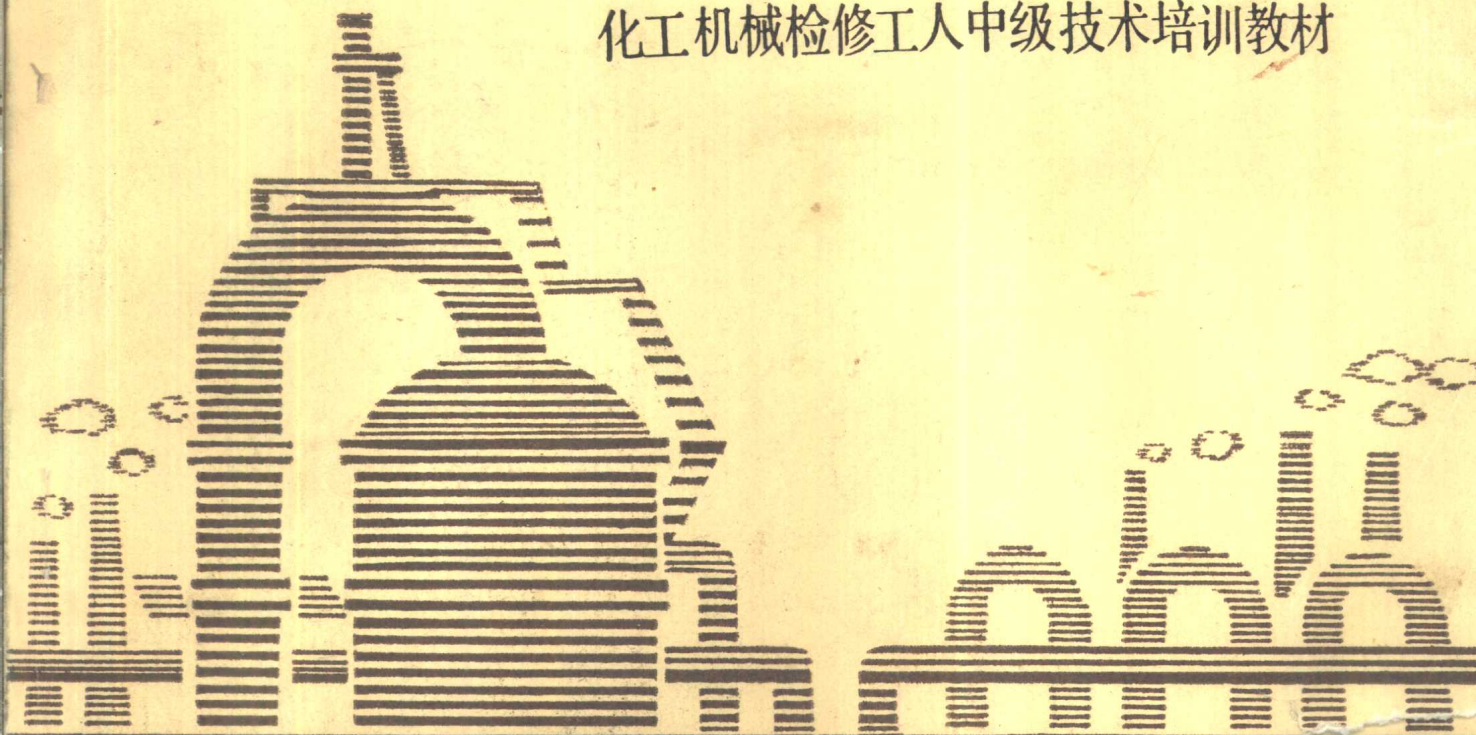


化工机械检修工人中级技术培训教材



# 金属工艺基础

胡开宇 主编

成都科技大学出版社

# 金属工艺基础

胡开宇 主编

成都科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据1986年化工部中级技术工人培训教材编审会审定的教学大纲编写而成。

全书共分二篇，总计十一章。内容包括：金属材料及热处理、金属材料的防护、非金属材料、机械零件毛坯制造、金属切削加工、机械加工工艺流程、机械零件制造质量分析及装配等基础知识，内含插图190多幅。全书内容丰富，取材适当，知识覆盖面较宽，叙述和分析简明扼要，各章后面均附有复习题。

本书除作为化工机械检修及制造中级技工培训教材外，也可作为其他相近专业技工的培训教材。

## 金 属 工 艺 基 础

胡开宇 主编

---

成都科技大学出版社出版、发行

四川省新华书店经销

四川省简阳县美术印制厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：11.5 插页：1

1988年2月第1版

1988年2月第1次印刷

印数：1—10,000

字数：260千字

---

ISBN7-5616-0125-5/TG·3

定 价：3.20元

# 前 言

对广大工人进行比较系统的技术理论培训是一项战略任务。开展这项工作，教材是个关键。为了统一培训目标及教学内容，逐步建立起比较正规的工人技术教育制度，我们在全国化工技术培训教材编委会的领导下，根据化工部颁发的《化工检修工人中级技术等级标准》和《化工机械检修工人中级技术理论培训教学大纲》，组织编写了化工机械检修九个工种〔检修（综合）钳工、机泵检修钳工、橡胶设备检修钳工、管工、铆工、电焊工、气焊工、起重工、无损探伤工〕用的五门技术基础课教材：《工程制图》、《机械基础》、《金属工艺基础》、《化工生产过程及机器设备》、《橡胶制品机械》和七门专业课教材：《化工检修钳工工艺学》、《化工管工工艺学》、《化工铆工工艺学》、《化工焊工工艺学》、《化工起重工工艺学》、《化工无损探伤工工艺学》、《橡胶设备检修钳工工艺学》。

