

中等专业学校
教学用书

机械工程材料工艺学

刘旭林 主编



JIXIE
GONGCHENG
CAILIAO
GONGYIXUE

石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中等专业学校教学用书

机械工程材料工艺学

刘旭林 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书为中等专业学校教材，主要包括材料的机械性能、金属及合金的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料和焊接等。

本书主要作为中等专业学校工科非机械类专业、机械维修类专业教材，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料工艺学/刘旭林主编.

北京:石油工业出版社,2000.1

中等专业学校教学用书

ISBN 7-5021-2825-5

I. 机…

II. 刘…

III. 机械制造材料—工艺学—专业学校—教材

IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 51823 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 6 印张 157 千字 印 1—3000

2000 年 1 月北京第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2825-5/TE·2209(课)

定价: 9.00 元

前 言

本教材是根据原中国石油天然气总公司人事劳资部于 1998 年 8 月在河北省承德市召开的石油中专第八次教材编审会的决定,按照 1997 年原国家教委修订的工科非机类《金属工艺学教学大纲》(征求意见稿)进行编写的。

主要包括:材料的机械性能、金属及合金的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料和焊接等。

本书在编写过程中,对多所石油中专学校非机类专业的教学现状和现从事技术工作的石油非机类专业毕业生应用金工知识的情况进行了调查。在此基础上,对教材内容进行了取舍,努力贯彻了少而精、理论联系实际和实用的原则。

全书均采用了最新的有关国家标准,并将有关牌号、术语等与新国标统一。

本书由石油中专教材编审委员会组织编写,刘旭林主编,具体编写分工为:胜利石油学校刘旭林编写绪论、第一、八、九章,张立勇编写第四章,晏祥慧编写第五章,华北石油学校杨晶编写第二、七章,辽河石油学校高燕编写第三章,长庆石油学校佟雪松编写第六章。

本书由胜利石油学校董润卿主审。胜利石油学校闵凡衍、邵秀珍,长庆石油学校王鹤等也参加审稿。在教材编写过程中,还得到了胜利石油学校、华北石油学校、辽河石油学校、长庆石油学校等有关领导和同志的关心和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中的错误及不当之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

1999 年 10 月

目 录

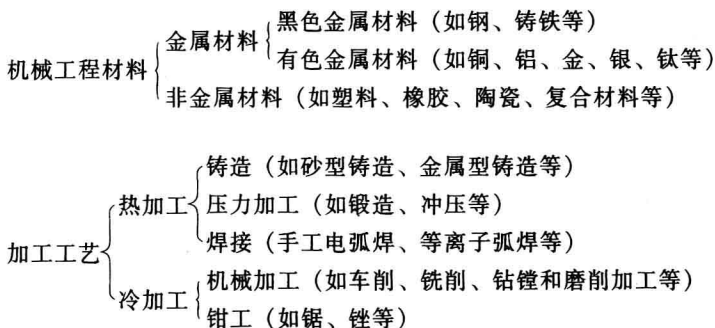
绪论	(1)
第一章 材料的机械性能	(4)
第一节 强度和塑性	(4)
第二节 硬度	(8)
第三节 冲击韧性和疲劳的概念	(11)
复习题	(14)
第二章 金属及合金的晶体结构与结晶	(15)
第一节 金属的晶体结构	(15)
第二节 纯金属的结晶	(17)
第三节 实际金属的晶体结构	(21)
第四节 金属的同素异构转变	(24)
第五节 合金的晶体结构	(25)
复习题	(28)
第三章 铁碳合金	(29)
第一节 铁碳合金的基本组织	(29)
第二节 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 状态图	(32)
第三节 碳素钢	(43)
复习题	(51)
第四章 钢的热处理	(52)
第一节 热处理的基本原理	(53)
第二节 钢的退火与正火	(62)
第三节 钢的淬火	(64)
第四节 钢的回火	(68)
第五节 钢的表面热处理	(72)
第六节 其他热处理工艺简介	(77)
复习题	(79)
第五章 合金钢	(81)

第一节	合金钢的分类	(81)
第二节	合金元素在钢中的作用	(82)
第三节	合金结构钢	(87)
第四节	合金工具钢	(99)
第五节	特殊性能钢	(105)
复习题		(111)
第六章	铸铁	(112)
第一节	铸铁的分类、石墨化及其影响因素	(112)
第二节	灰铸铁	(117)
第三节	球墨铸铁	(121)
第四节	可锻铸铁	(124)
第五节	其他铸铁简介	(125)
复习题		(127)
第七章	有色金属及其合金	(128)
第一节	铝及铝合金	(128)
第二节	铜及铜合金	(136)
第三节	滑动轴承合金	(141)
复习题		(143)
第八章	非金属材料	(144)
第一节	高分子材料的基础知识	(144)
第二节	工程塑料	(146)
第三节	橡胶与陶瓷	(152)
第四节	复合材料	(155)
复习题		(159)
第九章	焊接	(160)
第一节	手工电弧焊	(161)
第二节	其他焊接方法	(175)
第三节	常用金属材料的焊接	(181)
第四节	焊件的结构工艺性	(183)
复习题		(185)
参考文献		(186)

