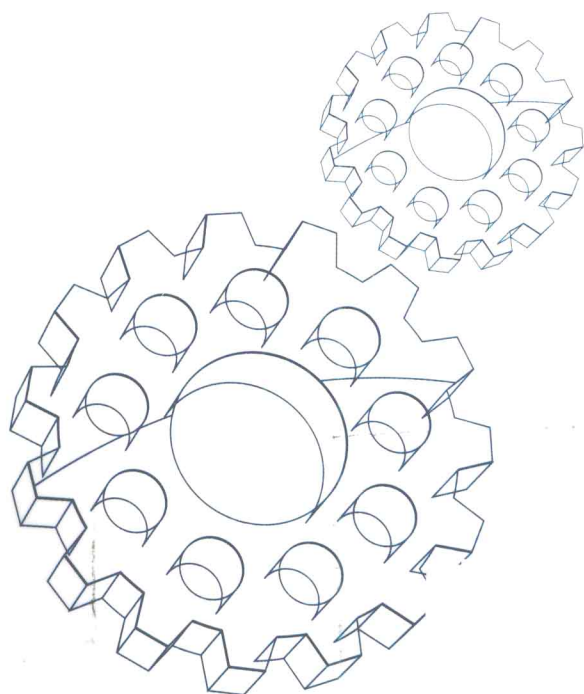


普通高等院校“十二五”规划教材

机械制造基础

JIXIE ZHIZAO JICHU

■ 杜素梅 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十二五”规划教材

机械制造基础

杜素梅 主编

郑连义 朱征 副主编

孔德音 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据2009年国家教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会关于《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》精神,结合机械类本科专业培养计划和课程教学大纲,为培养适应21世纪应用型工程技术人才而编写。

全书共8章,分为三部分。第一部分为工程材料及热处理,包括材料的力学性能、热处理和常用工程材料;第二部分为材料成形,包括铸造、锻压、焊接、非金属材料成形及毛坯的选择;第三部分为机械加工成形,包括金属切削加工基础知识、零件加工方法及设备、机械加工工艺过程的制定,以及现代加工方法等。每章均附有思考及作业题。

本书可作为高等学校机械类、近机类各专业,以及电视大学、各类成人高校相关专业的教材,也可供相关工程技术人员学习、参考。

为方便教师使用本书,本书配有电子课件,可以与本书责任编辑索取。
896369667@QQ.com

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/杜素梅主编. —北京:国防工业出版社, 2012.1

普通高等院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07888-6

I. ①机.. II. ①杜... III. ①机械制造—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第003376号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20% 字数 477 千字

2012年1月第1版第1次印刷 印数 1—4000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是根据2009年12月国家教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会关于《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》精神,在总结多年来教学经验的基础上,对机械工程材料、金属工艺学(热加工基础和机械加工基础)等教材的内容进行了精选和整合后编写而成的。

全书包括机械工程材料及热处理、材料成形和机械加工成形三大部分。其中,工程材料及热处理部分主要包括工程材料的力学性能、铁碳合金相图、钢的热处理和常用工程材料的性能及应用;材料成形以介绍零件毛坯的成形方法为主,强化工艺设计,培养学生分析问题和解决问题的能力,以利于应用型人才培养的要求,主要内容有铸造成形、锻压成形、焊接成形、非金属材料成形及毛坯的选择;机械加工成形包括金属切削加工基础知识、零件典型表面加工方法及常用设备、零件结构工艺性,以及机械加工工艺过程的制定。

本书不仅对经典内容进行了充实,扩充了新技术、新工艺和现代加工方法,而且精选增加了工程材料及热处理的内容,采用最新国家标准和法定计量单位。力图使学生和读者获得从材料选择、毛坯制造到加工成合格零件的综合知识,具备毛坯选择、零件加工方法及工艺分析的初步能力和创新意识。

本书可作为高等学校机械类、近机类各专业的教材,也可供电视大学、各类成人高校相关专业选用。其中的工程材料及热处理部分,对于已开设“工程材料”相关课程的专业,可起到承上启下的作用;对于未开设“工程材料”课程的专业,既可作为课堂讲授内容,也可作为学生自学内容,根据各院校及不同专业的要求灵活掌握。