这套教材主要用于化工机械中级检修工人培训，也适用于技工学校、职业学校的相关专业，还可作为中专、大专院校有关专业实践性教学的参考书。考虑到在职培训的特点，同时也为了便于教学，这套教材在内容上贯彻“少而精”的原则，力求做到结构合理、份量恰当、联系实际、学用结合、由浅入深、循序渐进，在将基本概念、基本理论、基本技能阐述清楚的前提下，注意到知识的科学性、系统性和适合读者自学的需要。各门教材之间既注意相关的联系衔接，又使有一定的独立性和灵活性，使用单位既可利用整套教材对工人进行系统培训，又可选用其中的一种或几种进行短期的、专门的单项技术训练。

在编写过程中，吸取了不少职工教育工作者的意见。很多省市化工厅（局）、企业、学校和研究单位提供了大力支持和许多方便。书稿完成后，又在全国范围内组织了在工厂、学校、研究设计单位的许多同志进行审阅。对于参与编写工作和审稿工作的同志，我们致以诚挚的谢意。

编写化工机械检修工人技术理论培训的统一教材，建国以来还是第一次，由于时间仓促和编写经验不足，书中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望使用单位和广大读者批评指正，以便进一步修改完善。

化工部技术培训教材编委会  
西南、西北地区组

1987年8月

## 编者的话

《金属工艺基础》是根据一九八六年化工部中级技术工人技术培训教材审编会议审定的教学大纲编写的。它是化工机械制造及检修工中级技术理论培训的一门技术基础课教材。全书由金属材料及热处理、机械加工工艺基础两篇组成，包括金属学基础、金属材料和热处理、金属材料的防护、非金属材料、机械零件毛坯制造、金属切削加工、机械加工工艺过程与编制工艺、机械零件制造质量分析及装配知识等八部分内容，其中非金属材料一章因内容较少，不宜单独成篇，故附在第一篇中。本书在编写过程中，对教学大纲作了适当的调整。

本书可作为化工机械检修及制造工人培训用的中级技术培训教材，也可供其它专业、工种的工人在技术培训中使用。

本书由四川化工机械厂胡开宇同志（绪论、第七至十一章）和徐华达同志（第一至六章）编写；由胡开宇同志主编。全书经全国化工技术培训教材审编委员会西南、西北地区组织审稿，并由四川化工机械厂赵伯林同志担任主审。贵州赤水天然气化工厂陈朝钰同志、四川泸州化工学校罗启贤同志、四川泸州天然气化工厂严苍育同志、陕西兴平化工技工学校郑瑞珍同志参加了审阅，并提出了宝贵的意见。在编写过程中还得到了四川省化工厅教育处、四川化工总厂和四川化工机械厂的有关同志的大力支持，谨在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编者

一九八七年八月

# 绪 论

《金属工艺基础》是研究金属材料的性能和加工工艺的综合性课程，是化工机械制造和维修等行业技术工人培训中不可缺少的技术基础课程。学习本课程的目的，是使学员懂得合理地选用金属材料，了解零件毛坯的制造方法，熟悉机械切削加工方法和零件制造工艺过程，为专业课程的学习和提高化工检修工的实际操作技能打下必要的基础。

金属工艺基础包括以下八部分内容

**金属学基础知识：**介绍金属与合金的结构、性能、成份和组织之间的关系等有关的知识，并对铁碳合金作重点的分析。

**金属材料 and 热处理知识：**介绍各种常用金属材料，如钢、铁、有色金属的性能、用途及热处理的基本知识，并对钢的热处理作重点介绍，同时还介绍了化工机械制造中的新金属材料。

**金属材料的防护知识：**在化工机械制造、维修中常遇到的问题之一是金属的腐蚀，因此，对金属的防护，本书作了必要的介绍。

**非金属材料知识：**介绍了化工中常用的非金属材料，如高分子材料、硅酸盐材料、隔热材料和复合材料等。

**机械零件毛坯制造知识：**介绍机械零件毛坯的制造方法、毛坯经济性的分析及零件毛坯的选择等。

**金属切削加工基本知识：**介绍金属切削原理、刀具、常用的切削加工方法，机床及其用途等。

**机械加工工艺流程及编制工艺的基本知识：**介绍机械加工工艺的概念、工艺流程分析、拟定加工工序和编制工艺过程文件的方法等。

**机械零件制造质量分析及装配的知识：**简要介绍零件制造质量分析和提高加工质量的方法，并介绍装配精度的概念和保证装配质量的基本知识。

我国是一个历史悠久的文明古国，在冶金、熔铸、锻造、热处理和切削加工等各个方面都有过辉煌的成就。现在，我国正处在科学技术突飞猛进的年代，在材料领域和机械加工领域都取得了可喜的成绩，新技术、新材料不断涌现，化工领域也是如此，例如，新的化工耐酸碱腐蚀材料、高温合金材料的出现和使用。目前我国已从全套引进国外化肥、石油化工设备到自行设计和采用国产材料制造成套设备，并已接近或超过国外先进水平，为此，对化工机械制造和维修工人应该提出更高的要求，才能适应技术发展的需要。

