琐的内容，把“材料基础知识”“常用工程材料”和“钢的热处理”有机地融合在一起，并适当拓宽知识面，力图反映近年来在金属材料和制造工艺领域的最新成果。

②注重工程应用，培养学生的综合分析能力。抓住金属材料“服役条件—成分—组织—工艺—性能”的主线并贯穿始终，从理论和实践两个方面铺垫基础，加强选择材料及热处理工艺的训练，注重培养学生分析问题和解决问题的能力，以适应社会需要，突出职业教育特色。

③突出新颖性及易读性，图文结合、深入浅出，方便教学。各章之前均有指导学习的“学习目的”“教学重点”；各章之后附有“本章小结”和“复习思考题”；主要知识点后附有“奇闻轶事”“释疑解难”和“工程应用典例剖析”，并增加了材料的选用及典型零件加工剖析实例，具有较强的针对性与实用性。

本书由刘劲松、蒲玉兴主编，谭目发、陈儒军、邓岚任副主编。参加编写的人员有：空军维修技术学院刘劲松（编写第5章、第9章），湖南大学蒲玉兴（编写第2章），长沙航空职业技术学院陈儒军（编写第1章）、邓岚（编写第3章）、谭目发（编写第7章），肖弦（编写第6章），刘晓衡（编写第4章）、吕勤云（编写第8章）。全书由长沙学院夏卿坤教授审稿，刘劲松定稿。

我在编写本书的过程中得到了长沙航空职业技术学院、长沙学院等单位领导和同行的大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！由于水平有限，编写时间紧迫，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2019年4月

# 目 次

绪 论 .....	( 1 )
<b>第 1 章 金属的性能 .....</b>	<b>( 4 )</b>
1.1 概 述 .....	( 4 )
1.2 静态力学性能 .....	( 5 )
1.3 动态力学性能 .....	( 14 )
1.4 高温力学性能 .....	( 18 )
1.5 金属的理化性能 .....	( 20 )
1.6 金属的工艺性能 .....	( 22 )
本章小结 .....	( 23 )
复习思考题 (一) .....	( 24 )
<b>第 2 章 金属的结构与结晶 .....</b>	<b>( 26 )</b>
2.1 概 述 .....	( 26 )
2.2 纯金属的晶体结构与结晶 .....	( 27 )
2.3 合金的结构与结晶 .....	( 36 )
本章小结 .....	( 40 )
复习思考题 (二) .....	( 41 )
<b>第 3 章 金属的变形 .....</b>	<b>( 42 )</b>
3.1 概 述 .....	( 42 )
3.2 塑变对金属组织和性能的影响 .....	( 43 )
3.3 回复与再结晶 .....	( 47 )
3.4 金属的热加工与冷加工 .....	( 49 )
本章小结 .....	( 50 )
复习思考题 (三) .....	( 50 )
<b>第 4 章 铁碳合金相图 .....</b>	<b>( 51 )</b>
4.1 概 述 .....	( 51 )
4.2 铁碳合金的基本组织 .....	( 51 )
4.3 铁碳合金相图 .....	( 54 )
本章小结 .....	( 63 )
复习思考题 (四) .....	( 63 )

<b>第5章 钢的热处理</b> .....	(65)
5.1 热处理原理 .....	(65)
5.2 热处理工艺 .....	(74)
本章小结 .....	(96)
复习思考题(五) .....	(97)
<b>第6章 碳素钢与铸铁</b> .....	(98)
6.1 概述 .....	(98)
6.2 碳素钢 .....	(99)
6.3 铸 铁 .....	(104)
本章小结 .....	(116)
复习思考题(六) .....	(117)
<b>第7章 合金钢</b> .....	(118)
7.1 概述 .....	(118)
7.2 合金结构钢 .....	(122)
7.3 合金工具钢 .....	(132)
7.4 特殊性能钢 .....	(144)
本章小结 .....	(152)
复习思考题(七) .....	(154)
<b>第8章 有色金属及其合金</b> .....	(156)
8.1 铝及铝合金 .....	(156)
8.2 铜及铜合金 .....	(167)
8.3 钛合金与镁合金 .....	(174)
8.4 滑动轴承合金 .....	(180)
8.5 粉末冶金材料 .....	(182)
本章小结 .....	(184)
复习思考题(八) .....	(184)
<b>第9章 零件的选材与加工</b> .....	(185)
9.1 零件的失效 .....	(185)
9.2 零件的选材 .....	(187)
9.3 毛坯的选择 .....	(191)
9.4 热处理工艺的应用 .....	(199)
9.5 典型零件的选材及工艺范例分析 .....	(202)
本章小结 .....	(213)
复习思考题(九) .....	(213)
<b>参考文献</b> .....	(215)