绪 论

各种机器零件、构件、工具或其他产品都是由某种材料制造的。材料是生产和生活的物质基础。历史表明，人类社会的发展与材料的应用和发展有着密切的关系。历史学家根据制造生产工具的材料不同，将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代等。国民经济各部门和人民的衣、食、住、行都离不开各种类型的材料。材料、能源、信息合称为现代社会的三大支柱，而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步。因此，对于从事工业工程的技术人员来说，了解各种工程材料及其加工工艺是非常重要的。

《机械工程材料工艺学》是一门研究各种工程材料的成分、组织、性能和加工工艺的综合性的技术基础课，也是工科学校多数专业的一门必修课。它主要包括机械工程材料和加工工艺两大部分内容：



实际上，《机械工程材料工艺学》涉及到将原材料制成零件毛坯，再将毛坯加工成机械零件，最后由零件装配成机器设备的整个机械制造过程。这些内容通过实习、课堂教学和实验三个教学环节来学习。本书是课堂教学使用教材，主要内容包括机械工

程材料和焊接，其他工艺内容参见实习教材。

《机械工程材料工艺学》是在生产实践中发展起来的一门学科。我国的机械工程材料及加工工艺发展史，可远溯至史前。

我国是世界上应用铜、铁最早的国家，早在四千年以前就已经开始使用铜。例如 1939 年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎，其体积庞大，鼎重 875kg，而且花纹精巧，造型精美。这充分说明了远在商代我国就有了高度发达的冶铸青铜技术。

在春秋时期，发明了生铁冶炼技术，开始用铸铁制作农具，这比欧洲国家早一千八百多年。

在战国时代，已经有了很高明的制剑技术，说明那时我国已掌握了炼钢、锻造、热处理等技术。

公元七世纪唐朝时期，已经应用锡焊和银焊，这比欧洲早一千多年。

在湖南衡阳出土的相当精致的东汉人字齿轮，说明在汉朝就有了金属的机械零件。到了明朝，已经出现了很多简单的切削加工设备。1668 年曾使用直径近二丈（6.67m）的嵌片铣刀，由牲畜作动力带动旋转，用来铣削天文仪上的铜环。为了提高精确度，可将铣刀换下装上磨石对大铜环进行磨削加工。

明朝宋应星所著《天工开物》一书，阐述了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属的加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一，充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述事实说明，我国古代在金属加工工艺方面的科学技术都曾远远超过同时代的欧洲，在世界上占有过遥遥领先的地位，对世界文明和人类进步作出过巨大的贡献。但是由于封建制度的长期统治，特别是近百年来外国的侵略，国内反动统治阶级的残酷剥削和压迫，严重地阻碍了我国生产力的发展，才使我国科学技术发展停滞落后了。解放前我国的工农业生产和科学研究都处于极端落后的状态。

新中国成立以后，我国工农业生产才得到了迅速地发展，建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、宇宙航行等许多现代化工业，为国民经济的进一步高速发展奠定了牢固的基础。与此同时，原子弹、氢弹、导弹的试验成功，人造地球卫星的发射和准确回收，又集中标志着我国科学技术达到了新的水平。

半个世纪以来，机械工程材料及其加工工艺日新月异，工业领域内的新材料、新技术、新工艺不断涌现，为人类社会创造出了巨大的效益。虽然我国的机械工程材料及加工工艺水平与发达国家还有一定差距，但是随着改革开放的不断深入和以经济建设为中心的政策落实，相信我国的机械工程材料及其加工工艺会有飞速发展，并在不久的将来定能达到世界先进水平。

通过学习本课程，可使学生获得常用工程材料的性能及有关加工工艺的基础知识，并获得一定的加工操作技能，为后续课程的学习和从事技术工作打下必要的基础。

学习本课程的基本要求是：

- (1) 初步掌握常用工程材料的牌号、性能、用途和一般选用原则，以及了解常用的热处理工艺。
- (2) 了解各种主要加工方法的基本原理和工艺特点。
- (3) 了解零件结构工艺性的基础知识。
- (4) 初步具有简单零件加工的基本操作技能。