在化工机械维修和制造中，有许多是形状复杂、精度要求高的单件或小批量零件。由于这些零件一般都采用普通机床加工，因此，劳动生产率较低，加工精度较难保证，从而对工人的技术水平要求较高，为此，除了一方面提高工人的技术水平外，另一方面还要采用新技术、新工艺，才能进一步提高化工机械维修和制造的水平。

《金属工艺基础》内容比较广泛，教学中必须根据工种的要求，紧密联系工厂的生产实际，突出重点进行教学。学员在学习时，应将理论知识和实际经验结合起来，加深理解。对每章的复习思考题，要认真思考，以便巩固所学的知识。

# 目 录

绪 论	I
第一篇 金属材料及热处理	1
第一章 金属材料的机械性能	1
第二章 金属与合金的结构及铁碳合金	8
第一节 金属的结晶	8
第二节 合金的基本组织结构	12
第三节 Fe-Fe <sub>3</sub> C合金状态图及其实用意义	14
第三章 钢的热处理	20
第一节 热处理概念	20
第二节 钢在加热、冷却时的组织转变	21
第三节 钢的热处理方法	25
第四节 化学热处理	32
第四章 常用金属材料及选用	35
第一节 碳素钢	35
第二节 合金钢	38
第三节 铸铁	44
第四节 有色金属	48
第五章 金属材料的腐蚀与防护	54
第一节 腐蚀的原因	54
第二节 钢材的防腐和防护方法	55
第六章 常用非金属材料	60
第一节 有机高分子材料	60
第二节 常用非金属材料	63
第三节 复合材料	67
第二篇 机械加工工艺基础	68
第七章 机械零件的毛坯制造	68
第一节 材料及毛坯的经济性	68

第二节	铸造	70
第三节	锻造	79
第四节	焊接	85
<b>第八章</b>	<b>金属切削加工基本知识</b>	<b>95</b>
第一节	金属切削过程及刀具	95
第二节	各种金属材料的切削加工性	104
第三节	常用机械加工机床的加工形式、能力与精度	105
<b>第九章</b>	<b>机械加工工艺过程的编制</b>	<b>131</b>
第一节	零件图的工艺分析及毛坯选择	131
第二节	定位基准的选择及工艺尺寸链的概念	134
第三节	零件加工工艺路线的选定	143
第四节	零件加工工序的确定	145
第五节	工艺过程文件的编制	153
第六节	典型零件的工艺分析	153
<b>第十章</b>	<b>机械零件的制造质量分析</b>	<b>162</b>
第一节	机械加工精度及表面质量	162
第二节	工艺系统对加工质量的影响	164
第三节	工件加工内应力引起的变形	167
第四节	保证和提高加工精度质量的途径	168
<b>第十一章</b>	<b>保证设备安装精度的基本方法</b>	<b>170</b>
第一节	装配精度的概念	170
第二节	零件精度与装配精度的关系	171
第三节	保证安装和装配精度的几种基本方法	172



# 第一篇 金属材料及热处理

## 第一章 金属材料的机械性能

由金属材料制成的机械零件或工具，在使用过程中，往往要受到各种形式的外力作用。如轴类零件受到弯曲和扭力的作用；连杆受到拉、压力的作用及冲击力的作用等等。这就要求金属材料必须具有有一种抵抗外力作用而不产生超过允许量的变形或不被破坏的能力。金属材料在受到外力作用时所表现出来的性能通称为金属材料的机械性能。机械性能主要是指：弹性、塑性、强度、硬度和冲击韧性等。

### 一、强度的意义

强度是指材料抵抗因外力作用引起破坏的能力。它可以用弹性极限、屈服极限、强度极限等表示。

#### (一) 拉伸试样

进行拉伸试验时，采用如图 1-1a 所示的拉伸试样。试样可分为长、短两种，长试样  $L_0 : d_0 = 10$ ，短试样  $L_0 : d_0 = 5$ 。一般工厂采用的试样直径  $d_0 = 10$  毫米。

