



工程材料及热处理

● 主编 强小虎

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工程材料及热处理

主 编 强小虎

副主编 罗利强 胡星华

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

全书包括 10 章内容, 分别为: 材料的力学性能, 金属材料基础知识, 二元合金相图, 钢的热处理, 合金钢, 铸铁, 有色金属及粉末冶金材料, 非金属材料, 机械零件的选择, 典型零件及工具的选材分析。本书既可作为高等院校机电、冶金、机械等专业的教学用书, 也可以作为相关技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料及热处理 / 强小虎主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-5682-4379-7

I. ①工… II. ①强… III. ①工程材料-高等学校-教材②热处理-高等学校-教材
IV. ①TB3②TG15 .4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 172158 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 270 千字

版 次 / 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 赵 岩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前 言

P R E F A C E

“工程材料与热处理”是机电、冶金、机械等专业的重要专业基础课程，本教材从实用角度出发，培养学生掌握金属材料的组织结构和机械性能，正确选择工程材料、合理制定金属材料的热处理工艺及热处理方法，建立起金属材料工程应用的能力，并熟悉金属材料和复合材料的发展及应用。

本书注重学生的认知能力、应用能力及创新能力的培养，具有理论性和实践性很强的特点，全书包括 10 章内容，分别为：材料的力学性能，金属材料基础知识，二元合金相图，钢的热处理，合金钢，铸铁，有色金属及粉末冶金材料，非金属材料，机械零件的选择，典型零件及工具的选材分析。

本书既可作为高等院校机电、冶金、机械等专业的教学用书，也可以作为相关技术人员的参考用书。

本书由兰州交通大学强小虎主编，由罗利强、胡星华担任副主编。其中强小虎编写第 1~6 章，罗利强编写第 7、8 章，胡星华编写第 9、10 章，全书由强小虎统稿。

由于作者的水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者



目 录

C O N T E N T S

第 1 章 材料的力学性能

第 1 节 概述	001
第 2 节 材料的力学性能指标	001
一、强度和塑性	001
二、硬度指标	004
三、韧性指标	006
四、材料的疲劳强度（疲劳极限）	007

第 2 章 金属材料基础知识

第 1 节 金属的理想晶体结构	010
一、晶体与非晶体	010
二、晶体结构的基本概念	011
三、常见的金属晶格类型	012
第 2 节 金属晶体的实际构造	013
一、实际金属的多晶体组织特征	013
二、实际金属在构造上存在的缺陷	013
第 3 节 纯金属的结晶过程	015
一、纯金属的结晶过程及规律	015
二、晶核的生成与长大	017
三、金属凝固后晶粒大小及控制	018
第 4 节 铸锭组织	018
一、表面细晶粒层	019
二、柱状晶粒层	019
三、中心等轴晶粒层	019

第3章 二元合金相图

第1节 合金的结构和组织	021
一、合金的“相”	021
二、合金相结构的类型	022
三、合金的组织类型	024
第2节 二元合金相图	024
一、合金的结晶特点及相图概念	024
二、二元合金相图的建立及识读	025
三、几种典型的二元合金相图	027
第3节 合金的性能与相图之间关系	029
一、合金使用性能与相图的关系	029
二、合金铸造性能与相图关系	029
三、热处理可能性与合金相图关系	030
第4节 铁碳合金相图	031
一、Fe-Fe ₃ C 相图分析	031
二、典型铁碳合金的结晶过程分析	034
三、铁碳合金的成分—平衡组织—性能之间的关系	039
四、铁碳相图的应用	041
第5节 碳钢	042
一、常存杂质元素对碳钢性能的影响	043
二、碳钢的分类	043
三、碳钢的编号、性能和用途	044

第4章 钢的热处理

第1节 钢在加热时的组织转变	052
一、奥氏体的形成	053
二、奥氏体晶粒大小及影响因素	053
第2节 钢在冷却时的组织转变	053
一、过冷奥氏体的等温冷却转变	054
二、过冷奥氏体的连续转变	056
第3节 钢的热处理工艺	057
一、钢的退火和正火	057
二、钢的淬火	059

