

33575

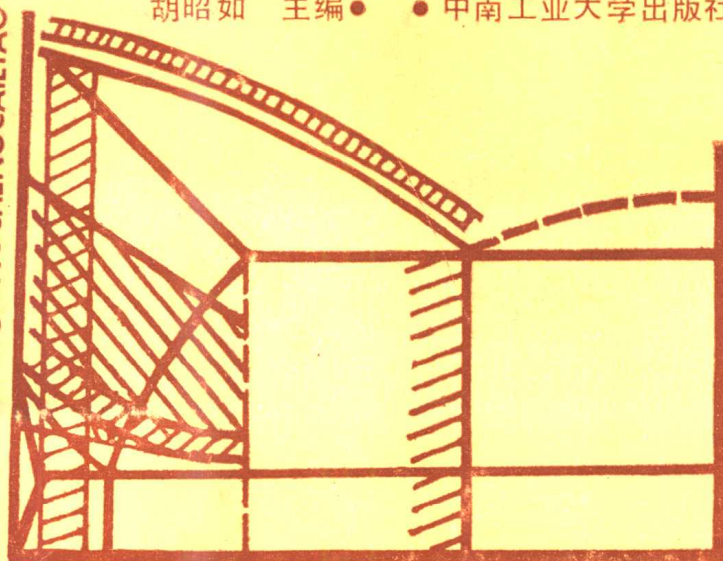
工程材料及机械制造基础 (I)

● 高等学校试用教材 ●

机械工程材料

胡昭如 主编 ● ● 中南工业大学出版社 ●

● JIXIE GONGCHENG CAILIAO ●



● JIXIE GONGCHENG CAILIAO ●

胡昭如 主编 ● ● 中南工业大学出版社 ●

高等学校试用教材

工程材料及机械制造基础 <I>

机械工程材料

<11>系张万昌主编

胡昭如 主编

中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委金工课程教学指导小组审订通过的工程材料及机械制造基础课程教学基本要求编写的全套教材的第 I 册。

本书内容包括：金属材料的性能、金属的结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、粉末合金和非金属材料及复合材料、机械零件的选材与工艺分析等九章。

本书结构紧凑，重点突出，内容力求更新，适于新的教学基本要求的需要，可作为高等工业学校机械类各专业的教材，也可供有关科技人员参考。

工程材料及机械制造基础 (I)

机械工程材料

主编：胡昭如

责任编辑：何彩章

*

中南工业大学出版社出版

湖南省新华书店发行

湘潭大学印刷厂印装

*

开本：787×1092 1/16 印张：13 字数：330千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数：00001—12000

*

ISBN 7-81020-357-6/TH.009

定价：4.90元

前 言

《工程材料及机械制造基础》是根据国家教委金工课程指导小组审订通过、经国家教委批准印发的高等工业学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求编写的，可作为高等工业学校机械类各专业的试用教材，也可供职工大学、电视大学机械类专业学生使用，以及有关科技人员参考。

本教材由湖南省金工学会组织部分高等院校编写，分为三册出版，即：工程材料及机械制造基础（Ⅰ）——机械工程材料；工程材料及机械制造基础（Ⅱ）——热加工工艺基础；机械工程材料及机械制造基础（Ⅲ）——机械加工工艺基础。全书紧密结合教学基本要求，取材力求更新，注意与金工实习教学的分工与配合，重点突出，内容少而精，名词、术语、单位、符号等均采用最新标准和国际单位制。

本册（机械工程材料）由中南工业大学胡昭如（绪论、第一、二、三章）、陈学耀（第四章，第五章第一、三节）、任立军（第五章第二、四节，第八章）、刘舜尧（第四章第七节，第六、七、九章，附录 I）共同编写，全书由胡昭如主编，田荣璋教授主审。

参加本册审稿的还有中南工业大学钱去泰教授，湘潭大学李瑞昌副教授、钟定铭老师，衡阳工学院冷发启老师。中南林学院曾维明副教授参加了本书编写大纲的制订和讨论。

本书在编审出版过程中，得到了兄弟院校同行们的帮助和支持，并参阅录用了有关教材、文献资料。在此一并致谢。

由于时间仓促，书中难免不妥之处，恳请读者批评指正。

编者 1991年1月

0 绪论

《机械工程材料》是高等学校机械类专业必修的技术基础课之一。它的重点是研究金属材料的性能与成分、组织结构、热处理之间的关系。课程的具体内容包括下列四部分：

(1) 材料性能 重点介绍金属材料的机械性能及其物理、化学、工艺性能的含义。

(2) 金属学基础 重点研究金属和合金的组织结构、结晶过程、塑性变形与再结晶及主要二元合金状态图的基本理论。

(3) 热处理基础 重点研究改变钢铁材料内部组织结构及性能的原理和方法。

(4) 常用机械工程材料 具体研究各种常用机械工程材料的种类、性能及用途。

现代工农业生产中，机械工程材料是制造各种机械设备的物质基础。因此，对于从事机械设计、制造、使用、维护、管理工作的工程技术人员来说，掌握好机械工程材料基本知识是非常重要的。在机械设计中，技术人员的工作内容之一，是根据机器零件的工作条件等因素，选择合适的材料，正确地决定热处理技术要求，从而使机械设备结构合理、功效良好、便于制造、成本低廉，使各个零件都能安全可靠地使用。在机械制造中，技术人员在审查图纸时，要分析零件的选材及热处理技术要求是否合理，当所选材料供应有困难时，有时要考虑能否用其他材料代替；在编制工艺时，要确定热处理工序如何安排；在指导生产时，要采取措施使零件的性能达到设计要求。在机械设备的使用、维护、管理工作方面，技术人员要根据零件所用材料的性能特点，制订有关技术规程，使机械设备的使用寿命得到延长；在机械设备发生故障时，要根据零件失效的情况，分析零件损坏的原因，判断是属于选材不当、材质不良、热处理不正确，还是属于设计、装配或维护、使用等方面的问题。由此可见，本书是一本实用性很强的教材。