为了学好本课程，首先要认真地进行金工实习。通过实习，获得必要的感性知识和一定的基本操作技能，以加深对课程内容的理解。在学习过程中，还要注意对各部分内容不断进行总结，抓住它们之间的内在联系。此外，还要按时完成一定数量的课堂练习和课外作业，以巩固所学知识。

第一章 材料的机械性能

工程上之所以应用种类繁多的材料，主要是因为它们分别具有对特定条件最适应的性能。这些性能包括使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能，如物理性能（密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、导磁性等），化学性能（耐腐蚀性、抗氧化性等）和机械性能。工艺性能是指材料在加工过程中所表现出来的性能，如热处理性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能和切削加工性能等。为了做到正确、经济、合理地选用材料，就必须了解上述性能，其中主要是机械性能。

机械性能是指材料在外力作用下所表现出来的使用性能，也常称为力学性能。它是机械设计、材料选择和工艺评定的重要依据。常用的机械性能主要有强度、硬度、塑性、冲击韧性和疲劳等。下面将分别讨论这些性能及其测定方法。

第一节 强度和塑性

材料的强度和塑性一般通过拉伸试验来进行测定。

一、拉伸试验

1. 拉伸试验过程

拉伸试验通常在拉伸试验机上进行。拉伸试验的第一步是根据国家标准 GB/T 228—1987《金属拉伸试验法》制作标准拉伸试样。图 1-1 为圆形拉伸试样的示意图，图中 d_0 为试样直径， L_0 为试样标距长度。

试验时，将试样两端装夹在试验机的上下夹头上，随后缓慢地增加载荷。随着载荷的增加，试样被逐渐拉长，直至拉断。在

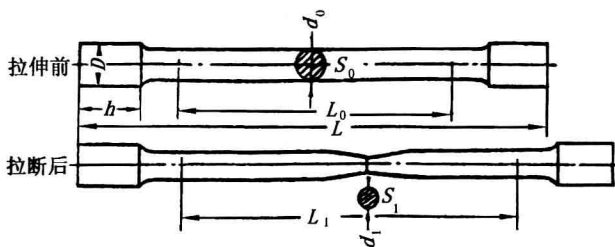


图 1-1 钢的标准拉伸试样示意图

试验过程中，试验机自动记录每一瞬间的载荷 F 和与之相对应的变形量 ΔL ，并绘出它们之间的关系曲线，称为拉伸曲线。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中弹性变形、塑性变形，直至拉断的全部力学特性。

图 1-2 (a) 为低碳钢的拉伸曲线图。图中 OE 是直线，载荷不超过 F_e 时，变形量与载荷成正比，当载荷去掉后，试样能恢复到原来的长度，即材料处于弹性变形阶段。

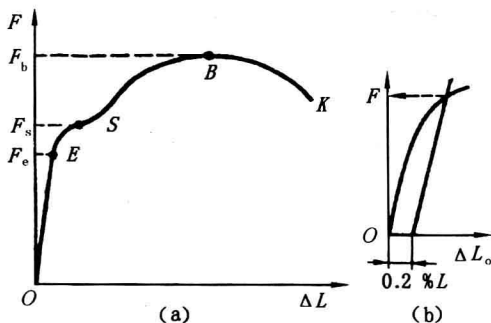


图 1-2 拉伸试验曲线

(a) 低碳钢的拉伸曲线；(b) $\sigma_{0.2}$ 的测定示意图

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，即当载荷去掉后，试样不能恢复到原来的长度。如载荷继续增加达到 F_s 时，虽然载荷不再增加，但试样仍继续伸长，这种现象称为屈服。屈服现象是金属发生显著塑性变形的标志。

载荷继续增加达到 F_b 时，试样上出现某一部分变细，即发

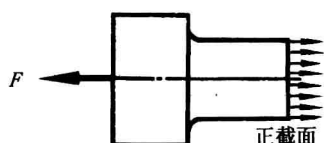
生“缩颈”现象。由于试样截面缩小，继续变形所需的载荷也就下降，当载荷为 F_k 时，试样断裂。

2. 应力的概念

试样受拉力作用时，在其内部相应产生的与外力相平衡的抵抗力称为内力。试样截面单位面积上的内力称为应力。如图1-3所示的受拉件，在其正截面上分布着内力。假定内力均匀分布，则应力大小表示为

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

式中 F ——外加载荷，N；
 S ——受力截面积， m^2 ；
 σ ——应力，Pa。



应力的单位是 Pa (帕)，即 N/m^2 。这个单位很小，工程上一般常用 MPa (兆帕)， $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 或 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ 。