三、钢的回火·····	062
第4节 钢的表面热处理 ·····	064
一、钢的表面淬火·····	064
二、钢的化学热处理·····	066
第5节 其他热处理工艺简介 ·····	069
一、可控气氛热处理·····	069
二、真空热处理·····	069
三、形变热处理·····	069
四、激光热处理·····	070
第6节 热处理零件的结构工艺性 ·····	070
一、常见热处理缺陷·····	070
二、热处理零件的结构工艺性·····	071

第5章 合金钢

第1节 概述 ·····	076
一、合金钢的分类·····	076
二、合金钢的编号·····	076
第2节 合金元素在钢中的作用 ·····	077
一、合金元素在钢中的存在形式·····	077
二、合金元素对 Fe ₃ C 相图的影响·····	077
三、合金元素对钢的性能的影响·····	078
第3节 合金结构钢 ·····	082
一、低合金结构钢·····	082
二、合金渗碳钢·····	083
三、合金调质钢·····	083
四、合金弹簧钢·····	084
五、滚动轴承钢·····	085
六、超高强度钢·····	086
第4节 合金工具钢 ·····	087
一、合金刃具钢·····	087
二、合金模具钢·····	090
第5节 特殊性能钢 ·····	093
一、不锈钢·····	093
二、耐热钢·····	094

第6章 铸 铁

第1节 铸铁的石墨化	099
一、铁碳合金双重相图	099
二、铸铁的石墨化	101
三、影响石墨化的因素	101
第2节 灰铸铁	102
一、灰铸铁的成分、组织和性能	102
二、灰铸铁的孕育处理	103
三、灰铸铁的牌号与应用	104
四、灰铸铁的热处理	105
第3节 球墨铸铁	106
一、球墨铸铁的生产工艺	106
二、球墨铸铁的成分、组织和性能	106
三、球墨铸铁的牌号与应用	108
四、球墨铸铁的热处理	108
第4节 其他铸铁	110
一、可锻铸铁	110
二、蠕墨铸铁	111
三、合金铸铁	112

第7章 有色金属及粉末冶金材料

第1节 铝及铝合金	115
一、铝及铝合金的性能特点	116
二、工业纯铝	116
三、铝合金	116
第2节 铜及铜合金	120
一、工业纯铜	121
二、铜合金	121
第3节 轴承合金	125
一、滑动轴承的性能与组织特征	125
二、常用轴承合金、牌号及应用	126
第4节 粉末冶金材料	127
一、硬质合金	127

二、粉末冶金减摩材料·····	129
三、粉末冶金摩擦材料·····	130
四、粉末冶金铁基结构材料·····	130

第 8 章 非金属材料

第 1 节 高分子材料·····	132
一、工程塑料·····	132
二、橡胶·····	136
第 2 节 陶瓷材料·····	139
第 3 节 复合材料·····	141

第 9 章 机械零件的选择

第 1 节 机械零件的失效与分析·····	144
一、零件的失效·····	144
二、零件的失效分析·····	144
第 2 节 工程材料选择的基本原则·····	147
一、选材的力学性能原则·····	148
二、选材的工艺性能原则·····	149
三、选材的经济性原则·····	149

第 10 章 典型零件及工具的选材分析

第 1 节 典型零件及工具的选材·····	151
一、机械零件选材的基本过程·····	151
二、典型零件的选材及工艺路线分析·····	151
三、典型工具的选材及工艺路线分析·····	155
第 2 节 工程材料的应用举例·····	159
一、汽车零件用材·····	159
二、机床零件用材·····	160
三、仪器仪表用材·····	161