# 绪 论

材料是人类文明发展的前提，每一种重要材料的发现和广泛使用都使人类社会的生产力出现大的飞跃，并给人们的生活带来巨大的变化。纵观石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代、以半导体硅为基础的信息时代，我们不难发现材料的应用与发展在社会进步中的巨大作用。

材料的种类繁多，按实用性大致可分为金属材料、非金属材料及复合材料。金属材料基本体系如图 0-1 所示：



图 0-1 金属材料基本体系图

## 1. 课程的性质与主要内容

本课程是以金属材料与热处理工艺为主的技术性基础课，其任务是引导学生进入丰富多彩的金属材料世界，领略材料科学的无穷奥秘。学生通过学习本课程，掌握材料科学中基础和共性的知识，如机械工程材料的性能特点、热处理方法及其在零件加工工艺中的应用等，为专业课程的学习和毕业后从事生产技术工作打下坚实的理论基础。

本课程的主要内容如下：

- ①材料基础知识。概述了金属的性能、结构与结晶、塑性变形和再结晶、铁碳相图。
- ②热处理知识。介绍了热处理基本原理与基本工艺，重点介绍了热处理方法的实质、工艺特点及应用范围。
- ③常用金属材料知识。重点介绍了碳素钢、铸铁、有色金属的牌号、性能及用途，并选取典型案例对学员进行机械零件选材及工艺分析的基本技能训练。

本课程呈现出综合性强、信息量大、知识点覆盖面广的特点，是机械类各专业的入门课程，也是承上启下的课程，在专业课程体系中占有非常重要的位置。本课程着重培养学

生的知识应用能力、工程实践能力和创新设计能力，使学生完成从对金属材料与热处理知识知之甚少到“业内人士”这种角色的转变。

## 2. 课程教学目标

### (1) 知识要求

- ①掌握材料的性能、结构、变形、铁碳相图等材料科学的基本知识；
- ②掌握常用金属材料的性能、结构、牌号和应用范围，了解常用非金属材料的组成、特性及应用；
- ③掌握热处理的基本原理，熟悉常用热处理方法及其应用范围；
- ④了解选择材料及加工方法的经济性，具有选择材料、设计毛坯和制定简单零件加工工艺规程的能力。

### (2) 能力要求

- ①初步掌握常用工程材料的性能与应用，初步具有合理选择材料的能力；
- ②初步具有正确选定一般零件的热处理方法及确定其工序位置的能力；
- ③通过实验，提高测量金属材料力学性能的能力，学会识别钢的基本组织和显微镜的基本操作，学会热处理的基本操作。

### (3) 素质要求

- ①培养学生热爱科学、实事求是的学风和科学的思维方法；
- ②培养学生严肃认真、勇于实践的工作作风和创新精神；
- ③培养学生的质量意识和职业道德意识；
- ④培养学生的动手能力，使之能运用理论知识解决工程中的实际问题。

## 3. 课程教学建议

金属材料与热处理是对工科大学生进行现代机械工程制造技术和综合工程素质教育的重要基础课程，本课程具有两大特点：一是课程内容的广泛性、综合性和多样性；二是很强的实验性。