材料的使用和发展总是同生产力和科学技术的发展水平密切相关的。材料科学的发展水平曾是人类历史发展的标志。

在人类历史的长河中，我国人民对材料科学的发展有着重大的贡献。我们的祖先早在原始社会的末期，就会烧制陶器。三千多年前的殷、周就发明了釉陶。东汉出现的瓷器成了中国文化的象征。

远在四千年前，我国已使用铜和铜合金，到了商、周时期，已发展到较高的水平。春秋战国时期的《周礼·考工记》，关于青铜“六齐”的论述，就确定了铜、锡合金的成分配比与性能和用途之间的关系。这一论述达到了当时世界的最高水平，即使与现代的青铜的成分配比、性能也几乎完全一致。

我国早在春秋战国时期就已应用铸铁，所谓白口铁、展性铸铁、麻口铸铁也相继问世。洛阳出土的春秋战国铁铲，经金相检验证明，是世界上最早的可锻铸铁。随后又由铸铁发展到炼钢，并相继采用退火、正火和渗碳等各种热处理方法来改善钢和铸铁的性能。各地出土的西汉刀剑，都具有淬火马氏体组织。河北满城出土的西汉佩剑及书刀，还经过表面渗碳处理。河南巩县出土的汉代铁镢是世界上最早的球墨铸铁件，比1947年英国莫洛宣布研究成功的现代球墨铸铁早了二千年之久。

宋代沈括的《梦溪笔谈》和明代宋应星的《天工开物》都记载了关于金属冶炼、加工和热处理工艺方面的珍贵资料。《天工开物》对锉刀生产及制针方法的论述，有关退火、淬火

及固体渗碳工艺的叙述，已具有相当高的水平，与今日的工艺相差无几。

但是，到了18世纪以后，由于长期的封建统治，以及帝国主义的侵略剥削，使我国在材料科学方面落后了。解放后，在共产党的领导下，经过我国人民的共同努力，无论各种材料的生产、还是材料科学的研究，都得到了迅速的发展。

现代材料科学的发展，可谓日新月异。这与生产的发展，经验的总结提高固然分不开，更重要的还与现代科学仪器的发展，测试手段的日臻完善所分不开。例如，1863年第一次用光学显微镜研究金属后，导致了“金相学”的出现；1912年用 x 射线照射晶体发现了衍射现象，就开始了晶体微观结构的测定；1932年发明了电子显微镜以后，把人们对金属组织结构的认识带入了更深的层次。如在电镜下，已能观察到变形金属的位错运动。近年来，扫描电镜、电子探针的应用，又进一步促进了材料科学的发展。

目前，人们除了大量使用金属材料以外，非金属材料也得到了很快的发展。近20年来，金属与非金属相互渗透，互相结合，使金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料，构成了一个完整的机械工程材料体系。

随着现代科学技术的发展，机械工业与材料科学的关系更加密切。机械设备的许多性能指标往往依靠灵活应用材料科学的知识来达到。机械工程技术人员日常工作中所遇到的材料方面的问题也愈来愈复杂，这就对《机械工程材料》的教学提出了更高的要求。

学习本课程之后，学生应熟悉常用工程材料的组织、性能、应用和选用原则，掌握有关的基本原理和工艺特点，初步了解有关的新技术、新材料、新工艺。

学习和掌握本课程的内容，还可以为《热加工工艺基础》、《机械设计基础》、《机械制造工艺学》等课程的学习打下一定的基础。学生在学习本课程之前，应经过《金工实习》的基本训练，具备必要的感性知识。

目 录

0 绪论	(1)
1 金属材料的性能	(1)
1.1 金属材料的机械性能	(1)
1.2 金属材料的其他性能	(9)
1.3 零件的失效与金属材料性能的关系	(11)
2 金属的结构与结晶	(14)
2.1 纯金属的结构与结晶	(14)
2.2 合金的结构与结晶	(23)
2.3 铁碳合金	(32)
3 金属的塑性变形与再结晶	(42)
3.1 金属的塑性变形	(42)
3.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	(48)
3.3 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	(49)
3.4 金属的热变形	(52)
4 钢的热处理	(54)
4.1 钢在加热时的组织转变	(54)
4.2 钢在冷却时的组织转变	(57)
4.3 钢的退火与正火	(68)
4.4 钢的淬火与回火	(70)
4.5 钢的表面淬火	(81)
4.6 钢的化学热处理	(82)
4.7 零件结构与热处理工艺性能的关系	(90)
5 工业用钢	(94)
5.1 钢的分类及合金化原理	(94)
5.2 结构钢	(102)
5.3 工具钢	(116)
5.4 特殊性能钢	(125)