附 录

附录一 《工程材料与热处理》实验指导书	164
实验一 布氏硬度试验	164
实验二 洛氏硬度试验	167
实验三 金相实验	170
附录二 硬度换算表	172

第1章

材料的力学性能

第1节 概述

为研究材料的成分、组织、性能之间的关系，合理选择和使用材料，应首先了解材料的各种性能。

材料的性能分使用性能和工艺性能两种。使用性能是指材料在使用时所表现出的各种性能，它包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、磁性、热膨胀性等），化学性能（如耐蚀性、抗氧化性等）和力学性能（如强度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度等）。工艺性能是指材料在加工制造时所表现出的性能，根据制造工艺的不同，分为铸造性、可锻性、焊接性、热处理性能及切削加工性等。由于机械零件的用途不同，对材料性能的要求也有所不同。如设计电机、电器零件时要考虑材料的导电性，设计化工设备、医疗器械时要考虑材料的耐蚀性。大量的机械零件主要是在受力情况下工作的，因此选材时应首先考虑材料的力学性能。

每种材料的性能各不相同，为了在设计和制造机械零件时，比较和选用材料，对材料的各种性能常采用一定的指标作为评定标准，并定出统一的测试方法来测定各种性能指标。

第2节 材料的力学性能指标

材料的力学性能是材料抵抗外力作用的能力，常用的力学性能指标有强度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。

一、强度和塑性

强度是材料抵抗变形和断裂的能力，塑性是材料产生塑性变形而又不被破坏的性能，它们是通过拉伸试验来测定的。拉伸试验能测出材料的静载荷（指缓慢增加的载荷）作用下的一系列基本性能指标，如弹性极限、屈服强度、抗拉强度和塑性等。进行拉伸试验时，先将材料加工成一定形状和尺寸的标准试样，如图1-1所示。然后在拉伸试验机上将试样夹紧，施加缓慢增加的拉力（载荷），一直到试样被拉断为止。在此过程中，试验机能自动绘制出载荷 F 和试样变形量 Δl 的关系曲线，此曲线叫做拉伸曲线。

图1-2为低碳钢的拉伸曲线，图中的纵坐标是载荷 F ，单位为N（牛顿）；横坐标是伸长量 Δl ，单位为mm（毫米）。由图可见，当试样由零开始受载荷到 F_0 点以前，试样只产生

弹性变形。此时去掉载荷，试样能恢复原来的形状。当载荷超过 F_e 点后，试样开始塑性变形，此时去掉载荷，试样已不能完全恢复原状，而出现一部分残留伸长。载荷消失后不能恢复的变形称为塑性（或永久）变形。当载荷达到 F_s 点时，图上出现水平线段，这表示载荷虽然不增加，变形却继续增大，这种现象叫做屈服现象。此时若继续加大载荷，试样将发生明显变形伸长。当载荷增至 F_b 点时，试样最弱的某一部截面开始急剧缩小，出现缩颈现象。由于试样截面缩小，载荷逐渐降低，当到达 k 点时，试样便在缩颈处拉断。

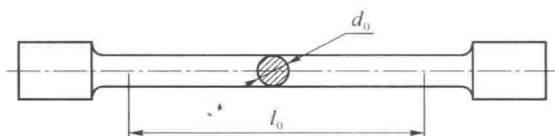


图 1-1 圆形拉伸试样

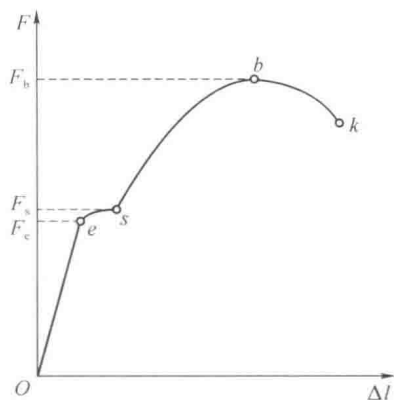


图 1-2 低碳钢拉伸曲线图

1. 强度指标

金属材料的强度指标有弹性极限、屈服点和强度极限，用应力表示。材料受到外力（载荷）作用时，在材料内部会产生一个与外力大小相等、方向相反的抵抗力（又称内力），单位面积上的内力称为应力，用符号 σ 表示。