本书由天津科技大学杜素梅任主编,郑连义、朱征任副主编,孔德音教授任主审。参加编写的人员有:刘志平(1.1节),杜素梅(1.2节~1.6节,7.2节~7.8节),朱征(第2章),郑连义(第3、4、5、6章),李志诚(7.1节),潘存海(8.1节~8.3节),朱恩龙(8.4节)。

孔德音教授在审稿过程中对本书的编写提出了许多改进建议,在此表示衷心感谢。

在本书编写过程中,参考并引用了大量有关教材、手册、期刊及网络上的相关内容,全体编写人员在此特向有关出版社和作者表示诚挚谢意。

由于本书涉及专业面较广,限于编者水平和经验,书中疏漏和欠妥之处在所难免,敬请专家、同行和读者批评指正。

编 者
2011年11月

目 录

第 1 章 工程材料及热处理	1
1.1 材料常用的力学性能指标	1
1.1.1 材料的刚度、强度和塑性	1
1.1.2 材料的硬度	3
1.1.3 材料的冲击韧性	5
1.1.4 材料的疲劳强度	6
1.2 铁碳合金	6
1.2.1 纯铁及其同素异构转变	6
1.2.2 铁碳合金的基本组织	8
1.2.3 铁碳合金相图	9
1.3 钢的热处理	11
1.3.1 钢在加热时的转变	12
1.3.2 钢在冷却时的转变	12
1.3.3 钢的退火与正火	15
1.3.4 钢的淬火和回火	16
1.3.5 钢的表面热处理	18
1.4 常用钢铁材料	21
1.4.1 钢的分类及编号方法	21
1.4.2 结构钢	22
1.4.3 工具钢	26
1.4.4 不锈钢	29
1.5 常用有色金属材料	29
1.5.1 铝及铝合金	29
1.5.2 铜及铜合金	31
1.5.3 轴承合金	32
1.6 常用非金属材料 and 复合材料	33
1.6.1 工程塑料	33
1.6.2 合成橡胶	34
1.6.3 工业陶瓷	34
1.6.4 复合材料	35
思考及作业题	36

第2章 铸造成形	38
2.1 概述	38
2.2 合金的铸造性能	38
2.2.1 合金的充型能力	38
2.2.2 合金的收缩	42
2.2.3 合金的吸气性与偏析性	47
2.3 常用铸造合金材料	48
2.3.1 铸铁	48
2.3.2 常用铸铁的特点及应用	50
2.3.3 铸钢	58
2.3.4 非铁铸造合金	60
2.4 砂型铸造	62
2.4.1 砂型铸造的基本工艺	62
2.4.2 砂型铸造工艺设计	69
2.4.3 砂型铸件的结构设计	79
2.5 特种铸造	85
2.5.1 特种铸造方法简介	85
2.5.2 特种铸造铸件结构设计	90
2.6 常用铸造方法比较	90
思考及作业题	91
第3章 锻压成形	94
3.1 概述	94
3.1.1 锻压成形的特点	94
3.1.2 锻压成形的分类	94
3.2 金属的塑性变形	95
3.2.1 金属塑性变形的实质	95
3.2.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	96
3.2.3 金属的可锻性	100
3.3 自由锻造	103
3.3.1 自由锻造的设备	104
3.3.2 自由锻造的基本工序	105
3.3.3 自由锻造工艺规程的制定	107
3.4 模型锻造	109
3.4.1 锤上模锻	109
3.4.2 胎模锻造	115
3.4.3 摩擦压力机上模锻	115
3.4.4 曲柄压力机上模锻	116
3.4.5 平锻机上模锻	117

3.4.6 精密模锻	118
3.5 冲压	119
3.5.1 冲压设备	120
3.5.2 冲压工序	120
3.5.3 冲压模具	128
3.6 挤压	130
思考及作业题	132
第4章 焊接成形	134
4.1 概述	134
4.2 焊接的基本原理	135
4.2.1 焊接电弧	135
4.2.2 熔焊冶金过程的特点	136
4.2.3 熔焊接头的组织和性能	137
4.2.4 焊接应力和变形	139
4.2.5 金属的焊接性	143
4.3 熔焊	144
4.3.1 焊条电弧焊	144
4.3.2 埋弧自动焊	148
4.3.3 二氧化碳气体保护焊	150
4.3.4 氩弧焊	151
4.3.5 等离子弧焊	152
4.3.6 电渣焊	154
4.4 压焊	155
4.4.1 电阻焊	155
4.4.2 摩擦焊	163
4.5 钎焊	165
4.6 常用金属材料的焊接性能	167
4.6.1 碳素钢和低合金结构钢的焊接性能	167
4.6.2 不锈钢的焊接性能	168
4.6.3 铸铁的焊接性能	170
4.6.4 常用有色金属的焊接性能	171
4.7 焊接结构设计	172
4.7.1 焊接结构材料的选择	172
4.7.2 焊缝的布置	174
4.7.3 焊接接头设计	176
4.8 焊接缺陷	178
思考及作业题	179
第5章 非金属材料成形	182
5.1 工程塑料成形	182

