

高等学校教材

金属工艺学

陈文明 高殿玉 刘群山 主编



机械工业出版社

高等学校教材

金属工艺学

陈文明 高殿玉 刘群山 主编
李世综 刘珩广 审



机械工业出版社

(京)新登字054号

内 容 简 介

本书是依据普通高等工业学校“工程材料及机械制造基础”课程教学基本要求编写的。内容分三篇十四章。第一篇金属材料及热处理：重点阐述了金属材料的组织、性能、材料选用原则及热处理工艺方法，对常用非金属材料也做了一定的介绍；第二篇毛坯生产：重点介绍铸造、金属塑性成形及焊接的基本原理和工艺特点；第三篇金属切削加工：重点讲述了金属切削加工的基本原理、各种表面加工方法、工艺特点及工艺过程的有关内容。除上述内容外，对新材料、新技术、新工艺也做了一定程度的介绍。

本书除作为高等工业学校机械类和近机类70~90学时各本科专业的教材以外，也可供专科学校、成人高校选用及有关工程技术人员参考。

金 属 工 艺 学

陈文明 高殿玉 刘群山 主编

责任编辑：董连仁 版式设计：冉晓华
封面设计：方芬 责任印制：王连祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

北京市房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/16·印张25¹/₂·插页 1·字数600千字

1994年9月北京第1版·1994年9月北京第1次印刷

印数 00 001—6000 定价：13.00元

ISBN 7-111-04198-4/TG·909 (课)

前 言

本书是依据国家教委课程指导小组1986年制订的高等工业学校“工程材料及机械制造基础”课程教学基本要求,并结合多数院校及我们多年的实际授课情况编写的。

本书是高等工业学校机械类专业一门必修的、综合性的技术基础课,它由金属材料及热处理、毛坯生产和金属切削加工共三篇十四章组成。学生通过本课程的学习,可以获得工程材料和热处理及零件加工的工艺知识,为后续课学习及毕业后从事技术工作奠定必要的工艺基础。

第一篇金属材料及热处理:重点阐述了常用金属材料的组织、性能及热处理工艺方法,以达到合理选择金属材料及选择热处理工艺方法的目的。此外,对常用的非金属材料的分类、性能特点及应用也做了必要的介绍。

第二篇毛坯生产:重点介绍了铸造、金属塑性成形和焊接的基本原理、工艺特点及选择原则,以达到合理选择毛坯生产方法,并根据毛坯成形原理,合理设计零件的结构。

第三篇金属切削加工:重点讲述了金属切削加工的设备、基本原理,各种表面加工方法、工艺特点及机械加工工艺过程的基本内容,以达到合理选择加工方法,对中等复杂零件可制订机械加工工艺过程的目的。此外,在零件设计时,能合理地考虑切削加工零件的结构工艺性。

除上述重点内容外,对新材料、新工艺、新技术及特种加工等内容也做了一定程度的介绍。

本课程实践性很强,必须在金工实习的基础上进行讲授。

本书所用的材料牌号、技术术语和部分数据表格均采用国家的最新标准。

本书每章后面都有复习思考题,供教师布置作业时选用。全书后面附有供铸造工艺图设计、锻件图设计和制订机械加工工艺过程所用的工艺设计参考资料。

本书由陈文明、高殿玉、刘群山主编。由太原工业大学李世琮副教授和刘颐广副教授审定。编者分工:刘群山(第一、二、三章);鲍雪琳(第四章);邱肇辉(第五、九、十章);高殿玉(第六章);张双杰(第七章);徐雅荣(第八章);陈文明(第十一、十二章);吉颀(第十三、十四章)。

本书在编写、定稿过程中,得到不少同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平和实践经验,错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编 者