1) 弹性极限

弹性极限（弹性强度）是材料所能承受的、不产生永久变形的最大应力，用符号 σ_e (MPa) 表示。

$$\sigma_e = F_e / S_0$$

式中 F_e ——试样不产生塑性变形的最大载荷 (N)；

S_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

2) 屈服点（屈服强度）

屈服点是材料开始产生明显塑性变形（即屈服）时的应力，用符号 σ_s (MPa) 表示。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷 (N)；

S_0 ——试样原始截面积 (mm^2)。

有些材料（如高碳钢）在拉伸曲线上没有明显的屈服现象，它的屈服点很难测定。在这种情况下，工程技术上把试样产生 0.2% 残留变形的应力值作为屈服点，又称条件屈服点，用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

机械零件在工作中一般不允许发生塑性变形，所以屈服点是衡量材料强度的重要力学性能指标，是设计和选材的主要依据之一。

3) 强度极限 (抗拉强度)

强度极限是材料在断裂前所能承受的最大应力, 用符号 σ_b (MPa) 表示。

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷 (N);

S_0 ——试样原始截面积 (mm)。

强度极限反映材料最大均匀变形的抗力, 是材料在拉伸条件下所能承受的最大载荷的应力值。它是设计和选材的主要依据, 也是衡量材料性能的主要指标。当机械零件工作中承受的应力大于材料的抗拉强度时, 零件就会产生断裂。所以 σ_b 表征材料抵抗断裂的能力。 σ_b 越大, 则材料的破断抗力越大。零件不可能在接近 σ_b 的应力状态下工作, 因为在这样大的应力下, 材料已经产生了大量的塑性变形, 但从保证零件不产生断裂的安全角度出发, 同时考虑测量 σ_b 最简便, 测得的数据比较准确 (特别是脆性材料), 所以有许多设计中直接用 σ_b 作为设计依据, 但要采用更大的安全系数。

4) 弹性模量 (刚度)

弹性模量 E 是指材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 即

$$E = \sigma / \varepsilon$$

式中 σ ——应力 (MPa);

ε ——应变, 即单位长度的伸长量 $\varepsilon = \Delta L / L_0$ 。

弹性模量 E 表征材料产生单位弹性变形所需要的应力, 反映了材料产生弹性变形的难易程度, 在工程上称为材料的刚度。弹性模量 E 值越大, 材料的刚度越大, 材料抵抗弹性变形的能力就越大。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下进行工作的, 对其刚度都有一定的要求。提高零件刚度的办法除改变零件的截面尺寸或结构外, 从金属材料性能上考虑, 就必须增加其弹性模量 E 。弹性模量 E 的大小, 主要取决于材料的本性, 而合金化、热处理、冷变形等对它的影响很小。通常过渡族金属如铁、镍等具有较高的弹性模量。所以从刚度出发, 选用一般的钢材即可, 不必选用合金钢。一些金属的弹性模量见表 1-1。

表 1-1 常用金属弹性模量

金属	E/MPa	G/MPa	金属	E/MPa	G/MPa
铝 (Al)	72 000	27 000	铁 (Fe)	214 000	84 000
铜 (Cu)	121 000	44 000	镍 (Ni)	121 000	84 000
银 (Ag)	80 000	27 000	钛 (Ti)	118 010	44 670

2. 塑性指标

塑性是反映材料在载荷 (外力) 作用下, 产生塑性变形而不发生破坏的能力。材料塑性的好坏, 用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来衡量。

伸长率 δ 是指试样拉断后的伸长量与试样原长度比值的百分数, 即

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm);

L_0 ——试样原来的标距长度 (mm)。

应当指出，在材料手册中常可以看到 δ_5 和 δ_{10} 两种符号，它分别表示用 $L_0 = 5d$ 和 $L_0 = 10d$ (d 为试棒直径) 两种不同长度试棒测定的伸长率。 L_1 是试棒的均匀伸长和产生细颈后伸长的总和，相对来说短试棒中细颈的伸长量所占的比例大。故同一材料所测得的 δ_5 和 δ_{10} 值是不同的， δ_5 的值较大，如钢材的 δ_5 大约为 δ_{10} 的 1.2 倍。所以相同符号的伸长率才能进行比较。