5.1.1	注射成形	182
5.1.2	挤出成形	188
5.1.3	压制成形	190
5.1.4	中空吹塑成形	191
5.1.5	塑件的结构工艺性	192
5.2	工业橡胶成形	195
5.2.1	压制成形	195
5.2.2	压延成形	196
5.2.3	挤出成形	196
5.2.4	注射成形	197
5.3	陶瓷成形	197
5.3.1	粉体的制备	197
5.3.2	坯体的成形	198
	思考及作业题	199
第6章	零件毛坯的选择	200
6.1	常用毛坯的特点	200
6.2	机械零件毛坯选择原则	201
6.3	常用机械零件毛坯的选择	202
	思考及作业题	206
第7章	机械加工成形	207
7.1	金属切削加工基础知识	207
7.1.1	切削运动	207
7.1.2	加工表面和切削用量	208
7.1.3	刀具材料	209
7.1.4	刀具角度	213
7.1.5	切削层几何参数	216
7.1.6	金属切削过程	217
7.1.7	加工质量和切削用量的选择	226
7.1.8	工件材料的切削加工性	229
7.2	金属切削加工机床	231
7.2.1	机床型号编制方法	231
7.2.2	机床的传动	233
7.2.3	机床的传动系统	237
7.3	常用切削加工方法	241
7.3.1	车削加工	241
7.3.2	钻削和镗削加工	246
7.3.3	刨削和插削加工	249
7.3.4	铣削加工	251
7.3.5	拉削加工	254

7.4 磨削加工	256
7.4.1 砂轮的特性及其选用原则	256
7.4.2 磨削过程及工艺特点	260
7.4.3 磨削的应用	261
7.4.4 高效磨削	263
7.5 光整加工	264
7.5.1 研磨	265
7.5.2 珩磨	265
7.5.3 抛光	267
7.6 典型表面加工方案及选择	268
7.6.1 外圆表面的加工方案	268
7.6.2 孔的加工方案	269
7.6.3 平面的加工方案	270
7.6.4 齿轮齿形的加工方案	271
7.7 零件的结构工艺性	275
7.7.1 零件结构工艺性的概念	275
7.7.2 一般原则和实例分析	276
7.8 机械加工工艺过程	280
7.8.1 机械加工工艺过程的组成	280
7.8.2 生产类型	282
7.8.3 工件的安装和基准	283
7.8.4 机械加工工艺过程的制定	286
7.8.5 零件加工工艺过程举例	292
思考及作业题	297
第8章 现代加工方法综述	301
8.1 精密与超精密加工	301
8.1.1 金刚石精密和超精密切削加工	301
8.1.2 精密和超精密磨削加工	302
8.2 特种加工	302
8.2.1 特种加工概述	302
8.2.2 电火花加工	303
8.2.3 电解加工	305
8.2.4 电解磨削	307
8.2.5 电铸加工	308
8.2.6 超声波加工	308
8.2.7 激光加工	310
8.3 快速成形技术	312
8.3.1 快速成形原理	312
8.3.2 快速成形的特点及应用	313

8.3.3 快速成形的典型工艺 313

8.4 数控机床加工 315

8.4.1 数控机床的组成 315

8.4.2 数控机床工作原理 317

8.4.3 数控机床的坐标系 318

8.4.4 数控加工程序编制 318

8.4.5 数控加工的工艺特点 320

思考及作业题 320

参考文献 321

第1章 工程材料及热处理

工程材料主要指应用于工程构件、机械零件、工模具等工程领域中的材料,可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料。其中,最基本的是金属材料。