本课程开始前，教师必须完成金工实习和机械制图课程的教学内容。在教学时要注意学生素质与综合分析能力的培养，特别注意贯彻启发式的教学方法。建议采取灵活多样的教学方式，并辅以现代化的教学手段。为了提高课程的实效，应坚持“贯穿主线、突出重点、强调实用”的原则。“贯穿主线”就是要在课堂教学中，以金属材料的成分、工艺、组织和性能之间的关系这条主线贯穿始终。课程讲授围绕这条主线展开，分合相济，有利于学生建立起完整体系的概念，变分散为集中、变模糊为清晰，保证教学内容的基础性和系统性。“突出重点”就是对教学内容采用“删繁就简、削枝保干”的方法进行调整，删减那些与核心理论无关的繁琐的数学推导，着重强调重点内容的物理意义，促使学生掌握重点内容，淡化那些与核心理论无关的内容。“强调实用”就是坚持实用性原则，对机械类及近机械类专业学生，重点培养其对不同材料的选用和制定零件加工工艺的能力，为后续课程打下良好的基础。

教学除以教师讲授为主外，还应配合课堂讨论、作业和作业讲评以及自学等不同方



式。在学时锐减的情况下，不应面面俱到，而应对基本内容着重讲清思路，讲好重点，讲明难点，加强对学生的引导，培养学生的自学能力。对于学生在实践教学中未曾见过而又不易理解的内容，要尽可能组织学生到生产现场参观，安排必要的实验，或利用现代化教学手段如 CAI 课件和多媒体课件等，以提高教学质量和教学效果。对学生的成绩考核，除了采用开卷或闭卷方式外，还可以结合课堂讨论、提问、作业、报告和写小论文等多种方式综合评价。

# 第1章 金属的性能

## 【学习目的】

1. 掌握强度和塑性指标的符号、单位及意义；
2. 掌握布氏硬度和洛氏硬度的测定原理、方法、符号及应用；
3. 了解拉伸试验方法和拉伸曲线图；
4. 了解多次冲击试验和疲劳试验的概念。

## 【教学重点】

机械性能指标和零件失效的关系，拉伸试验、布氏与洛氏硬度试验、一次冲击试验的测试原理。

## 1.1 概述

工程材料在现代工业、农业、国防及科学技术等部门之所以能获得广泛的应用，不仅由于其来源广，而且还由于其具有优良的性能。

材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料制成零件或构件后，为保证其正常工作和一定的工作寿命所必须具备的性能，包括物理性能（如密度、磁性、导电性等）、化学性能（如耐腐蚀性、热稳定性等）、力学性能（如强度、塑性、韧性等）；工艺性能是指材料在冷、热加工过程中，为保证加工过程的顺利进行，材料所必须具备的性能，包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。

所有机器结构零件或工具，在使用过程中往往会受到各种形式的外力作用。例如：起重机上的钢索受到悬吊物拉力的作用；一列满载的火车会给钢轨以很大的压力；柴油机上的连杆是用来传递动力的，在工作时不仅受拉压的作用，还要承受冲击力的作用。这些外力的作用对材料有一定的破坏性，使零件或工具不同程度地产生变形或断裂。

材料在外力的作用下抵抗变形或破坏的能力称为材料的力学性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。为了便于学生们理解工程材料的力学性能，下面先简要介绍载荷的种类和工程材料变形的知识。

工程材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。按载荷性质的不同，可以分为静载荷和动载荷两种。

①静载荷：指大小不变或变动很慢的载荷。例如：飞机停放时起落架支柱上受到的载荷便是静载荷。

②动载荷：主要有冲击载荷和交变载荷两种。冲击载荷指以很大速度作用在物体上的载荷，例如飞机着陆时起落架承受的冲击载荷。交变载荷指大小反复变化的载荷或大小与方向都反复变化的载荷，例如飞机上的单向活门中的弹簧受到的大小反复变化的交变载荷作用。

工程材料受力都会变形，即发生形状和尺寸的改变。当受力较小时，变形在外力去掉后会消失，这种在外力去掉后能够消失的变形称为弹性变形。当受力增大到一定程度，外

力去掉后,其变形有一部分不能消失,这部分在外力去除后不能消失的变形称为塑性变形。如果外力继续增大,工程材料将会断裂。

工程材料受外力作用后,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力称为内力。单位面积上的内力称为应力。工程材料受拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面积上的应力 $\sigma$ 按下式计算:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中:  $F$ ——外力 (N)  
 $S$ ——横截面积 ( $\text{m}^2$ )  
 $\sigma$ ——应力 (Pa)