断面收缩率 ψ 是指试样拉断处的横截面积的收缩量与试样原横截面积之比的百分数，即

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中 S_1 ——试样拉断处的最小横截面积 (mm²)；

S_0 ——试样原横截面积 (mm²)。

断面收缩率不受试棒标距长度的影响，因此能更可靠地反映材料的塑性。

材料的伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大，则材料的塑性越好。由于断面收缩率比伸长率能更真实地反映材料的塑性，所以用断面收缩率比伸长率更为合理。

塑性是材料很重要的性能之一，它反映了材料的变形工艺性，塑性好的材料，易于冲压、拉深、冷弯、成形等。在零件设计时，往往要求材料具有一定的塑性，零件使用过程中偶然过载时，由于能发生一定的塑性变形而不至于突然破坏。同时，在零件的应力集中处，塑性能起着削减应力峰（即局部的最大应力）的作用，从而使得零件不至于早期断裂，这就是大多数零件除要求高强度外，还要求具有一定塑性的原因。但塑性指标不能直接用于设计计算，选材的塑性要求一般是根据经验。

二、硬度指标

硬度是指材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。它反映了材料局部的塑性变形抗力，硬度愈高，材料抵抗塑性变形的抗力愈大，塑性变形愈困难。因此，硬度指标和强度指标之间有一定的对应关系。

硬度试验的方法简单方便，又无损于零件，因此在生产和科研中得到普遍应用。

硬度也是材料重要的力学性能指标。常用的硬度有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度是用布氏硬度计测定的。其原理是在一定载荷的作用下，将一定直径的淬火钢球（或硬质合金钢圆球）压入材料表面，并保持载荷至规定的时间后卸载，然后测得压痕的直径，根据所用载荷的大小和所得压痕面积，算出压痕表面所承受的平均应力值。这个应力值就是布氏硬度。布氏硬度用符号 HBS（或 HBW）表示，即

$$\text{布氏硬度} = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——载荷 (kgf^①)；

S ——压痕凹印表面积 (mm²)；

D ——钢球直径 (mm)；

d ——压痕直径 (mm)。

若 F 的单位为 N， D 、 d 单位为 mm，则

① 1 kgf = 9.806 65 N。

$$\text{布氏硬度 (MPa)} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

国标 (GB 231—1984 “金属布氏硬度试验方法”) 规定, 布氏硬度值在 450 以下用淬火钢球压头, 用 HBS 表示, 硬度值在 450 以上 (含 450) 选用硬质合金钢球压头, 并用 HBW 表示, 硬度试验原理示意图如图 1-3 所示。

在进行硬度试验时, 钢球直径 D 、施加载荷 F 与载荷保持时间, 应根据测试材料的种类和硬度范围, 按照表 1-2 布氏硬度试验规范进行选择。

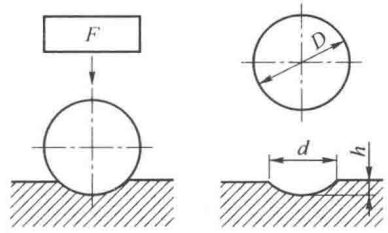


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

表 1-2 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度使用范围	球直径 D/mm	F/D^2 ($0.102F/D^2$)	实验载荷 $F/\text{kgf (N)}$	实验载荷保持时间 t/s	其他
钢, 铸铁	≥ 140	10	30	3 000 (29 420)	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍, 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍。
		5		750 (7 355)		
		2.5		187.5 (1 839)		
	<140	10	10	1 000 (9 807)	10~15	
		5		250 (2 452)		
		2.5		62.5 (612.9)		
铜及铜合金	≥ 130	10	30	3 000 (29 420)	30	
		5		750 (7 355)		
		2.5		187.5 (1 839)		
	35~100	10	10	1 000 (9 807)	30	
		5		250 (2 452)		
		2.5		62.5 (612.9)		
轻金属及其合金	<35	10	2.5	250 (2 452)	60	
		5		62.5 (612.9)		
		2.5		15.625 (153.2)		