二、强度

材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。材料易于塑性变形和断裂时，强度低，反之则强度高。用来评定材料强度高低的常用指标是屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度 (屈服点)

拉伸试验时，材料出现屈服时的最小应力称为屈服强度，用 σ_s 表示，即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_s ——试样产生屈服时的最小载荷，N；
 S_0 ——试样原始横截面积， mm^2 ；
 σ_s ——屈服强度，MPa。

有些材料如合金钢等，无明显屈服现象。在这种情况下，工

程上规定以试样标距产生 0.2% 的残余变形时所对应的应力作为屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示，人们常称 $\sigma_{0.2}$ 为条件屈服强度。

屈服强度代表了金属材料抵抗微量塑性变形的能力。当材料所受应力低于屈服强度时，仅有微量塑性变形产生；超过屈服强度时，将产生明显的塑性变形。由于大部分零件和结构都要求在弹性状态下工作，不允许有过量塑性变形出现，所以常认为材料出现过量塑性变形就失效。因此，屈服强度是确定材料许用应力的一个重要依据，也是设计和选材时的主要依据。

2. 抗拉强度

拉伸试验时，材料在断裂前（或缩颈时）所承受的最大应力叫抗拉强度，用 σ_b 表示。即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 F_b ——试样断裂前所受的最大载荷，N；

S_0 ——试样原始横截面积， mm^2 ；

σ_b ——抗拉强度，MPa。

不同材料的抗拉强度差别很大，合金结构钢 40Cr 的抗拉强度为 981 MPa，碳素结构钢 Q235A 的仅为 410 MPa，黄铜 H62 的更低，约为 330 MPa，工程塑料尼龙 6 的不超过 60MPa。塑性材料在达到 σ_b 时已产生了大量的塑性变形，这种情况在实际使用时是不允许的。因此，在设计和选材中不宜用 σ_b 作为直接的计算依据。然而，由于塑性较差的材料在拉伸试验中往往没有明显的屈服现象，而 σ_b 比较容易测定，因此，它仍可作为衡量材料强度的一个重要指标。

σ_s/σ_b 之比叫屈强比。屈强比愈小，可靠性愈高，万一超载也能由于塑性变形，使金属强度提高而不致立刻破断。但此值太低，材料的利用率也太低。不同材料的屈强比相差很大，如碳素结构钢约为 0.5~0.6，低合金结构钢约为 0.65~0.75，合金结构钢约为 0.85。

三、塑性

材料在外力作用下发生永久变形而不断裂的能力叫塑性。在断裂之前材料的永久变形量愈大，表示它的塑性愈好，反之则表示塑性差。用来评定材料塑性的指标是伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率 (δ)

伸长率是指试样拉断后的标距伸长量与原始标距之比，即标距的相对伸长量。伸长率常用符号 δ 表示，即

$$\delta = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 L_1 ——试样断裂后的标距长度，mm；

L_0 ——试样原始的标距长度，mm。

2. 断面收缩率 (Ψ)

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比，即断面的相对收缩量。断面收缩率常用符号 Ψ 表示，即

$$\Psi = \frac{(S_0 - S_1)}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 S_1 ——试样断口处的横截面积，mm²；

S_0 ——试样的原始横截面积，mm²。

材料的 δ 和 Ψ 值愈大，材料的塑性愈好。纯铁的伸长率约为 50%，45# 钢的约为 16%，而灰铸铁的还不到 1%。塑性好的材料不仅压力加工（如锻压、轧制、挤压、冷拔等）的工艺性好，而且在零件万一超载时，可因塑性变形避免突然断裂。一般来说，塑性和强度是金属材料机械性能的一对矛盾，金属材料的塑性好则强度较低，而强度高则塑性往往较差。

第二节 硬 度

硬度是衡量材料软硬的一个指标。硬度的物理意义随着试验方法的不同而不同。在应用最广泛的压入法硬度试验中，硬度是

指材料抵抗其他更硬物体压入其表面的能力。压入法是用一定的静载荷把一定尺寸和形状的压头压入材料表面，保持一定时间后，通过测定压痕直径或深度来确定材料硬度的方法。当压头和载荷一定时，压痕直径或深度愈大，则硬度愈低。根据所用压头、载荷和测定压痕参数的不同，常用的硬度试验法有布氏硬度和洛氏硬度两种。