1994年3月

于河北机电学院

2005/19

目 录

前言

第一篇 金属材料及热处理

第一章 金属材料的性能..... 1	§ 3-2 钢的普通热处理.....43
§ 1-1 金属材料的力学性能..... 1	一、钢的退火.....43
一、强度..... 1	二、钢的正火.....44
二、刚度..... 2	三、钢的淬火与回火.....45
三、塑性..... 2	§ 3-3 钢的表面热处理.....51
四、硬度..... 3	一、表面淬火.....51
五、冲击韧性..... 5	二、化学热处理.....52
六、疲劳强度..... 6	复习思考题.....56
§ 1-2 金属材料的物理、化学及工艺性能... 6	第四章 钢铁材料.....57
一、物理性能..... 6	§ 4-1 钢的质量、分类及钢材的品种.....57
二、化学性能..... 6	一、钢中常存杂质元素的影响.....57
三、工艺性能..... 5	二、钢中的气体与夹杂物的影响.....58
复习思考题..... 7	三、钢的质量等级.....58
第二章 铁碳合金相图..... 8	四、钢的分类.....58
§ 2-1 金属的结构与结晶..... 8	五、钢材的品种.....59
一、晶体与晶格..... 8	§ 4-2 碳钢.....59
二、晶面与晶向.....10	一、碳素结构钢.....59
三、多晶体结构与晶体缺陷.....12	二、优质碳素结构钢.....61
四、金属的结晶与铸造.....13	三、碳素工具钢.....64
§ 2-2 合金的结构及二元合金相图.....16	§ 4-3 合金钢.....65
一、合金中的相.....16	一、合金元素在钢中的作用.....65
二、二元合金相图.....18	二、常用合金钢.....68
§ 2-3 铁碳合金相图.....23	§ 4-4 铸铁.....77
一、铁碳合金的基本组织.....23	一、灰铸铁.....79
二、铁碳合金相图分析.....24	二、高强度灰铸铁.....84
三、铁碳合金分类.....29	三、特殊性能铸铁.....87
四、含碳量对铁碳合金组织和性能的影响...30	§ 4-5 铸钢.....91
五、铁碳合金相图的应用.....31	一、一般工程用铸造碳钢.....91
复习思考题.....32	二、铸造合金钢.....91
第三章 钢的热处理..... 33	复习思考题.....92
§ 3-1 热处理的基本原理.....33	第五章 其它工程材料简介.....93
一、钢在加热时的转变.....33	§ 5-1 有色金属.....93
二、钢在冷却时的转变.....36	一、铝及铝合金.....93

二、铜及铜合金	95
三、滑动轴承合金	98
§ 5-2 粉末冶金材料	99
一、粉末冶金工艺简介	100
二、粉末冶金的应用	100
三、硬质合金	100

§ 5-3 工程塑料	101
一、概述	101
二、工程塑料的选用	102
三、工程塑料制品的选材	102
四、工程塑料的加工方法	103
复习思考题	103

第二篇 毛坯生产

第六章 铸造	104
§ 6-1 砂型铸造基本工艺	104
一、造型材料	101
二、造型方法选用	106
§ 6-2 特种铸造	115
一、熔模铸造	116
二、金属型铸造	117
三、压力铸造	119
四、离心铸造	120
五、低压铸造	121
六、陶瓷型铸造	122
七、连续铸造	123
八、铸造方法的选择	123
§ 6-3 合金的铸造性能	124
一、合金的流动性	124
二、合金的收缩	126
三、铸件的铸造内应力、变形与裂纹	130
§ 6-4 常用合金铸件的生产	133
一、铸铁件的生产	133
二、铸钢件的生产	136
三、铝及铜合金铸件的生产	137
§ 6-5 砂型铸造工艺设计	139
一、设计依据	139
二、设计内容和程序	140
三、铸造工艺图的绘制	140
四、综合分析举例	145
§ 6-6 铸件结构设计	147
一、铸件结构工艺性的概念	147
二、铸件结构与砂型铸造工艺关系	147
三、铸件结构与铸造方法的关系	150
四、铸件结构与合金铸造性能的关系	153
复习思考题	157
第七章 金属塑性成形	161
§ 7-1 金属的塑性变形	163

一、金属塑性变形的实质	163
二、塑性变形后金属的组织性能	165
三、冷变形和热变形	166
四、金属的可锻性	166
§ 7-2 锻造工艺	168
一、自由锻	168
二、模锻	174
三、胎模锻	180
四、其他模锻设备上模锻	182
§ 7-3 板料冲压	188
一、冲压加工特点	188
二、板料冲压的基本工序	189
三、冲模	196
§ 7-4 锻造及冲压零件的结构工艺性	197
一、自由锻件结构工艺性	197
二、模锻件结构工艺性	197
三、冲压件结构工艺性	199
§ 7-5 塑性成形新工艺简介	203
一、精密模锻	203
二、精密冲裁	203
三、零件的轧制	204
四、超塑性成形	205
五、挤压	207
复习思考题	207
第八章 焊接	212
§ 8-1 概述	212
一、焊接的实质	212
二、焊接方法分类	212
三、焊接的特点	212
四、焊接的应用	213
§ 8-2 电弧焊	214
一、焊接电弧	214
二、手弧焊的焊接过程	215
三、电弧焊的冶金特点	215