注: 1. 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹。
2. 括号中的数字单位为 N。

试验后只要用放大镜测得压痕直径, 便可直接查表得到布氏硬度值。标注时只需标注其符号和数值而不标注单位, 如 200 HBS、400 HBS 等。

布氏硬度的优点是测量的数据较准确, 此外还可以根据布氏硬度近似地估算出金属材料的强度极限, 其经验换算关系为:

低碳钢 $\sigma_b = 0.36 \text{ HBS}$; 高碳钢 $\sigma_b = 0.34 \text{ HBS}$; 调质合金钢 $\sigma_b = 0.325 \text{ HBS}$; 灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.1 \text{ HBS}$ 。

布氏硬度常用于测量退火、正火、调质钢件和铸铁及有色金属的硬度，其缺点是压痕较大，易损坏成品表面和不能测量较薄的试样。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的钢球作为压头，载荷分两次施加（初载荷为 100 N ）的硬度试验法。洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。其硬度值是以压痕深度 h 来衡量，但如果直接用压痕深度来计量指标，则会出现材料越硬，压痕的深度

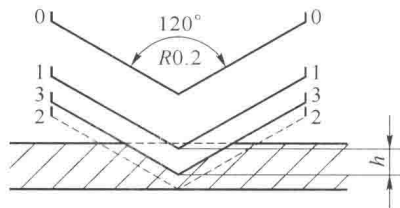


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

愈小，硬度读数越小的状况，这与通常习惯的表示方法相矛盾。因此，洛氏硬度采用某个选定的常数 k 减去压痕深度值 h ，并规定压痕深度 0.002 mm 为 1° ，则

$$\text{洛氏硬度} = k - h / 0.002$$

此值在硬度计上可直接读出。根据所用压头种类和所加载荷的不同，洛氏硬度分为 HRA、HRB、HRC 三种级别。三种级别的试验范围见表 1-3。

表 1-3 常用的三种洛氏硬度试验范围

符号	压头	总负荷/N	硬度值有效范围	使用范围
HRA	120° 金刚石圆锥	588	60~85HRA	测量硬质合金，表面淬硬层或渗碳层
HRB	$\frac{1}{16}$ " 钢球	980	25~100HRB	测量有色金属或退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥	1470	20~67 HRC	测量调质钢、淬火钢等

洛氏硬度操作简便、压痕小，不损伤工件表面，可以测量从较软到较硬的厚度较薄曲面积较小的材料的硬度，故洛氏硬度广泛应用于工厂热处理车间的质量检验。

3. 维氏硬度

维氏硬度用符号 HV 表示，它的测定原理基本上和布氏硬度的相同，根据压痕单位面积上所承受的载荷大小来测量硬度值，不同的是维氏硬度采用锥面夹角 136° 的金刚石四棱锥体作为压头。它适用于测量零件表面硬化层及经化学热处理的表面层（如渗氮层）的硬度。

此外，还有其他类型的硬度试验方法，例如测定大而笨的零件的硬度，常用弹性回跳法的肖氏硬度试验方法来测定，其硬度值称为肖氏硬度，用符号 HS 表示。

三、韧性指标

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性，其大小用冲击韧度表示，可用一次冲击试验法来测定。将材料首先制成标准试样，放在冲击试验机的支座上，试样的缺口背向摆锤的冲击方向，如图 1-5 (a) 所示。将摆锤举到一定高度，如图 1-5 (b) 所示，让摆锤自由落下，冲击试样。这时，试验机表盘上指针即指出试样折断时所吸收的功 A_{ku} ， A_{ku} 值即代表材料冲击韧度的高低。但习惯是采用冲击韧度值 α_{ku} 来表示材料的冲击韧性。冲击韧度值是用击断试样所吸收的功除以试样缺口处的截面积表示。即