拉伸试样放在拉伸试验机上，按规定标准加载，随着载荷增加，试样产生伸长变形，直至断裂，如图 1-1b 所示。

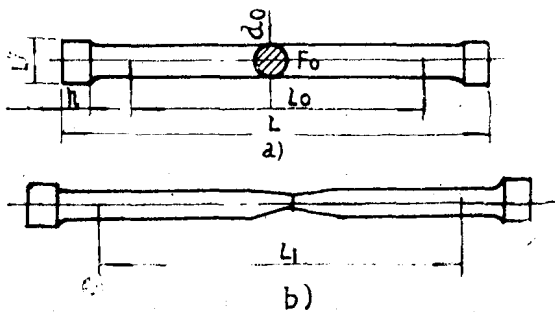


图1-1 钢的标准拉伸试样  
a) 拉伸前 b) 拉伸后

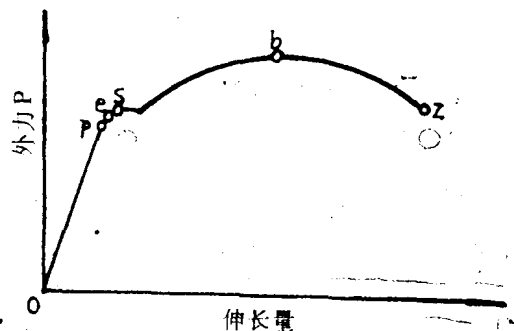


图1-2 低碳钢的拉伸曲线图

#### (二) 拉伸曲线图

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线图。低碳钢拉伸时可分为以下三个阶段：

$Op_e$  为弹性变形阶段。当作用在试样上的载荷在一定限度  $P_p$  之内时，载荷与伸长量成正比，当外力解除后，试样恢复原来的形状和尺寸。当载荷超过  $P_p$  而不大于  $P_e$  时，试样的伸长不再与外力成正比关系，但还属于弹性变形阶段，即当外力解除后变形立即消失。

esb为弹性塑性变形阶段。s点出现的水平线段表示在载荷不变的情况下试样继续伸长，即材料丧失了抵抗塑性变形的能力，称为材料的“屈服”。发生塑性变形后，由于内部结构变化，产生加工硬化。若要使金属继续变形，必须再增加载荷，这样，载荷继续增加，试样则均匀伸长，当达到b点后，开始出现缩颈现象，变形则集中在缩颈处。

bz为断裂阶段。当缩颈出现后，截面将剧烈减小，试样不足以抵抗外力的作用，因此在z点发生断裂。

### (三) 弹性极限

金属材料受外力作用时产生变形，当外力去除后，能完全恢复其原来形状和体积的性能，称为弹性。这种随着外力消失而消失的变形称为弹性变形。在这个阶段，所加外力与由这个外力引起的变形量成正比。

金属材料受外力作用时，其内部产生一种抵抗外力作用的内力，单位面积上的内力称为应力。在外力作用下，也同时产生变形，单位长度上的变形称为应变。金属材料弹性变形的极限能力可用弹性极限( $\sigma_e$ )来表示。所谓弹性极限是指材料能保持弹性变形的最大应力。 $\sigma_e$ 可按下列式计算：

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (P_e \text{ 帕斯卡}) \quad (1-1)$$

式中： $P_e$ ——试样能保持弹性变形时所承受的最大外力，N；

$F_0$ ——试样原截面积， $m^2$ 。

### (四) 屈服极限

金属材料受拉时，在载荷不增加的情况下仍能发生明显塑性变形时的应力称为屈服极限。符号为 $\sigma_s$ 。计算公式如下：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (P_s \text{ 帕斯卡}) \quad (1-2)$$

式中： $P_s$ ——屈服时的载荷，N；

$F_0$ ——拉伸前试样的截面积， $m^2$ ；

$\sigma_s$ ——屈服极限， $P_s$ 。

有许多金属或合金材料，并没有明显的屈服现象发生，为了表示这些材料的屈服极限，规定以试样产生伸长量为试样长度的0.2%时的应力作为材料的“条件屈服极限”，并用 $\sigma_{0.2}$ 来表示。

屈服极限是选用金属材料时应考虑的一个非常重要的机械性能。机械零件所受的应力，一般都应小于屈服极限，否则就会产生明显的塑性变形。

### (五) 强度极限

材料受拉而不致破裂的最大应力称为强度极限，以符号 $\sigma_b$ 表示。计算公式如下：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (P_b \text{ 帕斯卡}) \quad (1-3)$$

式中： $P_b$ ——试样能承受的最大载荷，N；

$F_0$ ——拉伸前试样的截面积， $m^2$ ；

$\sigma_s$ ——强度极限： $P_s$ （帕斯卡）。

机械零件对所选用的金属材料，不允许超过其强度极限。材料的强度极限越高，能承受的应力越大。

材料承受外力作用时，其载荷与变形成正比时的最大应力称为比例极限，符号为 $\sigma_p$ 。计算公式如下：

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad (P, \text{帕斯卡}) \quad (1-4)$$

式中： $P_p$ ——试样受载与变形成正比时能承受的最大载荷， $N$ ；

$F_0$ ——拉伸前试样的截面积， $m^2$ ；

$\sigma_p$ ——比例极限， $Pa$ （帕斯卡）。

## 二、塑性意义

塑性是指材料在外力作用下产生变形的能力。可以用延伸率和断面收缩率表示。

### （一）延伸率

延伸率是试样拉断后标距增长量与原始标距长度的比值的百分率，即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中： $l_0$ ——试样的原始标距长度（ $mm$ ）；

$l_1$ ——试样拉断后标距长度（ $mm$ ）；

$\delta$ ——延伸率（ $\%$ ）。

### （二）断面收缩率

断面收缩率是试样断口面积的缩减量与原截面面积的比值的百分率。即

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中： $F_0$ ——拉伸前试样的截面积（ $mm^2$ ）；

$F_1$ ——试样断后细颈处最小截面积（ $mm^2$ ）；

$\Psi$ ——断面收缩率（ $\%$ ）。

延伸率和断面收缩率用以衡量材料的塑性，是材料的塑性指标，数值越大，表示塑性越好。良好的塑性材料，有利于进行锻压、冷冲和冷拔等成型工艺。

## 三、硬度意义

硬度是指金属材料抵抗其它硬物体压入其表面的能力称为硬度，它表示金属材料的坚硬程度。硬度是重要的机械性能指标之一。硬度试验操作简单、迅速，不一定要有专门试样，且不破坏零件，因而被广泛使用。根据测得的硬度值，能估计出金属材料的近似强度值。