金属材料包括黑色金属和有色金属。黑色金属主要指以铁为基的钢铁材料,其余为有色金属(包括铝合金、铜合金、钛合金、镍合金等)。金属材料具有良好的综合性能,用量最大,应用范围最广。非金属材料包括高分子材料、陶瓷材料。高分子材料主要有塑料、橡胶、合成纤维和胶黏剂,具有熔点低、质量轻、耐腐蚀的特性。陶瓷材料又称无机非金属材料,硬度很高,耐腐蚀性和绝缘性优良。复合材料是一种具有发展前途的新型工程材料,可以由金属材料、高分子材料和陶瓷材料中任两种或几种制备而成,目前可分为金属基、高分子基和陶瓷基复合材料三大类,质量轻,比强度和比刚度高,结合了以上材料的性能优点。

在设计和制造机械产品时,应根据零件的工作条件选用合适材料,并选择合理加工工艺,以满足使用性能要求,提高零件使用寿命。

1.1 材料常用的力学性能指标

材料在外力作用下会产生变形。材料的力学性能指材料在抵抗外力作用时所表现出来的特性,是衡量材料性能极其重要的指标。描述材料力学性能的主要指标有弹性、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1.1.1 材料的刚度、强度和塑性

材料的弹性、强度和塑性可以通过静载拉伸试验测定出材料的拉伸曲线来确定,试样和试验方法按 GB/T 228.1—2010《金属材料室温拉伸试验方法》规定进行。拉伸曲线描述的是静拉力 F 与延伸 ΔL 之间的关系。为使曲线能直接反映出材料的力学性能,分别用应力 R 和延伸率 e 代替力 F 和延伸 ΔL ,转化为 $R-e$ 曲线。图 1-1 所示为低碳钢的拉伸曲线。在外力作用下,金属材料的变形过程可分为三个阶段。

(1) 弹性变形阶段。直线段 Oe 为弹性变形阶段。若在此变形阶段卸去载荷,试样的伸长量会消失并恢复原状。 e 点是在弹性变形阶段材料所能承受的最大应力,用 R_e 表示。

(2) 塑性变形阶段。 em 段为塑性变形阶段。当曲线超过 e 点后,若卸去载荷,试样会留下残余变形即发生塑性变形。在此阶段,随着载荷的增大,超过 e 点时,曲线出现平台。这种在载荷不增加的情况下,试样还继续伸长的现象叫做“屈服”,屈服阶段的最小应力是下屈服点 L 的应力 R_{eL} 。之后继续增加载荷,材料开始明显地塑性变形,达到 m 点应力最大,试样的某一部位截面开始急剧缩小,出现“缩颈”现象,以后的变形就集中在缩

颈附近。

(3) 断裂阶段。 mk 段为断裂阶段。缩颈处试样截面急剧缩小并迅速伸长,应力明显下降,最后断裂。

1. 弹性和刚度

在 $R - e$ 曲线中直线部分的斜率称为弹性模量 E ,单位为 MPa。弹性模量 E 的大小反映了材料抵抗弹性变形能力的大小,并取决于基体金属的本性。

工程上,常把构件抵抗弹性变形的能力称为构件的刚度。弹性模量 E 值越大,弹性越小,刚度越大。零件或构件的刚度除了与材料的弹性模量 E 有关外,还与其横截面积及形状有关。对同类材料,提高零件或构件刚度的主要方法是增加其横截面积或改变其截面形状。若零件或构件的刚度不足,在使用中将会由于发生过大的弹性变形而失效。

2. 强度

在外力作用下,材料抵抗变形和破断的能力称为材料的强度,其物理意义是材料在每个变形阶段的应力极限值。根据外力作用的方式,强度指标有多种,如抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度、疲劳强度等。当材料承受静拉力时,强度指标主要有弹性极限、屈服强度和抗拉强度,单位为 MPa。

1) 弹性极限

在外力作用下,材料发生纯弹性变形的最大应力值称为弹性极限,用 R_e 表示,即在图 1-1 中 e 点对应的应力值,表征材料抵抗微量塑性变形的能力。

2) 屈服强度

当金属材料呈现屈服现象时,发生塑性变形而力不增加的应力点,有上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} 之分,一般取下屈服强度 R_{eL} (旧标准用 σ_s),如图 1-1 所示。