6	铸铁	(132)
6.1	概述	(132)
6.2	灰口铸铁	(134)
6.3	可锻铸铁	(139)
6.4	球墨铸铁	(141)
6.5	特殊性能铸铁	(146)
7	有色金属及其合金	(150)
7.1	铝及铝合金	(150)
7.2	铜及铜合金	(155)
7.3	轴承合金	(162)
8	粉末合金、非金属材料及复合材料	(166)
8.1	粉末合金	(166)
8.2	非金属材料	(171)
8.3	复合材料	(177)
9	机械零件的选材与工艺分析	(179)
9.1	选择零件用材需要考虑的几个基本问题	(179)
9.2	典型零件的选材及其制造工艺流程	(187)
附录 I	热处理技术要求的标注	(193)
附录 II	各种硬度换算表	(196)
附录 III	国内外常用钢号对照表	(198)

1 金属材料的性能

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中反映出来的特性，它决定金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。使用性能又分为机械性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的各种特性，是决定它是否易于加工或如何进行加工的重要因素。

在选用金属材料和制造机械零件时，主要考虑机械性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件，还要考虑物理性能、化学性能。

1.1 金属材料的机械性能

各种机械零件或者工具，在使用时都将承受不同的外力，如拉力、压力、弯曲、扭转、冲击或摩擦等等的作用。为了保证零件能长期正常的使用，金属材料必须具备抵抗外力而不破坏或变形的性能，这种性能称为机械性能。即金属材料在外力作用下所反映出来的力学性能。金属材料的机械性能是零件设计计算、选择材料、工艺评定以及材料检验的主要依据。

不同的金属材料表现出来的机械性能是不一样的。衡量金属材料机械性能的主要指标有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

1.1.1 强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用的方式不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。一般所说的强度是指抗拉强度。它是用金属拉伸试验方法测出来的。

试验时将欲测的金属材料按GB6397—86做成拉伸试验试样（图1.1），把试样两端夹持在拉伸试验机上进行拉伸试验。作用在试样上的拉力是按标准缓慢增加的。在拉力作用下试样被逐渐拉长，一般拉至断裂为止。以拉力 F 为纵坐标，试样的伸长量 ΔL 为横坐标，通过自动记录绘出的力—伸长曲线（图1.2）称为拉伸曲线。

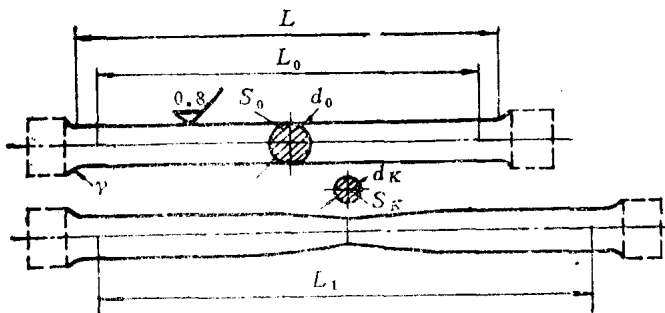


图 1.1 拉伸试样

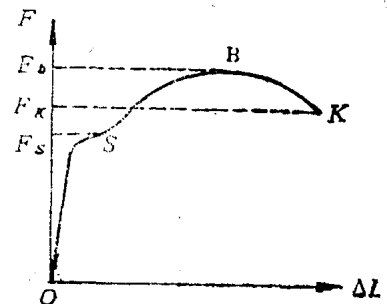


图 1.2 低碳钢拉伸曲线

用低碳钢试样进行拉伸试验，当拉力 F 较小时，试样变形的伸长量很小，并与拉力 F 的大小成正比。图象为一直线段。此时如果将外力去掉，试样将恢复到原来的形状和尺寸，此种线弹性范围内的伸长叫做比例伸长。这种变形称为弹性变形。

当拉力增加到 F_s 时，力保持恒定（不增加），试样在试验过程中仍能继续伸长，这种现象称为屈服现象。此时如将外力去掉，试样不能恢复原状，所残留的伸长称为残余伸长，这种变形称为塑性变形。

当拉力再逐渐增加，试样则继续伸长，断面则变细。拉力增加到 F_b 时，试样伸长集中发生在某一部位，并使之局部变细，产生缩颈现象（图1.1）。此时拉力即使减小，试样仍继续伸长，最后在缩颈处断裂。

根据试验结果，金属材料的抗拉强度可按下式计算：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中： σ_b ——金属材料的抗拉强度。数值越大材料抵抗断裂的能力越强。单位： N/mm^2

F_b ——试样被拉断前所承受的最大力。单位： N

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积。单位： mm^2

金属材料的屈服点可按下式计算：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中： σ_s ——金属材料的屈服点。单位： N/mm^2

F_s ——试样在试验过程中所承受的屈服力。单位： N

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积。单位： mm^2

当金属材料在拉伸试验过程中无明显屈服现象时，可用规定非比例伸长应力 σ_p ，或规定残余伸长应力 σ_r ，或规定总伸长应力 σ_t 来表征金属材料抗屈服的性能指标（屈服强度）。例如：用 $\sigma_{p0.2}$ 表示规定非比例伸长率为0.2%时的应力； $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为0.2%时的应力； $\sigma_{t0.5}$ 表示规定总伸长率为0.5%时的应力；以其中之一为材料抗屈服的性能指标（屈服强度）。它们的具体测定方法参考《GB228—87金属拉伸试验方法》。