硬度测定的方法很多，最常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法两种。

### （一）布氏硬度

布氏硬度试验是以已知直径的淬火小钢球，在一定载荷作用下压入被试金属材料表面并保持一定时间，然后除去载荷，使金属表面留下一个压痕，如图1-3所示。

图1-4为计算布氏硬度压痕面积示意图。压痕的单位面积上所受的平均压力，即为布氏

硬度值，符号为 $HB$ 。布氏硬度虽有单位，但在实际应用上只是表明硬度的数值，而不标明单位。

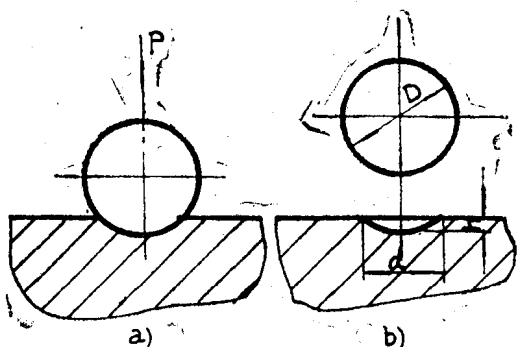


图1-3 布氏硬度测定过程示意图

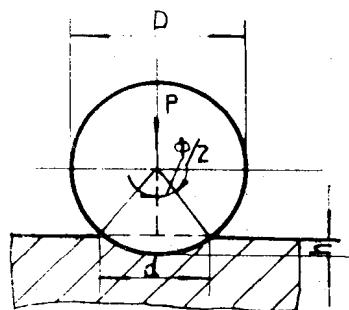


图1-4 计算布氏硬度压痕面积示意图

表1-1 压痕直径与布氏硬度对照表

压痕直径 (mm)	$HB$ 布氏硬度 $D=10(\text{mm})$ $P=29400N$	压痕直径 (mm)	$HB$ 布氏硬度 $D=10(\text{mm})$ $P=29400N$	压痕直径 (mm)	$HB$ 布氏硬度 $D=10(\text{mm})$ $P=29400N$
2.50	601	3.68	272	4.58	172
2.60	555	3.74	263	4.64	167
2.70	514	3.80	255	4.70	163
2.80	477	3.86	246	4.76	158
2.90	444	3.92	239	4.82	154
3.00	415	3.98	231	4.88	150
3.08	393	4.04	224	4.94	146
3.14	378	4.10	217	5.00	143
3.20	363	4.16	211	5.10	137
3.26	350	4.22	204	5.20	131
3.32	337	4.28	198	5.30	126
3.38	325	4.34	193	5.40	121
3.44	313	4.40	187	5.50	116
3.50	302	4.46	182	5.60	111
3.56	292	4.52	177	5.70	107
3.62	282			5.80	103
				5.90	99.2
				6.00	95.5

$$HB = \frac{P}{F} \text{ (牛顿/毫米}^2\text{)} \quad (1-7)$$

式中： $P$ ——压力载荷（牛顿）；

$F$ ——压痕面积（毫米）；

$HB$ ——布氏硬度值。

由于压力载荷 $P$ 和淬火钢球直径 $D$ 是一定的，所以测出压痕直径 $d$ 即可求出 $HB$ 值。在实际应用中可根据 $P$ 、 $D$ 与 $d$ 的关系直接由硬度表（见表1-1）中查得 $HB$ 的硬度值。

图1-5是布氏硬度试验机的结构原理示意图。

试验时，把试样放在工作台1上，用手转动手轮2，使工作台上升并与压印头3接触。开动电动机4，通过蜗杆5、蜗轮6和齿轮7使负荷8慢慢下落，将压头压入试样。当载荷保持一定时间后（10~60秒），电动机可自动反转除去载荷。载荷完全去除后，电动机自动停止，转动手轮使工作台下降。取下试样，用放大镜在两个垂直方向测量出压坑直径的平均值，查表即得布氏硬度值。

布氏硬度试验可以得到硬度的平均值。各种金属材料的硬度可直接相互转换。布氏硬度与强度也有着如下的近似关系：

$$\sigma_b \approx KHB$$

式中 $K$ 是一个常数，它随着不同金属材料以及热处理情况不同而不同。低碳钢 $K=0.36$ ，高碳钢 $K=0.34$ ，调质合金钢 $K=0.325$ ，灰铸铁 $K=0.1$ ，铸铝 $K=0.6$ ，退火黄铜 $K=0.55$ 。

布氏硬度一般适用于测量灰铸铁、有色金属等硬度不高的金属（ $HB < 450$ ）。如硬度过高，钢球产生变形，数值就不准确。为防止钢球变形，钢球的硬度必须大于试样的1.7倍，如采用碳化钨小球，则可测量 $HB$ 在750以下的硬度。此外，布氏硬度也不适宜测量薄板金属材料。