四、焊条.....	216	一、焊接结构材料的选择.....	246
五、埋弧自动焊.....	220	二、焊接方法的选择.....	247
六、气体保护焊.....	223	三、焊缝的布置.....	247
§ 8-3 其它常用焊接方法.....	225	四、焊接接头的设计.....	251
一、电流焊.....	225	五、焊接结构工艺设计举例.....	252
二、等离子弧焊与切割.....	226	复习思考题.....	253
三、真空电子束焊.....	227	第九章 毛坯的选择.....	256
四、激光焊.....	228	§ 9-1 毛坯的种类及其特点.....	256
五、电阻焊.....	229	一、铸件.....	256
六、摩擦焊.....	231	二、塑性成形件.....	257
七、钎焊.....	232	三、焊接件.....	258
§ 8-4 焊接质量分析.....	233	四、型材.....	258
一、焊接接头的金属组织和性能.....	233	§ 9-2 材料与毛坯选择的一般原则.....	258
二、焊接接头的主要缺陷.....	235	一、零件的使用性能.....	258
三、焊接应力与变形.....	237	二、零件的外形尺寸特点.....	259
§ 8-5 常用金属材料的焊接.....	240	三、零件的生产批量.....	259
一、金属材料的焊接性.....	240	四、材料的价格.....	259
二、碳钢的焊接.....	242	§ 9-3 典型零件毛坯的选择.....	259
三、低合金结构钢的焊接.....	243	一、齿轮类零件材料及毛坯的选择.....	259
四、铸铁的补焊.....	244	二、轴类零件的材料及毛坯的选择.....	259
五、铝、铜及其合金的焊接.....	245	三、箱体类零件的材料及毛坯的选择.....	259
§ 8-6 焊接结构设计.....	246	复习思考题.....	260

第三篇 金属切削加工

第十章 金属切削加工的基本知识.....	261	复习思考题.....	286
§ 10-1 金属切削加工概述.....	261	第十一章 金属切削机床基本知识.....	287
一、金属切削加工的实质和分类.....	261	§ 11-1 金属切削机床的分类及编号.....	287
二、加工精度和表面质量的概念.....	261	一、金属切削机床的分类.....	287
§ 10-2 切削运动及刀具.....	265	二、金属切削机床型号的编制方法简介.....	287
一、切削运动.....	265	§ 11-2 金属切削机床的运动和传动.....	290
二、切削加工中工件上的表面及切削要素.....	265	一、金属切削机床的运动.....	290
三、刀具.....	267	二、金属切削机床的传动.....	290
§ 10-3 金属的切削过程.....	272	§ 11-3 高效机床及自动线.....	294
一、切屑的形成过程及切屑的种类.....	272	一、自动机床和半自动机床.....	294
二、积屑瘤.....	274	二、组合机床.....	294
三、已加工表面的残余应力和冷硬现象.....	275	三、组合机床自动线.....	295
四、切削力和切削功率.....	275	§ 11-4 数控机床简介.....	296
五、切削热和切削温度.....	278	一、普通数控机床.....	296
六、刀具的磨损及耐用度.....	280	二、自动换刀数控机床.....	299
七、生产率和提高生产率的途径及工件材料的切削加工性.....	282	三、“适应性”数控机床.....	299
		四、机床的计算机控制系统.....	299
		复习思考题.....	299

第十二章 各种表面的加工方法 301

§ 12-1 外圆表面的加工 301

一、外圆表面的技术要求 301

二、轴类零件的安装 301

三、外圆表面的加工方法和工艺特点 302

四、外圆表面加工方法的选用 309

§ 12-2 内圆表面的加工 310

一、孔的技术要求 310

二、内圆表面的加工方法和工艺特点 311

三、内圆表面加工方法的选用 320

§ 12-3 平面的加工 321

一、平面的技术要求 321

二、平面的加工方法和工艺特点 322

三、平面加工方法的选用 326

§ 12-4 圆锥面及成形面的加工 327

一、圆锥面的加工 327

二、成形面的加工 330

§ 12-5 螺纹的加工 332

一、螺纹的加工方法 332

二、螺纹加工方法的选用 334

§ 12-6 齿轮齿形的加工 335

一、圆柱齿轮的技术要求 335

二、齿轮齿形的加工 336

三、齿轮齿形的精加工 339

四、齿形加工方法的选用 340

§ 12-7 特种加工 340

一、电火花加工 340

二、电解加工 341

三、超声波加工 343

四、激光加工 343

附录 382

参考文献 400

复习思考题 344

第十三章 机械加工工艺过程的

基本知识 347

§ 13-1 机械加工工艺过程的编制 347

一、基本概念 347

二、工件的安装 348

三、定位基准的选择 350

四、加工余量及其确定 353

五、工艺路线的拟定 354

六、工艺文件 356

七、典型零件机械加工工艺过程 357

§ 13-2 夹具简介 368

一、机床夹具的分类 368

二、夹具的结构 368

复习思考题 370

第十四章 零件的结构工艺性 373

§ 14-1 零件结构工艺性的基本概念 373

§ 14-2 切削加工零件结构设计的一般

原则及实例 374

一、便于安装 374

二、尽量减少安装次数 374

三、减少机床调整次数 375

四、减少刀具的种类 375

五、应能使用标准刀具 376

六、便于加工时的进刀和退刀 377

七、减少切削加工量 377

八、尽量避免内表面的加工 379

九、零件应有足够的刚度 379

十、合理制定零件的精度和表面粗糙度 380

复习思考题 380

第一篇 金属材料及热处理

第一章 金属材料的性能

§ 1-1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在受外力作用时所反映出来的性能。它是衡量金属材料的极其重要的指标,是选择、使用金属材料的重要依据。金属材料的力学性能主要有:强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