材料的屈服强度与抗拉强度在机械设计中具有重要的意义。当采用脆性材料制造机器零件时，它所受的应力不允许超过材料的 σ_b ；若采用塑性材料制造时，它所受的应力不能超过材料的 σ_s ，即说明零件在使用时不允许产生塑性变形。例如，压缩机或内燃机的缸盖和缸体的固紧螺钉，若所受的应力超过了 σ_s ，就会产生塑性变形而伸长，使这些机器发生漏气而不能正常工作。

1.1.2 塑性

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不断裂的能力称为塑性。

金属材料的塑性常用伸长率（ δ ）或断面收缩率（ ψ ）来表示。

断后伸长率可按下式计算：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

式中： δ ——断后伸长率（%）；

L_1 ——试样拉断后的标距（mm）；

L_0 ——试样原始标距（mm）。

拉伸试样有长、短比例试样之分， $L_0/d_0 = 10$ 称为长比例试样， $L_0/d_0 = 5$ 称为短比例试样。断后伸长率则分别以符号 δ_5 、 δ_{10} 表示。一般相同的材料具有相同横截面的试样，长标距与短标距测得的伸长率，其结果是有差异的，标距 L_0 增加， δ 值变小，即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

断面收缩率(ψ)则不受比例试样长短的影响。它的大小可按下式计算：

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100$$

式中： ψ ——断面收缩率(%)；

S_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积(mm^2)；

S_1 ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

金属材料的断后伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)数值愈大，说明材料的塑性愈好。金属材料具有良好的塑性是进行压力加工的必要条件。

1.1.3 刚性与弹性

金属材料在外力作用下，抵抗弹性变形的能力称为刚性。刚性的大小可用材料的弹性模量(E)表示。弹性模量是金属材料在弹性变形范围内的规定非比例伸长应力(σ_p)与规定非比例伸长率(ϵ_p)的比值。如： $E_p = \sigma_{p_{0.01}} / \epsilon_{p_{0.01}}$ (N/mm^2)。所以材料的弹性模量(E)愈大，刚性愈大，材料愈不易发生弹性变形。但必须注意的是：材料的刚性与零件的刚度是不同的，零件的刚度除与材料的弹性模量有关外，还与零件的断面形状和尺寸有关。例如，同一种材料的两个零件，弹性模量 E 虽然相同，但断面尺寸大的零件不易发生弹性变形，而断面尺寸小的零件则易发生弹性变形。

金属材料的弹性模量(E)主要取决于它的本性和晶体结构，与显微组织关系不大。热处理、合金化和冷变形等因素的影响、作用都很小。所以弹性模量(E)是金属材料最稳定的性质之一。室温下钢材的弹性模量 $E = 190000 \sim 220000 \text{N}/\text{mm}^2$ ，铸铁的弹性模量 $E = 60000 \sim 170000 \text{N}/\text{mm}^2$ 。

金属材料的弹性是材料开始塑性变形前的最大弹性变形量。一般用规定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.01}}$ 时的应变表示。所以弹性是指金属材料弹性变形的最大能力。生产上改变金属材料的規定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.01}}$ ，则可达到改变材料弹性的目的。

零件在使用的过程中，一般处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件，如精密机床的主轴、镗杆、柴油机的曲轴等，应选用刚性较大的金属材料。对于要求弹性好的零件，如弹簧则可通过热处理和合金化的方法，提高材料的規定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.01}}$ ，达到提高弹性的目的。

1.1.4 硬度

金属材料抵抗集中负荷作用的性能称为硬度。换句话说，硬度是金属材料抵抗硬物压入的能力。材料的硬度是强度、塑性和加工硬化倾向的综合反映。硬度与强度之间往往有一定的概略比例关系，并在很大程度上反映出材料的耐磨性能。此外，硬度测定方法简便，不需制备特殊的试样，可以直接在零件上进行测定，而不损坏工件。所以硬度通常在生产上作为热处理质量检验的主要方法。

根据测试方法不同，目前常用的硬度指标有如下几种：

1.1.4.1 布氏硬度

布氏硬度是在布氏硬度计上测定的，其试验原理是用一定直径(D)的钢球或硬质合金

球，以相应的试验力（ F ）压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，测量试样表面的压痕直径（ d ）（图1.3）。布氏硬度值是试验力（ F ）除以压痕球形表面积所得的商。

当试验力用N作单位时，计算公式则为：

$$HBS \text{ (或 HBW)} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

试验力用kgf为单位时，计算公式为：

$$HBS \text{ (或 HBW)} = \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中：HBS——压头为钢球时的布氏硬度符号，适用于布氏硬度值在450以下的材料，单位不予标出（下同）。