在机械设备及工具的设计、制造中选用工程材料时,大多以力学性能为主要依据,因此,熟悉和掌握材料力学性能是非常重要的。

## 1.2 静态力学性能

### 1.2.1 强度

材料在载荷作用下,抵抗变形和破坏的能力称为强度。由于载荷有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等不同形式,相应的强度也分为抗拉强度 $\sigma_b$ 、抗压强度 $\sigma_{bc}$ 、抗弯强度 $\sigma_{bb}$ 、抗剪强度 $\tau_b$ 和抗扭强度 $\tau_t$ 等。通常用金属的抗拉强度来表示金属的强度。

材料的抗拉强度是通过拉力试验测定的。进行拉力试验时,将制成一定形状的金属试样装在拉伸试验机上(图1-1),然后逐渐增大拉力,直到将试样拉断为止。试样在外力作用下,开始只产生弹性变形;当拉力增大到一定程度时,就产生塑性变形;拉力继续增大,最终试样会被拉断。

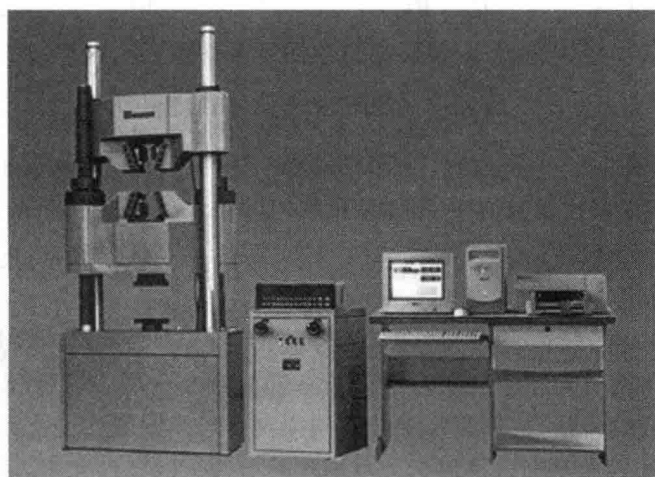


图1-1 液压式万能电子材料试验机

试验前,将被测的金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样。拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类,常用的试样截面为圆形。图1-2中 $d_0$ 是试样的直径(mm), $L_0$ 为标距

长度(mm)。根据标距长度与直径之间的关系,试样可分为长试样( $L_0 = 10 d_0$ )和短试样( $L_0 = 5 d_0$ )。

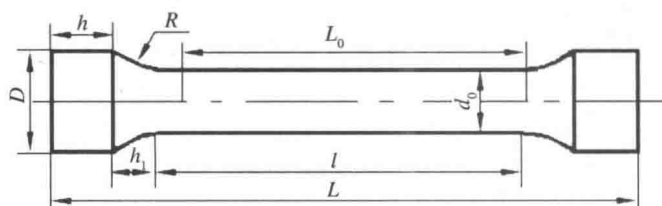


图 1-2 圆形拉伸试样

在试验过程中,把外加载荷与试样的相应变形量画在以载荷  $F$  为纵坐标、变形量  $\Delta l$  为横坐标的图形上,就得到了力-伸长曲线,或称拉伸曲线。

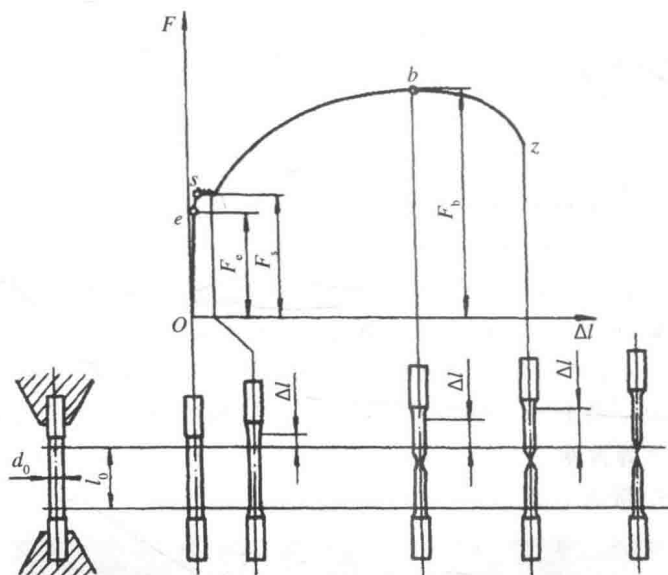


图 1-3 低碳钢的力-伸长曲线

图 1-3 是低碳钢的力-伸长曲线,图中明显表现出下面几个变形阶段:

oe——弹性变形阶段。试样在载荷作用下均匀伸长,伸长量与所加载荷成正比关系,试样发生的变形完全是弹性的,卸载后试样即恢复原状,没有残余变形。 $F_e$  为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

es——屈服阶段。当载荷超过  $F_e$  时,试样除产生弹性变形外,开始出现塑性变形。若卸载的话,试样伸长只能部分地恢复而保留一部分残余变形。当载荷增加到  $F_s$  时,图上出现水平线段(或锯齿状),即表示载荷不增加,变形继续增加,这种现象称为屈服。S 点叫屈服点, $F_s$  称为屈服载荷。屈服后,材料将残留较大的塑性变形。

sb——强化阶段。在屈服阶段以后,欲使试样继续伸长,必须不断加载。随着塑性变形增大,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化(或加工硬化), $F_b$  为试样拉伸试验时的最大载荷。

bz——颈缩阶段。当载荷增加到最大达  $F_b$  时,变形显著地集中在材料最薄弱的部分,

试样出现局部直径变细，称为“颈缩”（图1-4），由于试样断面缩小，载荷也就逐渐降低，当达到z点时，试样就在颈缩处拉断。

金属材料的强度指标根据其变形特点分为三种。

### 1.2.1.1 弹性极限

材料能保持弹性变形的最大应力，用符号 $\sigma_e$ 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-2)$$

式中： $\sigma_e$ ——弹性极限（MPa）

$F_e$ ——弹性极限载荷（N）

$S_0$ ——试样原始横截面积（mm<sup>2</sup>）

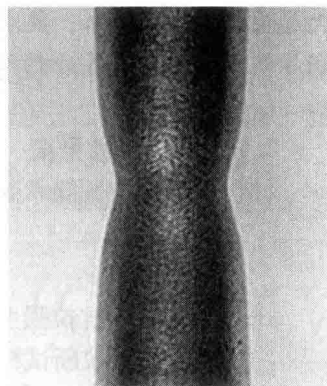


图1-4 拉伸试样的颈缩现象

材料在弹性范围内，应力 $\sigma$ （试样单位横截面上的拉力）与应变 $\varepsilon$ （试样单位长度的伸长量）的比值 $E$ 称为弹性模量，即 $E = \sigma/\varepsilon$ 。

材料弹性变形的能力称为刚度。弹性模量 $E$ 相当于引起单位弹性变形时所需要的应力，金属材料的刚度常用它来衡量。弹性模量愈大，则表示在一定应力作用下能发生的弹性变形愈小，也就是材料的刚度愈大。

### 1.2.1.2 屈服点（或称屈服极限）

试样在试验过程中，力不增加即保持恒定仍能继续伸长时的应力称为屈服点或屈服极限，用符号 $\sigma_s$ 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-3)$$

式中： $\sigma_s$ ——屈服极限（MPa）

$F_s$ ——试样屈服时载荷（N）

$S_0$ ——试样原始横截面积（mm<sup>2</sup>）

由于许多工程材料（如铸铁、高碳钢）没有明显的屈服现象，测定很困难。工程技术上规定：试样标距长产生0.2%塑性变形时对应的载荷 $F$ 所产生的应力为屈服极限，称为“条件屈服极限”，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-4)$$

式中： $F_{0.2}$ ——试样产生永久变形0.2%的载荷（N）

一般机械零件不是在破断时才造成失效，而是在产生少量塑性变形后，零件精度降低或与其他零件的相对配合受到影响而造成失效。所以， $\sigma_s$ 和 $\sigma_{0.2}$ 就成为零件设计时的主要依据，也是评定金属材料优劣的重要指标。例如：发动机气缸盖的螺栓受应力都不应高于 $\sigma_s$ ；否则，因螺栓变形将使气缸盖松动漏气。