机械零件在使用时,一般不允许发生塑性变形,屈服强度是大多数机械零件设计选材的主要依据,是评定金属材料承载能力的重要力学性能指标。材料的屈服强度越高,允许的工作应力越高,零件所需的截面尺寸和自身重量就可以减小。

3) 抗拉强度

材料在拉伸载荷作用下所能承受的最大应力称为抗拉强度,用 R_m (旧标准用 σ_b) 表示,表征材料抵抗断裂的能力,如图 1-1 所示。

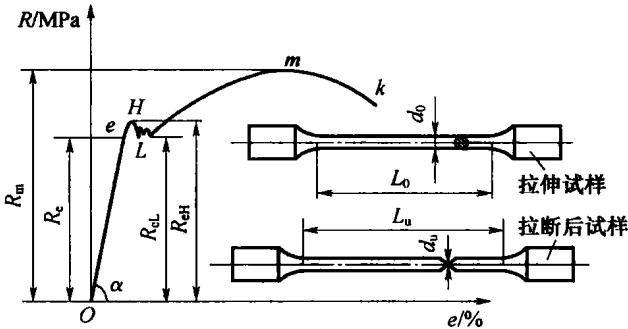


图 1-1 低碳钢的的应力—延伸率曲线图($R - e$ 曲线图)

屈服强度和抗拉强度是零件设计和选材的重要依据。屈服强度与抗拉强度的比值 $\frac{R_{el}}{R_m}$ 称为屈强比,表征材料抵抗永久变形的能力。屈强比小,工程构件的可靠性高,即使过载或某些意外因素使金属变形,也不至于立即断裂;但屈强比过小,则材料强度的有效利用率太低。

3. 塑性

在外力作用下,材料产生塑性变形而不破断的能力称为材料的塑性。工程上,常用断后伸长率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

1) 断后伸长率 (percentage elongation after fracture)

试样断后标距的残余伸长量与原始标距的百分率,称为材料的断后伸长率,用符号 A 表示(旧标准用 δ),可用下式计算:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_0 为试样的原始标距长度; L_u 为试样拉断后的标距长度。

2) 断面收缩率 (percentage reduction of area)

断裂后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率,称为材料的断面收缩率,用符号 Z 表示(旧标准用 Ψ),可用下式计算:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中: S_0 为试样的原始横截面积; S_u 为试样的断后最小横截面积。

A 和 Z 的值越大,材料的塑性越好。塑性直接影响到零件的成形和使用,塑性好的材料,不仅能顺利地进行轧制、锻压等成形工艺,而且在使用中可因塑性变形而避免偶然过载时发生的突然断裂;工件的应力集中处,也可因塑性变形使应力松弛,使工件不至于过早断裂,因此大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须有一定的塑性。一般,断后伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料,即可满足大多数零件的使用要求。

1.1.2 材料的硬度

硬度是衡量材料软硬程度的指标,指材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划裂的能力,是表征金属材料力学性能的一个综合参量。一般,材料的硬度越高,强度越高,耐磨性越好,但塑性越低。因此零件设计时,若有力学性能要求,在零件图纸上通常仅标出其硬度要求。

生产上常用静载压入法,在硬度计上测量材料的硬度。工程上,常用测量金属材料硬度的指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等,其基本原理相同,主要区别在于压头的形状和载荷的大小不同。

1. 布氏硬度 (HB)

布氏硬度试验方法按 GB/T 231.1—2002《金属洛氏硬度试验》规定执行,其试验原理如图 1-2 所示。用一定试验力 F ,将直径为 D 的硬质合金球体压入被测材料的表面,保持一定时间后,卸去试验力,根据压痕表面积 S 确定硬度大小。将材料单位面积 S 上承受

的载荷即 $\frac{F}{S}$ 的比值乘以一常数后定义为布氏硬度,符号为 HBW。具体试验时,用放大镜测量出压痕直径 d ,按已知的载荷 F 和压头直径 D 查表,即得所测材料的硬度。

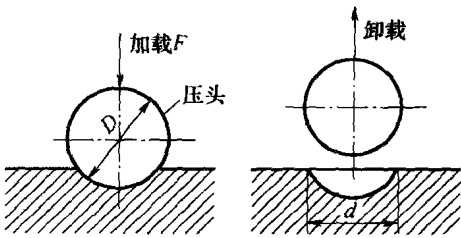


图 1-2 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度压痕面积大,准确度高,但测量费时,不适于测量成品零件、薄件或太硬材料的硬度。测量硬度范围为 $\leq 650\text{HBW}$ 。目前,布氏硬度主要用于测量经退火、正火和调质处理钢件,以及铸铁、有色金属等材料的硬度。