HBW——压头为硬质合金球时的布氏硬度符号，适用于布氏硬度值在650以下的材料。

（注：当布氏硬度超过350时，钢球和硬质合金球得到的试验结果会明显不同。）

D ——球体直径。单位：mm²；

F ——试验力。单位：N；

d ——压痕平均直径。单位：mm。

在实际生产中，布氏硬度并不需要用公式计算。而是测出材料表面所留压痕直径（ d ），直接查表可得出HBS或HBW的数值。

布氏硬度表示的方法如下：符号HBS或HBW之前为硬度值，符号后面按以下顺序用数值表示试验条件：1.球体直径；2.试验力；3.试验保持时间（10~15s不标注）。例如：240HBS10/3000表示用直径为10mm钢球在29.42kN（3000kgf）试验力作用下，保持10~15s测得的布氏硬度值为240。测定布氏硬度的详细方法，可参考《GB231—84金属布氏硬度试验方法》。

布氏硬度试验方法的优点是压痕面积大，能比较准确地代表被测金属材料的硬度，很少受个别组织的影响。但是受压头钢球（或硬质合金球）本身硬度的限制，不能测量过硬或过薄材料的硬度。生产上主要用于测定钢坯、轧材、铸钢、铸铁、有色金属铸、锻件以及退火或正火零件的硬度值。

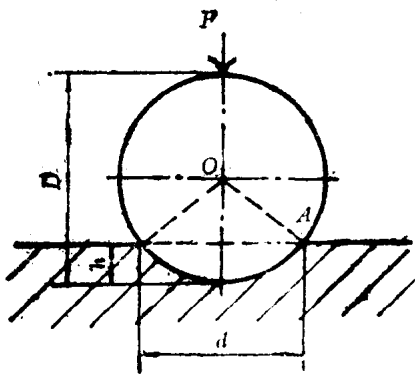


图 1.3 布氏硬度试验原理图

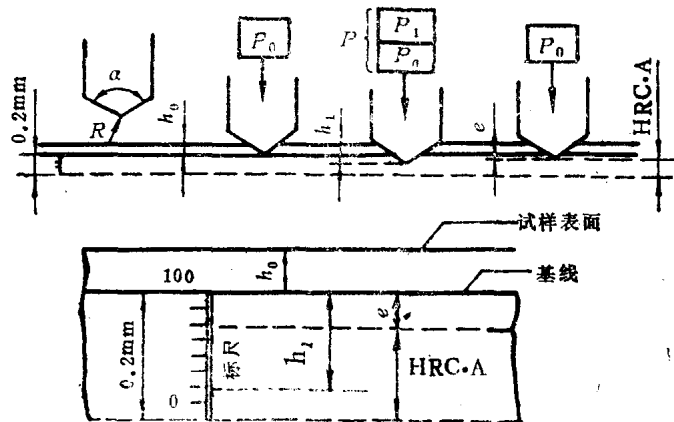


图 1.4 用金刚石圆锥体(HRA·HRC)试验示意图

1.1.4.2 洛氏硬度

当金属材料的布氏硬度大于 450HBS (或650HBW) 时, 因材料较硬, 在测定硬度时, 可能使压头钢球 (或硬质合金球) 变形, 影响试验的准确性。故对于较硬材料的硬度测定多采用洛氏硬度试验法。

洛氏硬度的试验原理如下: 在初负荷 P_0 及总负荷 P 分别作用下, 将压头 (金刚石圆锥体或钢球) 压入试样表面, 然后卸除主负荷 P_1 , 在初负荷下用测量的 e 值计算洛氏硬度。 e 为卸除主负荷后, 在初负荷下的压痕深度残余增量, 它是用 0.002mm 为单位表示的 (图 1.4)。从图中可以看出, 金属材料越硬, e 越小; 金属材料越软, e 越大。

洛氏硬度试验为了适应测定不同硬度的金属材料, 采用了不同的压头和总负荷。因此, 洛氏硬度有以下三种标尺的硬度值, 即:

A 标尺硬度值 = $100 - e$ 用符号 HRA 表示;

C 标尺硬度值 = $100 - e$ 用符号 HRC 表示;

B 标尺硬度值 = $130 - e$ 用符号 HRB 表示。

各种标尺的洛氏硬度试验规范和应用范围见表 1.1, 详细试验方法可参考《GB230—83 金属洛氏硬度试验方法》。

表 1.1 洛氏硬度试验规范及应用范围

标 尺	压头类型	初负荷 F_0 N(kgf)	主负荷 F_1 N(kgf)	测量范围	应用 举 例
HRC	120° 金刚石圆锥体	98.1(10)	1373(140)	20~67	淬火钢、淬火和回火钢。
HRB	φ1.588mm 钢球	98.1(10)	882.6(90)	25~100	退火钢、铜、铝及合金。
HRA	120° 金刚圆锥体	98.1(10)	490.3(50)	60~85	碳化物、硬质合金, 表面淬火钢及化学热处理的钢件。

洛氏硬度试验结果的表示方法如下: 洛氏硬度值用符号 HR 表示, 符号后面用字母表示所用的标尺, 字母后面的数字表示硬度值。例如: HRC60 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。

洛氏硬度测定方法简便迅速, 试验数据可以直接从表盘上读出。生产上主要用于测定淬火钢件及工具的硬度。试验时因留下的压痕小, 可直接在工件上进行测定, 因此洛氏硬度试验在热处理中应用较广。但是, 对于某些组织不匀的材料 (如铸铁及轴承合金等), 由于压痕小, 代表性不足, 同时影响洛氏硬度准确性的因素也较多, 故测出的硬度值不够准确。