一、强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按照作用力性质的不同,强度可分为屈服点(屈服强度)、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。工程上常用的强度指标是屈服点和抗拉强度,它们都由拉伸试验测定。

拉伸试验是将金属材料按国家标准制成标准试样(图1-1a)装夹在材料试验机上,对其两端施加轴向静拉力,试样产生变形。随着拉力的增大变形量增加,直至把试样拉断(图1-1b)。在试验过程中,试验机自动绘制出拉力 F 与其相对应的变形量 ΔL 之间的关系曲线(图1-2),称为拉伸曲线。

由图可见,在 oe 段,变形与外力成正比,试样只产生弹性变形,即当外力去除后,试样就恢复到原始长度。超过 e 点,试样就会产生塑性变形,即使去掉外力,试样也不能恢复到原始长度。材料在弹性范围内所能承受的最大应力称为弹性极限,用 σ_e 表示,即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \text{ (Pa)}$$

式中 F_e ——弹性极限载荷(N);

A_0 ——试样原始横截面积(m^2)。

当载荷继续增大到 F_s 时,拉伸曲线出现了平台。其特点是试样所承受的载荷几乎不



图1-1 拉伸试样

a) 标准拉伸试样 b) 拉断后

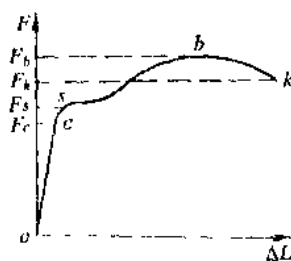


图1-2 低碳钢拉伸曲线

变,但却产生了不断增加的塑性变形,这种现象称为屈服。材料产生屈服现象时的应力称为屈服点,用 σ_s 表示,即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \text{ (Pa)}$$

式中 F_s ——屈服载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (m^2)。

有些金属材料,如高碳钢、铸铁、铜、铝等,没有明显的屈服现象,拉伸曲线上没有平台,通常规定产生0.2%塑性变形时的应力作为其名义屈服点,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服点表征了材料抵抗微量塑性变形的能力。

屈服以后,材料产生明显的塑性变形。载荷再继续增大时,塑性变形量显著增大。当载荷增大到 F_b 时,试样的某一横截面开始急剧减小,出现“缩颈”。由于承载面积减小,试样很快被拉断。金属材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用 σ_b 表示,即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ (Pa)}$$

式中 F_b ——最大载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (m^2)。

屈服点和抗拉强度是设计机械零件时评定、选择金属材料的重要依据。因为,多数机械零件工作时不允许出现塑性变形,其材料所受的应力不能超过 σ_s ,机械零件更不能在超过其材料 σ_b 的条件下工作,否则将导致机件的破坏。

二、刚度

金属材料在外力作用下抵抗弹性变形的能力称为刚度。在弹性范围内,应力与应变的比值称为弹性模量,用 E 表示。它是衡量金属材料刚度大小的指标,反映了材料弹性变形的难易程度。在相同的外力作用下,材料的 E 愈大,则弹性变形愈小, E 小则弹性变形大。弹性模量 E 的大小,与材料原子之间的作用力强弱有密切的关系,而与其内部组织的变化关系不大。

对于一个机械零件来说,其刚度除与所用材料的 E 有关外,还与该零件的形状和尺寸有关。

三、塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性。通常用伸长率 δ 来表示,即

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

式中 L_0 ——试样的原始长度 (mm);

L_1 ——试样拉断后的长度 (mm)。

金属材料的塑性也可用断面收缩率 ψ 来表示,即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样的原始横截面积 (m^2);

A_1 ——试样拉断后断口处的截面积 (m^2)。

δ 或 ψ 愈大,材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行塑性成形的必要条件。

四、硬度

硬度是金属材料抵抗其它更硬的物体压入其内的能力。它表示了金属材料在一个小的体积范围内，抵抗变形和断裂的能力，是一个重要的综合力学性能指标。

金属材料的硬度是在专门的硬度计上测定的。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度测定时，常用一定直径的淬火钢球或硬质合金球作压头，在一定的静载荷下压入试件表面（图1-3），保持压力至规定的时间后卸载。根据所加载荷的大小和所得压痕表面积来计算压痕表面上的平均应力值。此平均应力值即定义为布氏硬度，并用HBS或HBW表示，即