2. 洛氏硬度(HR)

洛氏硬度试验方法按 GB/T 230.1—2004《金属洛氏硬度试验》规定执行,其试验原理如图 1-3 所示。将标准压头用规定初试验力和主试验力分步骤压入被测材料,保持一定时间后,卸去主试验力,测量压痕深度($h_3 - h_1$)来确定硬度值,用 HR 表示。

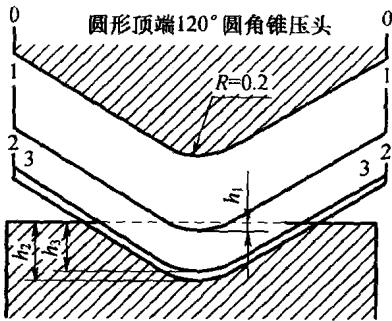


图 1-3 洛氏硬度试验原理示意图

根据试验力与压头种类的配合不同,常用的洛氏硬度标尺有 HRC、HRB 和 HRA 三种,其压头类型、试验力和适用范围见表 1-1。

表 1-1 常用洛氏硬度试验条件及其适用范围(摘自 GB/T 230.1—2004)

洛氏硬度标尺	表盘刻度颜色	硬度符号	压头类型	总试验力 F/N	适用范围	应用举例
C	黑色	HRC	120°金刚石圆锥	1471	20 HRC ~ 70 HRC	调质态、淬火态钢等
B	红色	HRB	直径 $\phi 1.5875\text{mm}$ 淬火钢球	980.7	20 HRB ~ 100 HRB	有色金属、铸铁、退火和正火态钢等
A	黑色	HRA	120°金刚石圆锥	588.4	20 HRA ~ 88 HRA	硬质合金等

洛氏硬度值可从洛氏硬度试验机的表盘上直接读出,操作简便,软硬金属都可测试,

且压痕小,可用于成品的检验,应用广泛。由于洛氏硬度压痕小,载荷较大,因此重复性差,不宜测量极薄工件及渗层、镀层的硬度,并且不同标尺的硬度值无法比较。

3. 维氏硬度(HV)

维氏硬度试验法弥补了洛氏和布氏硬度的不足,软硬材料都可以测试,且硬度值能够相互比较。其试验原理与布氏硬度相似,不同之处是压头的形状,因此压痕不同。如图 1-4 所示,维氏硬度压头为 136°金刚石正四棱锥体,压痕为正方形或棱形,需测量两对角线的长度,求平均值,再根据试验力查表得到硬度值,符号为 HV。

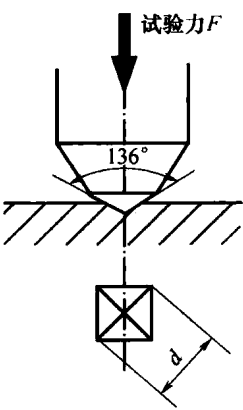


图 1-4 维氏硬度试验原理示意图

维氏硬度试验力较小, $(5 \sim 12) \times 9.8\text{N}$ 可调,且压痕小,准确度高,软硬材料都可以测试,并统一比较。适于测定薄件和经表面处理零件的表面层的硬度,如渗层、表面淬硬层、电镀层等,以及微观组织的硬度。

1.1.3 材料的冲击韧性

在工业生产中,有许多零件和工具是在冲击载荷的作用下使用,如自由锻锻锤、冲床冲头、汽车齿轮、炮管等。这类零件不仅要具有高的强度,而且应具备足够抵抗冲击载荷的能力。材料在冲击载荷作用下抵抗破断的能力称为冲击韧性,用 a_k 表示,单位为 J/cm^2 ,是衡量材料在冲击载荷作用下的力学性能指标。

工程上,冲击韧性的测试常用一次摆锤冲击弯曲试验法,按 GB/T 229—2007《金属材料夏比冲击试验方法》规定执行。标准冲击试样尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$,长度中间开有“V”形或“U”形缺口。试样放在冲击试验机的支座上,使缺口背向摆锤冲击方向。图 1-5 所示为一次摆锤冲击试验原理示意图。