### 工程应用典例

国家体育场这个用钢铁编织成的“鸟巢”，最关键部位采用集刚性、柔韧于一体的高强度Q460E-Z35钢材，实现了“鸟巢”的抗震性、抗低温性、焊接性三效合一。钢板最

大厚度达到 110 毫米，要求  $-40^{\circ}\text{C}$  的冲击。令国人骄傲的是，这里的每一块钢都是由我国宽厚钢板科研生产基地舞阳钢铁有限责任公司自主创新研发生产。

### 1.2.1.3 抗拉强度

材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度，用符号  $\sigma_b$  表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-5)$$

式中： $\sigma_b$ ——抗拉强度 (MPa)

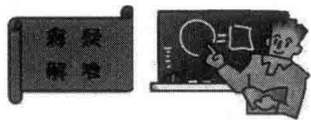
$F_b$ ——拉断试样的最大载荷 (N)

$S_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )

$\sigma_b$  越大，表示材料抵抗断裂的能力越大，即强度越高。

屈服强度和抗拉强度在设计机械和选择、评定金属材料时有重要意义，因为金属材料不能在超过其  $\sigma_s$  的条件下工作，否则会引起机件的塑性变形；更不能在超过其  $\sigma_b$  的条件下工作，否则会导致机件的破坏。

金属材料的强度，不仅与材料本身的内在因素（如化学成分、晶粒大小等）有关，还会受外界因素如温度、加载强度、热处理状态等的影响而有所变化。要控制和调整材料的强度，可通过细化晶粒、合金化或热处理方法来达到，以最大限度地发挥材料内部的潜力，延长其使用寿命。 $\sigma_b$  愈大，材料抵抗断裂的能力就愈大。



被用来拉起重物的链条破坏之后，我们检查其破坏的链扣，会发现大量变形及颈缩现象。试举出几个可能的破坏原因。

答题要点：题意提示此链条的破坏是因单纯的拉伸载荷过大，并且是以延性方式破坏。有两个因素可能导致这种破坏。载荷超过链条的拉起能力，因此，由于载荷造成的应力大于链条的屈服强度，就发生破坏。将此载荷与原制造说明书做一比较，即会发现该链条不能负荷这么大的载荷，此错在使用者；该链条的成分错误或热处理不适当，结果屈服强度低于制造者原来的预定值，因而无法承受这个载荷，此错在制造者。

## 1.2.2 塑性

材料在静载荷作用下，产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。塑性用伸长率和断面收缩率来表示。塑性指标也是由拉伸试验测得的。

### 1.2.2.1 伸长率

试样拉断后，标距的伸长与原始标距长度的百分比称为伸长率，用符号  $\delta$  表示。

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中： $\delta$ ——伸长率 (%)

$L_1$ ——试样拉断后的标距 (mm)

$L_0$ ——试样的原始标距 (mm)

若采用的拉伸试样标准不同,测得的伸长率也不相同,长短试样的伸长率分别用符号  $\delta_{10}$  和  $\delta_5$  表示,短试样的伸长率大于长试样的伸长率即  $\delta_5 > \delta_{10}$ 。习惯上,  $\delta_{10}$  也常写成  $\delta$ ,但  $\delta_5$  不能将右下角的“5”字省去。

通常  $\delta$  小于 5% 的材料为脆性材料 (用  $\delta$  比较材料的塑性时,只能在相同规格的  $\delta$  之间进行,即试棒应一样)。

### 1.2.2.2 断面收缩率

试样拉断处的横截面积减小量与试样原来横截面积之比为断面收缩率,用符号  $\Psi$  表示。

$$\Psi = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

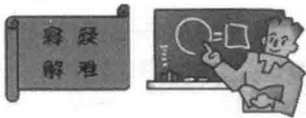
式中:  $\Psi$ ——断面收缩率 (%)

$S_0$ ——试样的原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )

$S_1$ ——试样拉断处的横截面积 ( $\text{mm}^2$ )

在实践中,没有发现断面收缩率的数值与试样的尺寸有多大的关系,材料的收缩率和断面收缩率数值越大表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不破坏,便于通过塑性变形加工成形状复杂的零件。例如,工业纯铁的  $\delta$  可达 50%、 $\Psi$  达 80%,可以拉成细丝、轧薄板等。而铸铁的  $\delta$  和  $\Psi$  几乎为零,所以不能进行塑性变形加工。塑性好的材料,在受力过大时,由于首先产生塑性变形而不致发生突然断裂,因此比较安全。

必须指出,材料的塑性高与低与使用外力的大小无关,这可从  $\delta$ 、 $\Psi$  的计算公式中得知。



某工厂买回一批材料 (要求:  $\sigma_s \geq 230\text{MPa}$ ;  $\sigma_b \geq 410\text{MPa}$ ;  $\delta_5 \geq 23\%$ ;  $\Psi \geq 50\%$ ), 做短试样 ( $10 = 5d_0$ ;  $d_0 = 10\text{mm}$ ) 拉伸试验,结果如下:  $F_s = 19\text{KN}$ ,  $F_b = 34.5\text{KN}$ ;  $l_1 = 63.1\text{mm}$ ;  $d_1 = 6.3\text{mm}$ 。问:买回的材料合格吗?

答题要点:

$$\sigma_s = F_s / s_0 = (19 \times 1000) / (3.14 \times 52) = 242 > 230\text{MPa}$$

$$\sigma_b = F_b / s_0 = (34.5 \times 1000) / (3.14 \times 52) = 439.5 > 410\text{MPa}$$

$$\delta_5 = [\Delta l / l_0] \times 100\% = [(63.1 - 50) / 50] \times 100\% = 26.2\% > 23\%$$

$$\Psi = [\Delta S / S_0] \times 100\% = 60.31\% > 50\%$$

根据试验计算结果判断,材料的各项指标均合格,因此买回的材料合格。

### 1.2.3 硬度

工程材料表面上局部体积内抵抗其他更硬的物体压入其内的能力叫硬度。硬度是材料性能的一个综合的物理量,表示金属材料在一个小的体积范围内抵抗弹性变形、塑性变形

或破断的能力。

硬度是材料的重要机械性能之一，测定硬度的方法有布氏硬度试验、洛氏硬度试验、维氏硬度试验等，各种硬度的压头形状、材料、载荷、应用范围等见表 1-1。

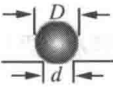
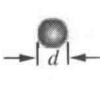


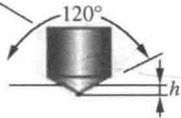

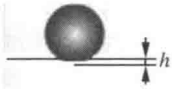

材料硬度的测定需要具备如下两个条件：

▲压头，即一个标准物体用于压入被测材料的表面；

▲载荷，即加在压头上的压力。

若压头相同、载荷也相同时，压痕越大或越深则表示被测材料的硬度越低。

表 1-1 各种硬度的压头形状、材料、载荷、应用范围

实验	压头	压头形状 侧视图	压痕形状 顶视图	硬度计算公式	备注
布氏 硬度	10 mm 钢球或碳化钨球			$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$ (P 为载荷)	$0.25 D < d < 0.6 D$ 有效
维氏 (显微) 硬度	金刚石棱锥			$HV = 1.854P/d_1^2$ (P 为载荷)	维氏硬度与显微硬度所用载荷不同
洛氏 硬度	金刚石圆锥直径 $\frac{1}{15}$ , $\frac{1}{8}$ , $\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ in. (HRA 或 HRC)			$HR = \frac{K-h}{0.002}$ (K 为常数)	应用范围 HRA 70~85 HRB 25~100 HRC 20~67
	钢球 (HRB)				