$$\alpha_{ku} = A_{ku} / S$$

式中 α_{ku} ——冲击韧度值 (J/cm^2)；

A_{ku} ——试样折断时所吸收的功 (J)；

S ——试样缺口处的截面积 (cm^2)。

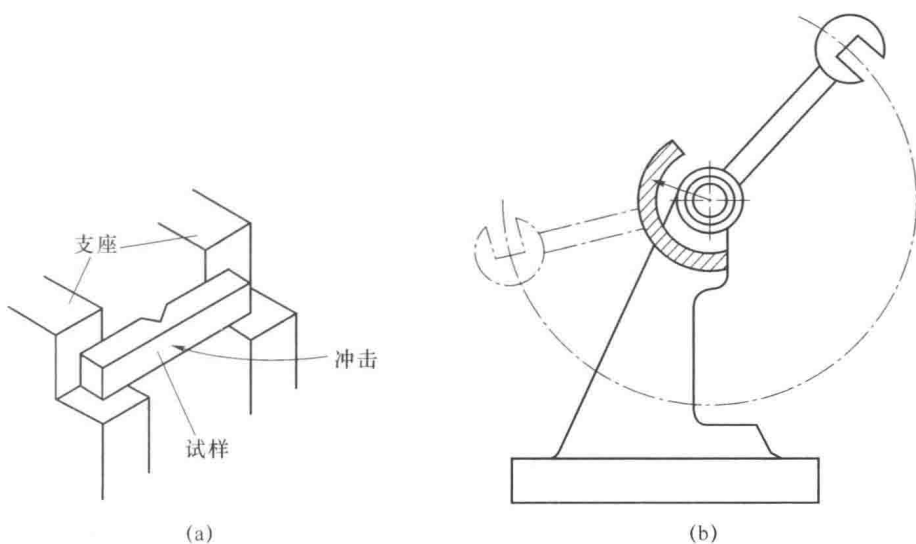


图 1-5 摆锤式冲击试验原理示意图

(a) 试样安放位置；(b) 摆锤式冲击试验机

冲击韧度值与试验的温度有关，有些材料在室温时并不显示脆性，而在较低温度下则可能发生脆断。为了确定材料（特别是低温使用的材料）由塑性状态向脆性状态转化的倾向，可在不同温度下测定冲击韧度值，并绘制成曲线，如图 1-6 所示。由图可见， α_{ku}

值随温度的降低而减小。在某一温度范围时， α_{ku} 值突然下降。冲击韧度值发生突然下降时所对应的温度范围称为材料的脆性转变温度范围（又称冷脆转变温度）。此温度越低，材料的低温冲击韧性越好。在低温和严寒地区工作的构件（如储气罐、船体、桥梁、输送管道等）或零件，要对脆性转化温度及在最低使用温度下应具有

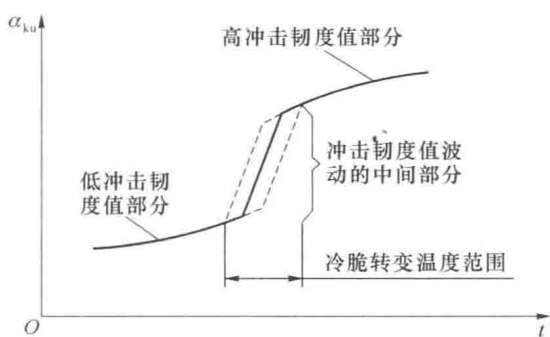


图 1-6 温度对冲击韧度的影响

的最低韧性值做出规定。

冲击韧度值还与试样的尺寸、形状、表面粗糙度、内部组织等有关。因此，冲击韧度值一般只作为选择材料的参考。

一次冲击试验测定的冲击韧度，是判断材料在大能量冲击下的性能数据，而实际工作中的零件很多只承受小能量多次冲击。对于承受多次冲击的零件，如果冲击能量低、冲击次数较多，材料多冲抗力主要取决于材料的强度；如果冲击能量较高时，材料的多冲抗力主要取决于材料的塑性。

四、材料的疲劳强度（疲劳极限）

某些机械零件在工作时要承受交变载荷，其应力大小、方向是周期性变化的，如轴、齿