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

式中 F —— 所加载荷 (N);

A —— 压痕表面积 (mm^2);

D —— 球体直径 (mm);

d —— 压痕平均直径 (mm)。

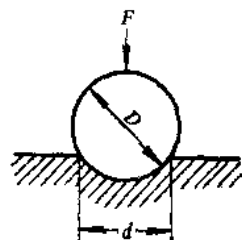


图1-3 布氏硬度试验示意图

在实际测定中， F 和 D 是根据被测材料按国家标准选定的，只需用刻度放大镜测量出压痕直径 d ，然后直接查表即可求得硬度值。实际上，布氏硬度仍沿用 kgf/mm^2 作为单位，但习惯上不予标出。例如120HBS10/1000/30，表示用 $\phi 10$ 淬火钢球，在9806.7N(1000kgf)载荷下，保持30s测得的布氏硬度值为120。

由于布氏硬度测量时压痕面积较大，能反映较大范围内金属各组成物的平均性能，且试验数据的重复性好，因此广泛用于测定铸铁、有色金属、退火钢等小于450HBS的金属材料。

表1-1 布氏硬度试验规范

材 料	布氏硬度值 HBS	试样厚度 mm	F/D^2	D/mm	F/N	载荷保持时间 s
钢及铸铁	140~450	>6	≈ 300	10.0	29420.0	10~15
		6~3		5.0	7355.0	
		<3		2.5	1838.7	
	<140	>6	≈ 100	10.0	9806.7	10~15
		6~3		5.0	2451.7	
		<3		2.5	612.9	
铜及其合金	>130	>6	≈ 300	10.0	29420.0	30
		6~3		5.0	7355.0	
		<3		2.5	1838.7	
	35~130	>6	≈ 100	10.0	9806.7	30
		6~3		5.0	2451.7	
		<3		2.5	612.9	
	<35	>6	≈ 50	10.0	4903.3	60
		6~3		5.0	1225.8	
		<3		2.5	306.5	

当被测金属材料的布氏硬度大于450HBS时,由于淬火钢球本身发生变形而影响测定结果的准确性。故不能测定太硬的材料。布氏硬度试验规范如表1-1所示。

由于硬度和强度以不同形式反映了材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力,故二者之间有一定的关系,其经验换算关系为:

低碳钢	$\sigma_b \approx 3.6 \text{HBS}$
高碳钢	$\sigma_b \approx 3.4 \text{HBS}$
调质合金钢	$\sigma_b \approx 3.25 \text{HBS}$
灰铸铁	$\sigma_b \approx 1 \text{HBS}$

上述关系式中, σ_b 的单位为MPa。

布氏硬度测定时,还可以用一定直径的硬质合金球作压头,据压痕直径查表得出材料的硬度,其符号是HBW。例如 500HBW5/750/15,表示用直径5mm的硬质合金球在7355N(750kgf)载荷下保持15s测得的布氏硬度值为500。这种硬质合金球压头可用于测布氏硬度值在650以下的材料。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度与布氏硬度的测定原理基本相同,所不同的是,它不测压痕的面积大小,而是根据压痕的深度来衡量硬度。洛氏硬度试验是用顶角为120°的金刚石圆锥或直径为1.588mm的淬火钢球作压头,根据被测材料的软硬不同来选择。当用120°金刚石圆锥作压头时(图1-4),先加初载荷98.07N(10kgf),使压头压入b处,与试件的表面良好地接触。以b处作为衡量压入深度的起点。然后,再加上主载荷使压头压入到c处,停留一定时间后,将主载荷卸除。由于材料弹性变形的恢复,压头回升到d处,以此时的压痕深度h作为测量的硬度。

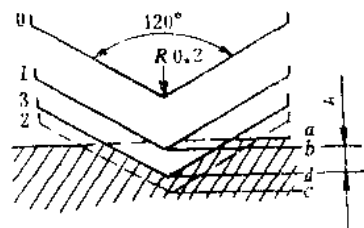


图1-4 洛氏硬度试验原理

金属愈硬,压痕深度愈小;金属愈软,压痕深度愈大。为了与习惯上“数值愈大硬度愈高”的概念相一致,采用一常数K减去h的差值来表示硬度值。又为简便起见,规定每压入0.002mm深度作为一个硬度单位(即洛氏硬度计刻度盘上一小格)。洛氏硬度用符号HR表示,其值为:

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002}$$

式中,K为常数,采用金刚石圆锥作压头时K=0.2;采用淬火钢球作压头时K=0.26。

据所用压头和载荷的不同,洛氏硬度可分为HRA、HRB、HRC、HRD等几种标度,分别适用于测定不同的材料,如表1-2所示。

表1-2 洛氏硬度试验规范

标 度	压 头	初载荷/N	主载荷/N	总载荷/N	硬度范围	适 用 的 材 料
HRA	120°金刚石圆锥	98.07	490.33	588.4	70~85	硬质合金、表面淬火的钢等
HRB	φ1.588mm钢球	98.07	882.63	980.7	25~100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥	98.07	1372.93	1471.0	20~67	淬火钢、调质钢等
HRD	120°金刚石圆锥	98.07	882.63	980.7	40~77	薄钢板、中等厚度的表面硬化零件

洛氏硬度测定法操作简单,并能直接从硬度计的表盘上读出硬度值;被测试件表面压痕小,几乎不损伤成品件表面;又由于所加载荷较小,适宜于较薄工件的硬度测定。尤其是HRC可用于测定硬度很高的材料,在热处理质量检查中应用非常广泛。但由于压痕较小,对内部组织和硬度不均匀的材料,测得的结果不够准确,通常需要在试件的不同部位测定三点以上,取其平均值。

五、冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。它是以试样缺口底部单位横截面上的冲击吸收功,即冲击韧度来衡量的。

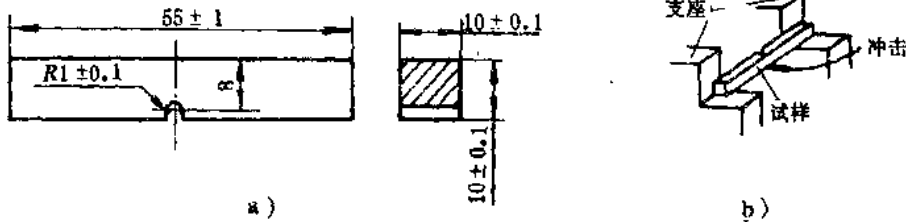


图1-5 冲击试验的试样

a) 标准试样 b) 试样安放

许多机械零件是在冲击载荷下工作的,如锻锤的锤杆、柴油机的曲轴、冲床的冲头等。由于瞬时的冲击力作用所引起的变形和应力,比静载荷的大得多,因此,设计这些承受冲击载荷的零件时,必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料的冲击韧度用摆锤冲击试验来测定:首先,将金属材料制成标准冲击试样,图1-5a为U型缺口冲击试样。然后,将试样按图1-5b安放在试验机上。摆锤冲击试验原理如图1-6所示。试验时,将重力为 G 的摆锤提升到 H_1 的高度,使其获得位能 GH_1 ,然后使摆锤下落,其位能变成动能,冲断试样消耗了一部分能量,剩余的能量使摆锤继续向前升到 H_2 的高度,此时摆锤的位能为 GH_2 。摆锤冲断试样所做的冲击吸收功 $A_K = G(H_1 - H_2)$ 。试样缺口处单位面积上的冲击吸收功,即冲击韧度值为:

$$a_K = \frac{A_K}{A} \quad (\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$$

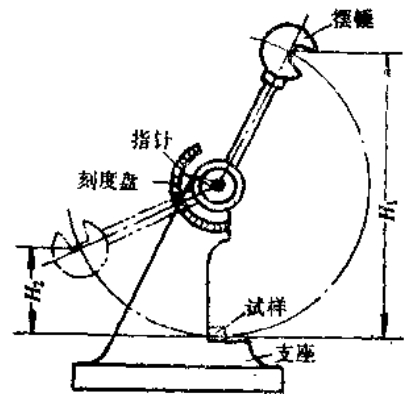


图1-6 摆锤冲击试验原理

式中 A_K ——试样在一次冲击下折断时所吸收的功(J);

A ——试样缺口处的横截面积(cm^2)。

a_K 值愈大,材料的韧性愈好,受到冲击时不易断裂。 a_K 值的大小与很多因素有关,不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织等因素的影响,还与试验时的环境温度有关,因而重复性较差。另外,在冲击载荷下工作的机械零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是受小能量多次重复冲击而破坏。研究表明,在冲击能量不太大的情况下,金属材料承受多次重复冲击的能力,主要取决于强度,而不是要求过高的冲击韧度。即强度较高而冲击韧度较

低的材料寿命较长。因此,用 σ_k 值来衡量和设计这些机械零件是不太合适的,一般只用 σ_k 值作为选择材料的参考。

六、疲劳强度

许多机械零件,如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等,是在大小或方向反复改变的交变载荷下工作的。虽然零件所受的应力远低于材料的抗拉强度,甚至远低于屈服点,但在使用中往往会发生突然断裂,这种现象称为疲劳破坏。据统计,约有80%的机械零件的失效是属于疲劳造成的。