## （二）洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理和布氏硬度的相同，但并不是测量压痕的面积，而是测量压痕的深度。压痕越深，则硬度越低。

洛氏硬度试验机的压头是用金刚石制成的 $120^\circ$ 圆锥体，或是用直径为1.5875毫米（ $\frac{1}{16}$ 英寸）的淬火钢球，在一定的载荷下压入试样表面，去除载荷后，根据试样表面压痕深度，确定出洛氏硬度的数值。

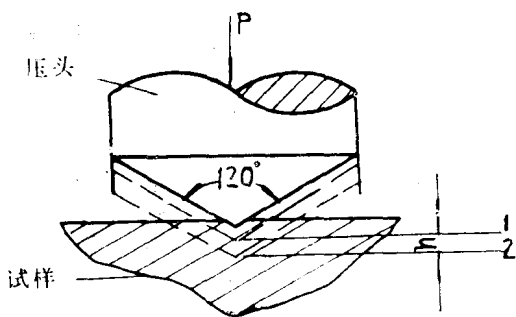


图1-6 洛氏硬度试验示意图

测定洛氏硬度时，根据压头和加载的不同，可将洛氏硬度分为三种，它们的符号分别以 $HRA$ 、 $HRB$ 、 $HRC$ 表示，简称为 $RA$ 、 $RB$ 、 $RC$ 。其中 $HRC$ 用得最多。在试验时先加98N预载荷，目的是避免试样表面质量不均匀，如图1-6所示的1的位置，然后再加主载荷，图中位置2即主载荷去除后的深度。用压入深度 $h$ 来确定 $HRC$ 值。

洛氏硬度的种类、所用压头、载荷和适用

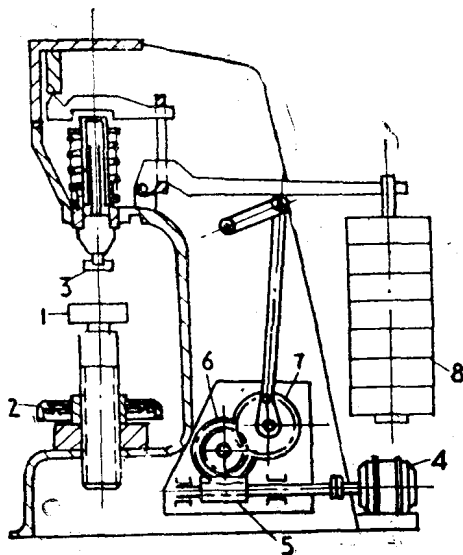


图1-5 布氏硬度试验机结构原理图

范围见表1-2。

表1-2 洛氏硬度的压头、载荷和适用范围

洛氏硬度符号	压头		载 荷 N		适 用 范 围
	类 型	大 小	预载荷	主载荷	
HRC	金刚石圆锥体	夹角为120°, 锥顶半径为0.2毫米	98	1372	HRC 20~70的硬金属, 如淬火回火处理的钢
HRB	钢 球	直径为1.59毫米(1/16英寸)	98	882	HRB 25~100的软金属
HRA	金刚石圆锥体	夹角为120°, 锥顶半径为0.2毫米	98	490	如铜合金、低碳钢、中碳钢 HRC 大于70的很硬及硬而薄的金属

洛氏硬度试验操作简单, 较布氏硬度费时少, 可用于测定从极软到极硬的金属或合金, 其硬度值可在指示器上直接读到, 不会损坏零件表面。它可以测量半成品或成品的硬度, 因此, 它的使用范围很广泛。但因压痕较小, 当材料组织不均匀时, 会使测量值不十分精确。例如: 铸铁的组织不很均匀, 由于压痕面积小可能压在硬颗粒上, 也可能压在软点上, 引起硬度值不相一致。通常要在不同部位测量多次, 取它们的平均值。

洛氏硬度的数值没有单位, 它和布氏硬度值在一定范围内的关系大致如下:

$$HRC \approx \frac{1}{10} HB \quad (1-8)$$

#### 四、冲击韧性

以很快的速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。在冲击载荷作用下工作的零件, 如连杆、曲轴、冲模等, 倘若只用强度和硬度这些静载荷作用下的指标来设计计算, 是不全面的。因为在冲击载荷作用下, 一些强度较高的金属, 也往往发生脆断。因此, 对在冲击载荷作用下的零件, 还要求有一定的冲击韧性。

金属材料在冲击载荷的作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧性。

在冲击试样断口的单位面积上吸收的冲击能量越大, 韧性就越高。为了获得单位面积上的能量消耗值, 必须把“ $A_k$ ”值除以试样断面积“ $F$ ”, 即得单位断面积所消耗的冲击能量。

$a_k$  可按下列式计算:

$$a_k = \frac{A_k}{F} \text{ 焦/米}^2 \quad (1-9)$$

式中:  $A_k$ ——冲断试样所消耗的功, 焦耳;

$F$ ——试样缺口处的断面面积, 米<sup>2</sup>。

冲击韧性值是在专门的冲击试验机上进行测定的。被测金属也要先做成标准试样。试样安放在冲击试验机的支座上, 试样刻槽方向和摆锤落下方向一致, 然后将试验机上的摆锤从一定高度落下, 把试样冲断。如图1-7和图1-8所示。