一、布氏硬度

将直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，在规定载荷 F 的作用下压入被测材料表面，保持规定的时间后卸去载荷，此时被测表面将出现直径为 d 的压痕，如图 1-4 所示。在读数显微镜下测量压痕直径，并根据所测直径查表，即可得硬度值。也可通过下式计算求得硬度值。

$$\text{布氏硬度值} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-6)$$

式中 D ——球体直径，mm；

F ——试验载荷，N；

d ——压痕平均直径，mm。

显然，材料愈软，压痕直径愈大，布氏硬度值愈低；反之，布氏硬度值愈高。

按照 GB/T 231—1984《金属布氏硬度试验方法》，在布氏硬度值低于 450 时用淬火钢球作为压头，测量结果用 HBS 表示，如 150HBS，其中 150 是布氏硬度值；在布氏硬度值为 450 ~ 650 时，用硬质合金球作为压头，测量结果用 HBW 表示，如 500HBW。

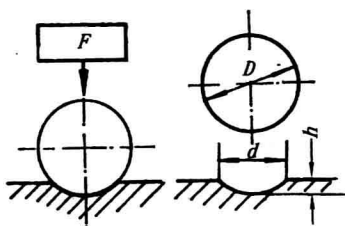


图 1-4 布氏硬度试验示意图

布氏硬度的优点是测量结果比较准确，缺点是压痕较大，不适于成品检验。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法。它是用一个锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头，在规定载荷作用下压入被测金属表面，用压头在金属表面所形成的压痕深度来确定其硬度值。

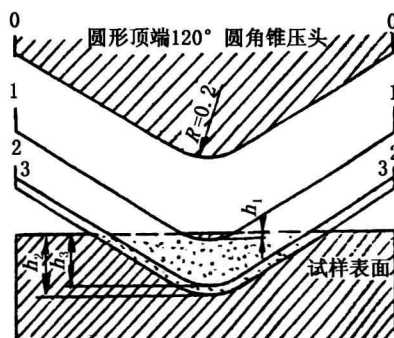


图 1-5 洛氏硬度试验示意图

图 1-5 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。图中 0-0 为圆锥压头的初始位置。1-1 为在初载荷（ 100N ）作用下压入深度为 h_1 时的压头位置。加初载荷的目的是使压头与试样表面紧密接触，避免由于试样表面不平整而影响试验结果的精确性。2-2 为在总载荷（即初载荷与主载荷的总和）作用下压入深度为 h_2 时的压头位置。3-3 为卸除主载荷后，由于被测试金属弹性变形恢复，而使压头略为提高时的位置。这时，压头实际压入试样的深度为 h_3 。故由于主载荷引起塑性变形而使压头压入的深度为 $h = h_3 - h_1$ ，并以此来衡量被测金属的硬度。显然， h 愈大，材料愈软，硬度值愈低；反之则硬度值愈高。被测材料的硬度值可直接在硬度计刻度盘上读出来。

洛氏硬度常用的有三种标尺，分别以 HRA, HRB, HRC 来表示。测试时所用的压头类型、主载荷大小及适用范围见表 1-1。

以上三种洛氏硬度中，以 HRC 应用最多，一般经淬火处理的钢或工具都常用 HRC 来测量。

洛氏硬度的优点是操作迅速、简便、压痕小，硬度值的测量

范围较大。缺点是测量结果不如布氏硬度精确，易受试样微小区域硬度不均匀的影响。

表 1-1 洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

硬度符号	压头类型	总压力 N (kgf)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥	1471 (150)	20 ~ 67HRC (相当 225HBS 以上)	淬火钢件
HRB	φ1/16 淬火钢球	980.7 (100)	25 ~ 100HRB (相当 60~230HBS)	软钢、退火钢、铜合金
HRA	120°金刚石圆锥	558.4 (60)	70HRA 以上 (相当 350HBS 以上)	硬质合金、表面淬火钢

在中等硬度情况下，洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 之间的数值关系约为 1:10，如某材料硬度用洛氏硬度测定为 40HRC 时，用布氏硬度测定则为 400HBS 左右。

除常用的布氏硬度和洛氏硬度外，还有维氏硬度、肖氏硬度等。

一般说来，材料的硬度与耐磨性、强度等有着密切的关系。材料的硬度高，往往强度高、耐磨性好。实践证明，一些材料的布氏硬度 HBS 和抗拉强度 σ_b 之间存在着近似关系。例如，对于结构钢其近似关系为 $\sigma_b \approx 3.5\text{HBS}$ 。如硬度为 150HBS 的钢，其抗拉强度大约应为 525MPa。

鉴于硬度测定简单易行，且不破坏零件。因此，生产中常通过测定硬度来检查热处理零件的机械性能。

第三节 冲击韧性和疲劳的概念

一、冲击韧性

以很快的速度作用于零件上的载荷称为冲击载荷。许多零件在工作时往往要受到冲击载荷的作用。如锻锤的锤杆、内燃机的