1.1.4.3 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上与布氏硬度试验相同, 也是根据压痕单位面积上的负荷来计算硬度值。维氏硬度的试验原理如图 1.5 所示, 将一个相对面夹角为 136° 的四棱锥体金刚石压头以选定的试验力压入试样表面, 经规定保持时间后, 卸除试验力, 测量压痕两对角线长度。维氏硬度值是试验力除以压痕

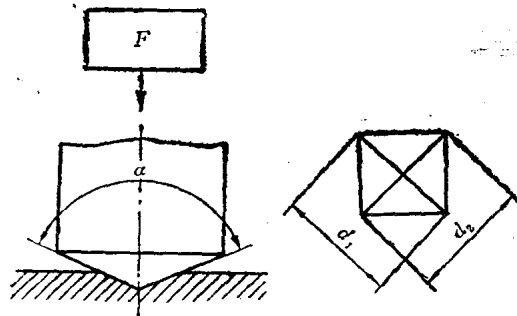


图 1.5 维氏硬度试验原理

表面所得的商。试验力用N作单位，计算公式为：

$$HV = 0.102 \frac{2F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中：HV——维氏硬度符号，单位不予标出；

F ——试验力。单位：N；

d ——压痕两对角线 d_1 和 d_2 的算术平均值。单位：mm。

维氏硬度试验时，硬度值不需计算，只要测出压痕两对角线的算术平均值 d ，根据 d 的大小可查表得出维氏硬度值。

维氏硬度的表示方法如下：维氏硬度用符号HV表示，HV前面为硬度值，HV后面按以下顺序用数值表示试验条件：（1）试验力；（2）试验力保持时间（10~15秒不标注）。例如：640HV30表示用294.2N试验力保持10~15秒测定的维氏硬度值为640。

维氏硬度试验的优点是试验力的变化范围较广，为49.03~980.7N；在同一压头下，可测的硬度范围较宽，为5~1000HV，既可测软的材料（如巴氏合金），也可测硬的材料（如硬质合金）；压痕为正方形，轮廓清晰，对角线测量精度高，试验结果精确度较高；试验的压痕浅，可测小而薄的试样和渗碳层、渗氮层等薄表面层的硬度。生产、科研上用的显微维氏硬度试验和小负荷维氏硬度试验，其原理与维氏硬度试验相同，只是试验力的范围不一样。维氏硬度试验的缺点是操作繁琐，故生产上一般多用洛氏硬度或布氏硬度试验的方法测定金属的硬度。

以上几种硬度试验方法测定的硬度值，相互进行比较时，没有换算公式，但可查对照表。当测出一种硬度值后，从对照表中可以查出其他硬度值（参见附录II）。

硬度试验是检查毛坯或成品机械性能的重要指标之一。一般在零件图上，作为零件的技术要求，标注出所要求的硬度范围。例如：一般刀具、量具的硬度要求为HRC60~63；一般零件的硬度要求为HRC25~40；弹簧或弹性零件的硬度要求为HRC40~48。

1.1.5 冲击韧性

有些机器零件在工作时，如齿轮换挡、车辆起动、刹车等，往往受到冲击负荷的作用；还有一些机器，如锻锤、冲床、凿岩机、气动春砂锤等，它们本身就是利用冲击能量来工作的。金属材料抵抗冲击负荷的能力称为冲击韧性。下面介绍两种评定冲击负荷作用下金属材料性能的方法。

1.1.5.1 一次摆锤冲击

一次摆锤冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的（图1.6）。它是以一定形状和尺寸的金属试样，在一次冲击负荷作用下，折断时所吸收的功 A_{KU} （或 A_{KV} ），或冲击吸收功除以试样缺口底部处横截面面积所得的商 α_{KU} （或 α_{KV} ）表示冲击韧性。