产生疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料有杂质、表面划痕及其它能引起应力集中的缺陷,而导致微裂纹的产生。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,致使零件不能承受所加载荷而突然断裂。

金属材料在无数次重复交变载荷作用下不致引起断裂的最大应力称为疲劳强度。实际上,不可能进行无数次重复交变载荷试验来测定材料的疲劳强度,故各种金属材料应有一定的应力循环基数,如钢材以 10^7 为基数,即钢材承受的载荷交变次数达到 10^7 次仍不发生疲劳破坏的最大应力就定为该钢的疲劳强度。有色金属和某些超高强度钢则取 10^8 为基数。

机械零件的疲劳强度与所用材料的材质、零件表面状况、结构形状及承受的载荷性质等许多因素有关。生产中可通过改善零件结构形状来避免应力集中、减小表面粗糙度数值和强化表面(如表面淬火、喷丸处理)等来提高疲劳强度。

§ 1-2 金属材料的物理、化学及工艺性能

一、物理性能

金属材料的主要物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导电性和导热性等。由于机械零件的用途不同,对其物理性能的要求也有所不同,例如飞机零件要选用密度小的铝合金来制造;制造内燃机活塞的金属材料应具备较小的热膨胀系数;设计电机电器的零件时常要考虑金属材料的导电性等。

金属材料的一些物理性能,对于热加工也有一定的影响。例如高速钢的导热性较差,在热处理和锻造时就应该用较低的速度进行加热,否则会产生裂纹;又如铸铝、铸铁和铸钢的熔点不同,在铸造时三者的熔炼工艺就有较大的差别。

二、化学性能

金属材料的化学性能是指其抵抗各种化学作用的能力,主要是抵抗活泼介质的化学侵蚀能力,如耐酸性、耐碱性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的零件,比在空气中或室温下的腐蚀更为强烈。设计这类零件时,应选用化学稳定性好的金属材料。如化工设备、食品机械、医疗器具等可采用不锈钢来制造。

三、工艺性能

工艺性能是物理、化学、力学性能的综合。按工艺方法的不同,可分为铸造性能、可锻性、焊接性和切削加工性等。如果某种材料的工艺性好,就意味着能用简单的工艺加工成高质量、低成本的零件或毛坯。因此,设计机械零件和选择工艺方法时,都要考虑金属材料的工艺性能。各种工艺性能将在以后有关章节中分别介绍。

复习思考题

- 1-1 什么叫弹性变形？什么叫塑性变形？
- 1-2 $\sigma_{0.2}$ 的含意是什么？为什么低碳钢不用此指标？
- 1-3 抗拉强度与硬度之间有没有一定的关系？为什么？
- 1-4 α_k 代表什么指标？为什么 α_k 不直接用于设计计算？
- 1-5 某低碳钢拉伸试样，直径为10mm，标长为50mm，屈服时拉力为18840N，断裂前的最大拉力为35320N，拉断后将试样接起来，标距之间的长度为73mm，断口处截面直径为6.7mm。问该低碳钢的 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 ψ 各是多少？其硬度大约是多少？

第二章 铁碳合金相图

§ 2-1 金属的结构与结晶

一、晶体与晶格

1. 晶体与晶格的概念

固态物质按其原子的排列情况不同,可分为晶体和非晶体两大类。非晶体的特点是原子的排列不规则,如玻璃、沥青、松香等都是非晶体;晶体的特点是它们的原子都按一定的次序作规则的排列,如金刚石、石墨和固态下的金属及合金都属于晶体。

金属的原子结构中,最外层的电子数目少,与原子核的结合力较弱,容易摆脱原子核的束缚变成自由电子。当大量金属原子聚集在一起构成金属晶体时,绝大部分金属原子都将失去其最外层的电子变成正离子。这些正离子按照一定的规律排列,并在各自的位置上作微弱的热振动。而自由电子则在各正离子间穿梭运动,为整个金属中的原子所共有。金属晶体就是靠正离子与公有化的自由电子之间的相互作用而结合起来的,这种结合方式称为金属键。

图2-1a是金属原子在空间堆积的立体模型。

为了便于表明原子的排列规律,假设原子静止,并缩小成位于其中心的一个质点,用直线将这些质点连接起来,组成空间格子(图2-1b)称为晶格。晶格中的每个点称为结点。能够完全代表晶格中原子排列规律的最小几何单元称为晶胞(图2-1c)。整个晶格就是由大小、形状和位向相同的晶胞在空间重复堆积而成的。晶胞中各棱边的长度叫晶格常数,其大小用 $\text{\AA}$ 来度量($1 \text{\AA} = 10^{-10} \text{m}$)。