硬度试验设备简单、操作方便迅速，硬度值可间接地反映工程材料的强度，又是非破坏性的试验，可做产品成品性能检验。因此它是热处理工件质量检验的主要指标，应用十分广泛。

### 1.2.3.1 布氏硬度

#### (1) 测试原理

如图 1-5 所示，用一定直径  $D$  的球体（钢球或硬质合金球），在规定载荷  $F$  的作用下，压入被测试的工程材料表面，保持一定时间后卸除载荷，材料表面便留下一个压痕，用球面压痕单位面积上所承受的平均压力作为布氏硬度值，用符号  $HBS$ （当用钢球压头时）或  $HBW$ （当用硬质合金球时）来表示。

$$HBS(W) = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi Dh} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-8)$$

式中： $F$ ——试验力 (N)

$D$ ——球体直径 (mm)

$S$ ——压痕球面积 ( $\text{mm}^2$ )



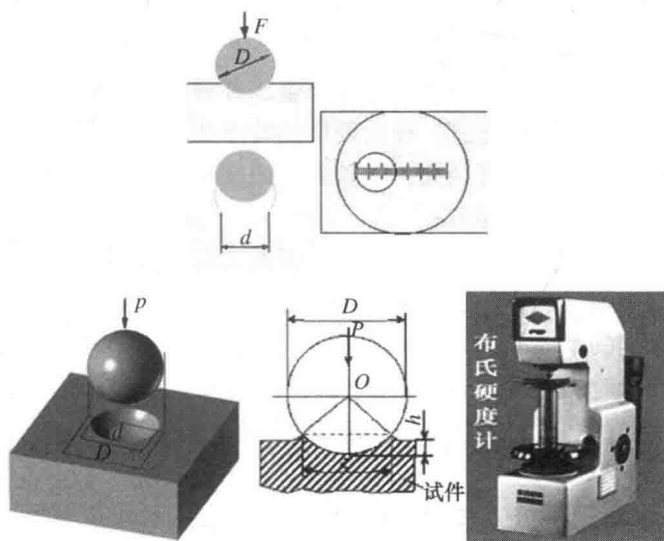


图 1-5 布氏硬度测试示意图

$h$ ——压痕深度 (mm)

$d$ ——压痕平均直径 (mm)

从式中得知：当外载荷  $F$ 、压头球体直径  $D$  一定时，只有  $d$  是变数，布氏硬度值仅与压痕直径  $d$  的大小有关。 $d$  越小，布氏硬度值越大，材料越硬； $d$  越大，布氏硬度值越小，硬度也越低，即材料越软。

在实际应用中，布氏硬度值既不标注单位，也不需要计算，而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径  $d$ ，再根据压痕直径  $d$  和选定的压力  $F$  查布氏硬度表，从而得出相应的  $HBS$  ( $W$ ) 值。

### (2) 试验规范的选择

当使用不同大小的载荷和不同直径的球体进行试验时，只要能满足  $F/D^2$  为一常数，那么对同一种金属材料当采用不同的  $F$ 、 $D$  进行试验时，可保证得到相同的布氏硬度值。国标规定  $F/D^2$  的比值有 30、15、10、5、2.5、1.25、1，共七种比值。布氏硬度试验时，根据被测材料的种类、工件硬度范围和厚度的不同，选择相应的压头球体直径  $D$ 、试验力  $F$  及试验力保持时间  $t$ 。

常用的压头球体直径  $D$  有 1、2、2.5、5 和 10mm 五种。试验力  $F$  为 9.80kN (1kgf) ~ 29.42 kN (3000 kgf)。试验力保持时间：一般黑色金属为 10~15s；有色金属为 30s，布氏硬度值小于 35 时为 60s。

### (3) 布氏硬度的符号及表示方法

用淬火钢球压头测得的布氏硬度以  $HBS$  表示，用硬质合金球压头测得的布氏硬度以  $HBW$  表示。 $HBS$  用于  $HB < 450$  的材料， $HBW$  用于  $HB$  在 450~650 的材料。

布氏硬度的表示方法规定为：符号  $HBS$  或  $HBW$  之前的数字为硬度值；符号后面按以下顺序用数字表示试验条件：①球体直径，②试验力，③试验力保持的时间（10~15s 不标注）。

例如：120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球在 1000kgf 试验力作用下保持 30s 测得布氏硬度为 120；500HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球在 750kgf 试验力作用下