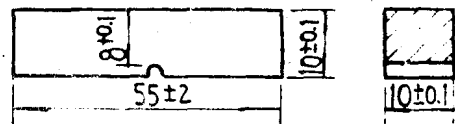


图1-7 冲击试样

冲击值与试验的温度有关。有些材料，在室温 $20^{\circ}\text{C}$ 左右试验时并不显示脆性，而在较低温度下则可能发生脆断。为了确定金属材料（特别是低温用材料）由塑性状态向脆性状态变化的倾向，可在不同温度测定冲击值 $a_k$ 。由图1-9可以看出， $a_k$ 随温度的降低而减小，在某一温度时， $a_k$ 显著降低而呈现脆性，这个温度称为“脆性临界转变温度”。它的数值越低，材料的低温冲击性能就越好。

冲击韧性还受试样形状、表面光洁度、内部组织等因素的影响。因此，冲击值一般只作

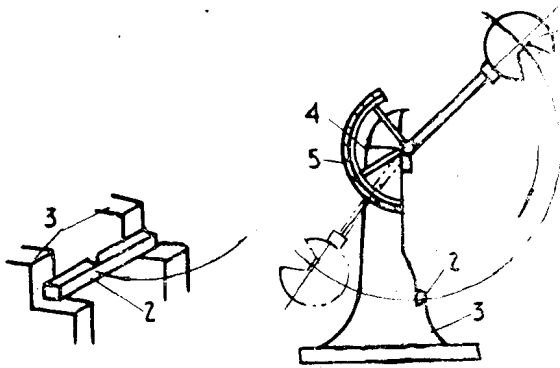


图1-8 冲击试验简图

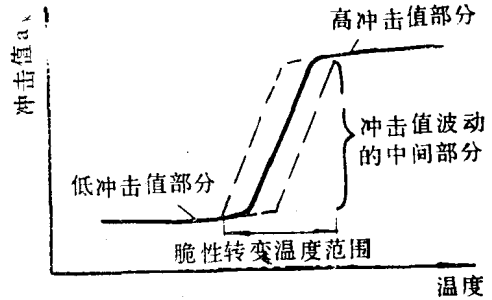


图1-9 温度对冲击值的影响

选择材料的参考，不直接用于强度计算。

对于压力容器用的钢板，考虑到压力可能的波动所引起冲击力的作用，常要求 $a_k$ 不低于 $500\sim 600$ 千焦/米<sup>2</sup>。

实践证明，这种在一次冲断条件下确定的冲击韧性，对于判别材料抵抗大能量冲击能力方面，是有一定作用的。实际上，绝大多数机件在工作中承受的是小能量多次冲击，经过几次、几十次冲击就损坏的情况是非常少见的。我国解放以来进行了这方面的研究工作，在大量生产实践和科学实践的基础上，总结出金属材料多次冲击抗力的规律，其要点之一是：在能量不太大的情况下，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度，而不是冲击韧性。因此，强度较高而冲击韧性较低的材料寿命较长。例如，目前广泛采用球墨铸铁制造柴油机的曲轴，其冲击韧性仅为 $150$ 千焦/米<sup>2</sup>，但运转却很满意。

### 五、金属的疲劳和疲劳强度概念

疲劳是金属材料在受重复或交变载荷时，虽然其所受应力远小于抗拉强度，甚至小于其弹性极限，但经多次循环后，在无显著的外观变形时就可能发生断裂的现象。其发生过程，一般认为在重复或交变应力作用下，材料表面某些晶粒，由于方位或其它原因，产生局部变形而导致微裂，此种微裂，随应力循环次数的加多而逐渐扩展，直至最后未裂的截面逐渐减小，不能承受所加的载荷而突然断裂。

根据多次试验结果，材料所受重复或交变应力 $\sigma$ 与其断裂前的应力循环次数 $N$ 有如图1-10的关系，该曲线称应力-循环次数（ $\sigma-N$ ）曲线。图示曲线形状是钢铁材料的 $\sigma-N$ 曲线。当循环应力降至某一定值后，曲线与横坐标轴平行，表示应力循环次数理论上可达无限大时，仍不发生疲劳断裂。因此，金属材料在无数次交变载荷作用下，而不引起断裂所能承受的最大应力称为疲劳极限或称疲劳强度。

实际上不可能进行无数次试验，对钢材来说，如果应力循环次数达 $10^6 \sim 10^7$ 次仍不发生疲劳断裂时，则可认为随循环次数的增加，将不再发生疲劳断裂，因此可以采用 $M=10^7$ 为基数来确定钢的疲劳极限。

金属的疲劳极限与很多因素有关，如化学成分、表面状态、组织结构、夹杂物多少与分布情况、应力集中情况等。倘若对零件表面进行强化处理（如喷漆处理、化学处理、表面淬火、冷挤压等），能显著提高其疲劳极限。

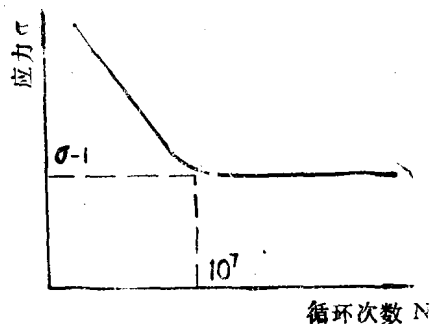


图1-10  $\sigma-N$ 曲线

### 复习思考题

1. 什么是金属材料的机械性能？机械性能包括哪几方面的内容？
2. 拉伸试验可以测定机械性能的哪几个指标？
3. 解释强度、塑性、冲击韧性、硬度的含义，并说明如何计算？
4. 布氏、洛氏硬度有何区别？它们的适用范围有什么不同？布氏硬度与强度极限存在着怎样的近似关系？
5. 疲劳的定义是什么？