即：
$$\alpha_{KV}(\alpha_{KU}) = \frac{A_{KV}(A_{KU})}{S}$$

式中： $\alpha_{KU}(\alpha_{KV})$ ——冲击韧性值，单位：J/cm²（或kgf·m/cm²）；

$A_{KU}(A_{KV})$ ——冲击吸收功，单位：J（或kgf·m）；

S ——试样缺口底部处横截面积。单位：cm²。

按国家标准（GB229—84和GB2106—80）规定，冲击试验标准试样有U型或V型缺口

两种，分别称为夏比U型缺口试样和夏比V型缺口试样，试验所测得的结果，前者的冲击吸

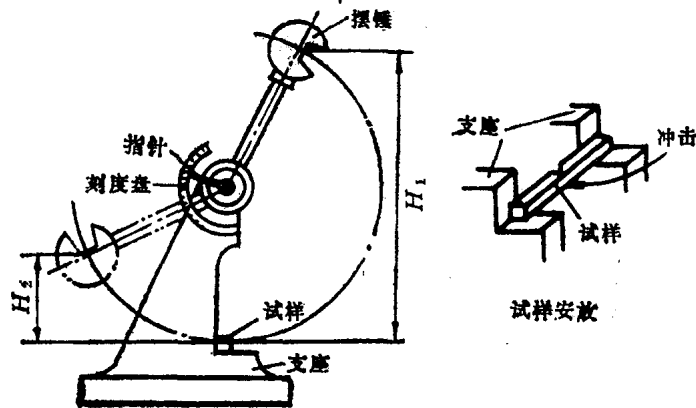


图 1.6 冲击试验原理

收功用 A_{KU} ，冲击韧性值用 α_{KU} 表示，后者的冲击吸收功用 A_{KV} ，冲击韧性值用 α_{KV} 表示。

冲击试验是传统的力学性能试验，这种试验通过一次冲击施加过载应力而显示试样缺口特性（韧性或脆性）。虽然试验中测定的冲击吸收功 A_{KU} (A_{KV}) 或冲击韧性值 α_{KU} (α_{KV})，并不能直接用于工程计算，但是它们对金属材料的组织结构、冶金缺陷反映敏感，对测定钢材的缺口敏感性尤其有用。冲击试验除用于检验金属材料的冷脆、热脆、回火脆性外，还用于选材、质量控制、以及新金属材料开发研究等方面；在零件设计时还作为保证安全性的指标。

1.1.5.2 小能量多次冲击

生产上不少承受冲击负荷的机器零件，如内燃机曲轴连杆、凿岩机活塞、锤杆等，并不是一次或几次冲击就破坏，所承受的冲击能量也远小于一次冲击断裂的能量，实际上是一种小能量多次重复冲击。以前对上述这些机器零件，在设计和选材时，除了计算强度和刚度外，还过分强调 A_{KU} (A_{KV}) 或 α_{KU} (α_{KV}) 值。经生产实践证明，这样反而造成了材料的浪费。生产上应用多次冲击抗力理论，通过改变选材，调整热处理工艺，提高材料的强度，使这些零件的使用寿命成倍地提高。

根据小能量多次冲击试验研究表明：多次冲击抗力是一个取决于金属材料强度和塑性的综合机械性能。图1.7是45钢和T8钢的多次冲击试验结果，A-N曲线。从图中看出：材料承受多次冲击负荷时，当冲击能量较大时，强度低而塑性高的材料（如45钢）比强度高而塑性低的材料（T8钢）在

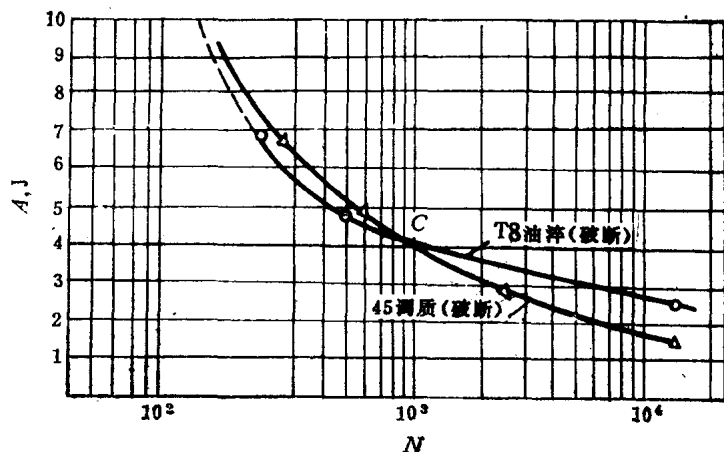


图 1.7 45和T8钢的A-N曲线

断裂前有较高的冲击周次；相反，当冲击能量较小时，T8钢比45钢有较高的冲击周次。这说明：在小能量多次冲击负荷下，材料的多次冲击抗力主要取决于材料的强度，而塑性和冲击韧性并不要求很高。当然，对于不同的材料，应根据承受冲击能量的大小，测出强度与塑性和冲击韧性相匹配的最佳值。

由上可知，对于承受小能量多次冲击的机器零件，对材料要求高的强度，又要求过高的塑性和冲击韧性，并不能提高零件的寿命，相反却因牺牲了强度，不能发挥材料的潜力，反而会降低零件的寿命。

1.1.6 疲劳强度

金属材料在重复或交变负荷（图1.8）的作用下，循环一定周次 N_i 后，断裂时所能承受的最大应力称为疲劳强度。材料的疲劳强度是通过各种条件下的疲劳试验确定的。对称应力循环下的疲劳极限通常是在旋转弯曲疲劳试验机上用光滑试样测定，具体试验方法可参考《GB4337—84金属旋转弯曲疲劳试验法》。其试验结果可绘成 $\sigma-N$ 疲劳曲线（图1.9），曲线的纵坐标表示最大的交变应力（ σ_{max} ），横坐标表示试样断裂前的循环周次。从图中可以