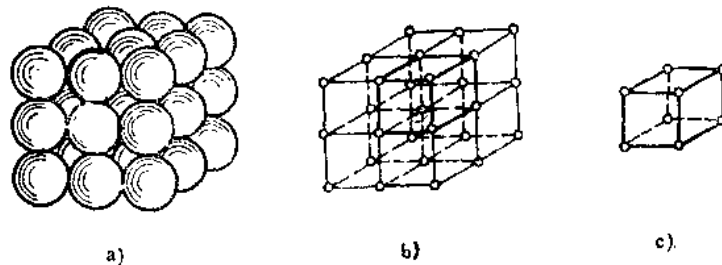


图2-1 简单立方晶格与晶胞的示意图

a) 晶体中的原子排列 b) 晶格 c) 晶胞

2. 晶格类型

研究表明,大多数的金属都具有比较简单的晶体结构,最常见的晶格类型有以下三种:

(1) 体心立方晶格 在体心立方晶格的晶胞(图2-2a)中,八个角上各有一个原子,构成立方体。在立方体中心还有一个原子,故称作体心立方晶胞。其晶格常数用 a 表示。属于这种晶格的金属有Cr、W、V、Mo、 α -Fe等。

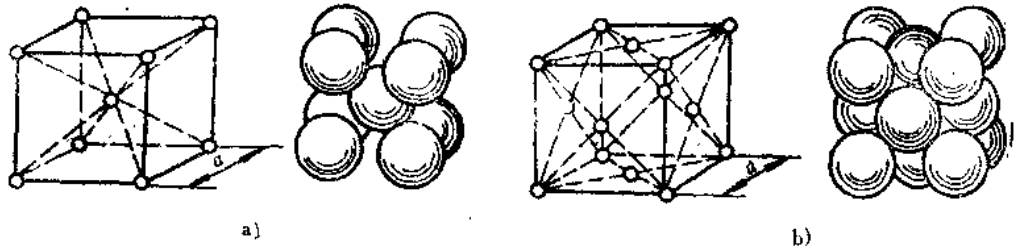


图2-2 体心立方晶胞和面心立方晶胞

a) 体心立方晶胞 b) 面心立方晶胞

由图2-2a可知, 体心立方晶胞中对角线方向上的原子是彼此紧密相接触排列着的。该对角线的长度为 $\sqrt{3}a$, 恰好是两个原子间距, 所以, 原子半径为 $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$ 。

在体心立方晶胞中, 每个角上的原子是与相邻的另七个晶胞所共有, 属于这个晶胞的只有 $1/8$; 而体心的原子只属于这个晶胞。所以, 体心立方晶胞中仅包含有: $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 个原子。

由图2-2a可知, 晶胞棱边上和表面中心等处原子不能接触, 存在间隙。通常把原子排列的紧密程度称为致密度, 它是晶胞中所包含的原子占有的体积与该晶胞体积之比。体心立方晶格的致密度为:

$$\frac{\text{晶胞拥有的原子数} \times \text{单个原子体积}}{\text{晶胞的体积}} = \frac{2 \times \left(\frac{4}{3} \pi r^3\right)}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}a}{4}\right)^3}{a^3} = 0.68$$

可见, 致密度是一个与原子大小、晶胞大小无关的数。就是说, 只要金属的原子排列成体心立方这种晶体结构, 就会有68%的体积被金属原子占据, 其余为空隙。

(2) 面心立方晶格 在面心立方晶格的晶胞(图2-2b)中, 八个角上各有一个原子, 构成立方体。在立方体的每个表面的中心各有一个原子, 故称为面心立方晶胞。晶格常数也用 a 来表示。属于这种晶格的金属有Al、Cu、Ni、Pb、 γ -Fe等。

由图2-2b可知, 面心立方晶胞中, 每个面的对角线上各原子彼此相互接触, 这个对角线的长度是 $\sqrt{a^2 + a^2} = \sqrt{2}a$, 恰好是两个原子间距, 所以原子半径 $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ 。

同样, 每个角上的原子是与相邻的另七个晶胞所共有, 属于这个晶胞的只有 $1/8$; 而每一面心位置上的原子同时属于两个晶胞共有, 属于这个晶胞的只有 $1/2$ 。所以, 面心立方晶胞中含有: $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 个原子。

面心立方晶胞的棱边上和中心等处存在间隙, 它的致密度为:

$$\frac{4 \times \left(\frac{4}{3} \pi r^3\right)}{a^3} = \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3}{a^3} = 0.74$$

可见, 面心立方晶格的致密度比体心立方晶格大, 原子排列得较紧密。

(3) 密排六方晶格 在密排六方晶格的晶胞(图2-3)中, 六方体的十二个角上各有一个原子, 上下两个正六边形表面的中心也各有一个原子, 在六方体的中间还规则地分布着三