## 第二章 金属与合金的结构 及铁碳合金

### 第一节 金属的结晶

#### 一、金属的结晶过程

在液态金属中，原子的活动能力很强，作不规则的运动。随着金属液体的温度逐渐下降，原子的活动能力随之减弱，原子间的吸引作用逐渐增强。当达到凝固温度时，首先在液态金属中产生极微小的晶体，然后再以它们为结晶核心（简称晶核），吸附周围液体中的原子而不断长大；同时在液体中仍继续产生晶核并长大。

晶核沿着各个方向长大的速度是不完全一致的，主要是沿着冷却速度最大的方向生长，首先生成树枝晶的一次晶轴，在一次晶轴长大的同时生长出与一次晶轴相垂直的二次晶轴，随后出现三次晶轴…直到形成树枝状的晶体（图2-1），最后凝固的金属将填满晶轴间空隙，以使每个枝晶成为一个充实的晶粒。

金属在结晶过程中，晶核是大量的、不断地形成并长大的。最初各个晶体都是按照自己的方向自由地生长着，并且有着规则的外形，但生长着的晶体彼此接触后，在接触处被迫停



止生长，规则的外形遭到了破坏，当凝固后，便形成了许多不同外形的晶体，这些外形不规则的晶体通称为晶粒。晶粒之间的分界面称为晶界。

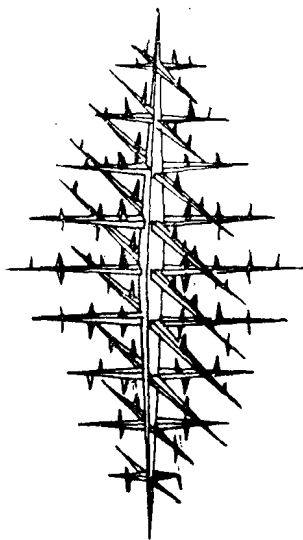


图2-1 枝晶生长示意图

在结晶过程中，由于各个晶核的方位是互不相同的，故晶粒的方位也不同。

## 二、冷却曲线及过冷度

### (一) 冷却曲线

金属的结晶过程可以通过热分析法来研究。将熔化的金属非常缓慢地冷却，在冷却过程中观察并记录温度随时间变化的数据，再将数据描绘在温度—时间坐标图上，便可得到金属的冷却曲线。图2-2所示为冷却曲线的绘制过程。

由冷却曲线可见，液体金属随着冷却时间的增长，温度将不断降低。当冷却到 $a$ 点时，液体金属开始结晶。由于金属结晶过程中释放出结晶潜热，此时结晶潜热补偿了冷却时散失在空气中的热量，因而温度并不随时间的增长而下降，直至 $b$ 点结晶终止时才继续下降。 $ab$ 二点之间为结晶阶段，在冷却曲线上表现为一水平线段，它所对应的温度就是金属结晶的温度，或称为理论结晶温度。

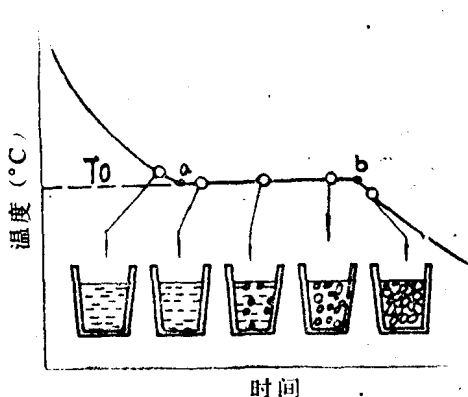


图2-2 纯金属冷却曲线的绘制过程

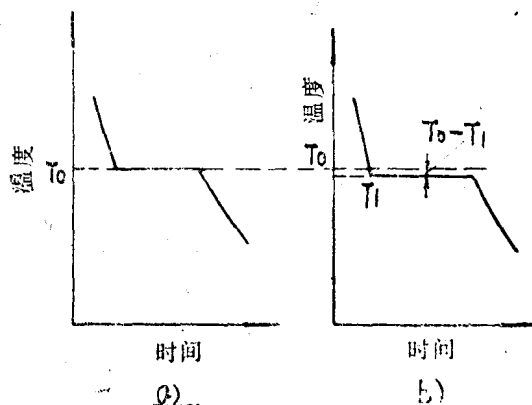


图2-3 纯金属凝固时的冷却曲线  
a)理论结晶温度 b)实际结晶温度

金属发生结构改变的温度称为临界点。结晶温度就是临界点的一种。

### (二) 过冷度

在实际生产中，金属自液态冷却时，不可能非常缓慢。在这种情况下，金属的实际结晶温度( $T_1$ )总是要低于理论结晶温度( $T_0$ )的，这一现象称为“过冷”，其冷却曲线见图2-3所示。理论结晶温度和实际结晶温度之差( $T_0 - T_1$ )叫做过冷度。过冷度不是一个恒定值，冷却速度越大，则液态金属的实际结晶温度就越低，过冷度也就越大。