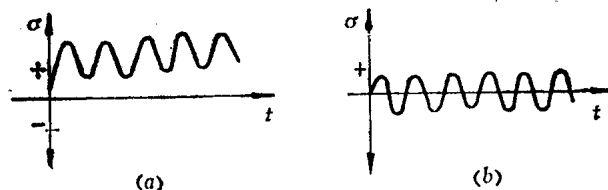


图 1.8 变动负荷示意图
(a) 重复变化负荷 (b) 交变负荷

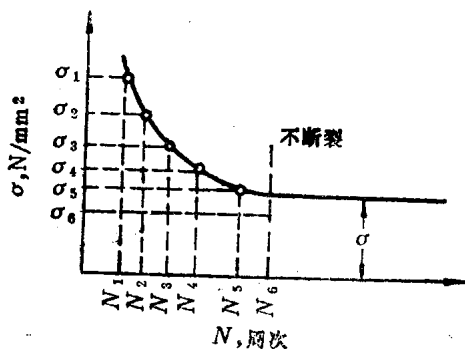


图 1.9 $\sigma-N$ 疲劳曲线

看出，试样所受的交变应力 σ_{max} 愈大，断裂前的循环周次愈少。当应力 σ_{max} 低于某一数值时，循环周次将无限增加，材料可以经受无限次应力循环而不发生疲劳断裂，疲劳曲线上水平部分对应的应力，即为材料的疲劳极限。所以疲劳极限是材料能经受无限次应力循环而不发生疲劳断裂的最大应力，若是对称应力循环旋转弯曲的疲劳极限，用 σ_{-1} 表示。有些金属材料的疲劳曲线常无明显的水平部分，所以试验是根据零件的工作条件和使用寿命，规定一个疲劳极限循环基数 N_0 ，以循环基数对应的应力作为“条件疲劳极限”。一般规定：铸铁， $N_0 = 10^7$ 次；有色金属， $N_0 = 10^8$ 次；腐蚀疲劳时， $N_0 = 10^6$ 次。

试验表明：材料的抗拉强度愈高，疲劳极限愈大。疲劳极限与抗拉强度之间，可进行近似估算。对于中、低强度钢，疲劳极限与抗拉强度之间大体呈线性关系，可近似地写成： $\sigma_{-1} = 0.5\sigma_s$ 。而较高强度的结构钢，可用经验公式 $\sigma_{-1} = 0.27(\sigma_s + \sigma_b)$ 进行计算。

材料的疲劳极限是材料机械性能中的一个重要性能。凡承受交变负荷的机器零件在设计时需用疲劳极限进行强度计算。在断裂的零件中，绝大多数是交变负荷下工作的，如发动机的曲轴，各种机器的主轴、齿轮、弹簧、涡轮机叶片等。它们的主要破坏形式是疲劳断裂，而且疲劳断裂中大多数是突然发生的，通常所承受的应力也小于材料的屈服强度。因此，疲

劳断裂具有很大的危险性。

材料的疲劳极限是材料性能中最敏感的性能之一。受各种内因和外因的影响。例如工作时的负荷性质、环境温度和介质；零件的几何尺寸、表面加工的质量及处理；材料的化学成分、内部组织及缺陷等，都显著地影响疲劳极限。为了提高机械零件的疲劳强度，除了根据强度要求正确选材外，合理地设计零件的结构形状，避免应力集中，提高零件的表面质量，避免各种损伤，以及采用表面淬火、化学热处理、喷丸处理等表面强化方法，都能不同程度地提高抗疲劳断裂的能力。

1.1.7 断裂韧性

金属材料抵抗裂纹扩展断裂的韧性性能称为断裂韧性。断裂韧性与其他韧性一样，综合地反映了材料的强度和塑性。

按传统力学方法对零件进行强度设计时，以材料的屈服强度为依据，运用强度储备法确定零件的许用应力和工作应力。照此设计的零件，一般认为是安全可靠的。但是，一些用高强度钢和超高强度钢制造的零件，以及中、低强度钢制造的大型零件，在工作应力低于屈服强度的条件下，有时发生脆性断裂。这种在屈服强度以下产生的脆性断裂称为低应力脆断。

大量断裂事故分析表明：零件的低应力脆断是由宏观裂纹失稳扩展引起的。为了防止低应力脆断事故的发生，在选用材料时，应根据材料的断裂韧性指标，对零件允许的工作应力和裂纹尺寸进行定量计算，提出明确的数据要求。最常用的是应力场强度分析方法，它是考虑裂纹尖端附近的应力场强度，得到相应的断裂判据——断裂韧性指标 K_{Ic} ，其计算公式如下：

$$K_{Ic} = Y \sigma_c \sqrt{a} \quad (\text{N/mm}^{3/2})$$

式中： K_{Ic} ——为平面应变下的断裂韧性。

Y ——一个和裂纹形状、加载方式，零件几何形状有关的量，无单位。

σ_c ——外加应力，单位： N/mm^2

a ——裂纹的尺寸，单位： mm

K_{Ic} 是衡量材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。 K_{Ic} 是材料本身的特性，只和材料的成分、组织结构有关，而与裂纹的大小、形状无关，也和外加载荷及试样尺寸无关。

当材料的 K_{Ic} 值较大时，则裂纹体的断裂应力或临界裂纹尺寸就越大，抵抗裂纹失稳扩展的阻力就愈大，材料则难以发生低应力脆断。

1.2 金属材料的其他性能

1.2.1 物理性能

金属材料的物理性能，有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、磁性等。

金属材料密度大于 5 的称为重金属，小于 5 的称为轻金属。对于某些工业部门（如航空），密度对产品的重量具有重要的意义。

金属材料的熔点影响到材料的使用和制造工艺。例如，电阻丝、锅炉零件、燃气轮机的喷嘴等，要求材料有高的熔点，保险丝则要求熔点低。在制造工艺上，熔点低的共晶合金，流动性好，便于铸造成形。

金属材料的热膨胀性主要是指它的线膨胀系数。热膨胀性会带来零件的变形、开裂及改