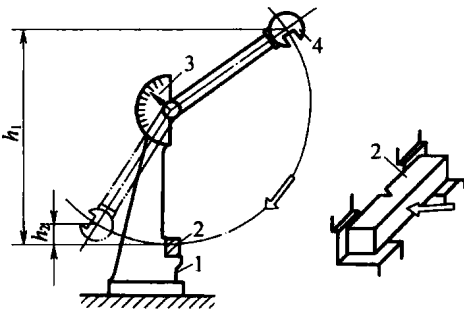


图 1-5 一次摆锤冲击试验原理示意图
1—支座; 2—试样; 3—指针; 4—摆锤。

冲击韧性的物理意义是试样在冲断时单位横截面积(cm^2)上所消耗的冲击功 A_k (J)。冲击功 A_k 值可以从试验机刻度盘上直接读出, A_k 值越大,说明材料的冲击韧性越好。

在生产上, a_k 值主要用于:

(1) 评定材料的冶金质量和锻造、热处理产生的缺陷,如气孔、夹杂、疏松等宏观缺陷和微观缺陷。

(2) 与屈服强度结合用于一般零件抗断裂设计。

(3) 测量材料的冷脆转变温度。不同地区环境温度相差比较大,而材料的 a_k 值对温度很敏感。有些材料常温下为塑性材料,但在低温下工作时脆性却非常大,因此材料的使用温度应高于其冷脆转变温度。

1.1.4 材料的疲劳强度

许多零件经常受到大小及方向变化的交变载荷,如弹簧、齿轮、滚动轴承等。在交变载荷作用下,材料常在远低于其屈服强度的应力下发生断裂,这种现象称为疲劳断裂。与静载荷下的断裂不同,材料在疲劳断裂前无明显塑性变形,因此具有更大危险性。

常用评定材料疲劳抗力的指标是疲劳强度。金属材料一般用弯曲疲劳试验法测定。材料在规定次数(一般钢铁材料取 10^7 次,有色金属及其合金取 10^8 次)的交变载荷作用下,不至引起断裂的最大应力,称为疲劳极限或疲劳强度。光滑试样的弯曲疲劳强度用 R_{-1} (旧标准用 σ_{-1}) 表示。一般,钢铁材料的 R_{-1} 值约为其抗拉强度 $R_m(\sigma_b)$ 值的 $1/2$ 。

生产中,可通过合理选材,改善材料的结构形状,避免应力集中,减小材料和零件的缺陷,减小零件的表面粗糙度值,对表面进行强化、喷丸处理等,提高材料的疲劳抗力。

1.2 铁 碳 合 金

虽然纯金属在工业上获得了一定的应用,但由于其性能的局限性,目前应用的大多数金属材料是合金。合金是由两种或两种以上的金属元素,或金属与非金属元素,经熔炼、烧结或其他方法结合而成并具有金属特性的物质。由铁和碳两种元素组成的合金称为铁碳合金。在机械制造中,钢和铸铁是应用最为广泛的金属材料,都是以铁碳合金为基础的合金材料,因此了解铁碳合金的变化特性,是了解钢铁材料的成分、组织和性能变化的基础。

1.2.1 纯铁及其同素异构转变

1. 金属的结晶过程

金属的结晶是液态金属转变为固态金属晶体的过程。纯金属的结晶过程可用冷却曲线来表示,如图 1-6 所示。纯金属的结晶是在恒温下进行、一定的过冷度下完成,即存在“过冷”现象。过冷度是理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_1 之差,用 ΔT 表示。过冷度 ΔT 的大小与冷却速度有关,冷却速度越快,实际结晶温度 T_1 越低,过冷度 ΔT 越大;反之,过冷度 ΔT 越小。

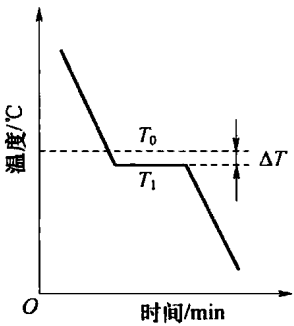


图 1-6 纯金属的冷却曲线

液态金属的结晶由晶核的形成和晶核的长大两个基本过程组成。在液态金属中,存在着时聚时散的原子集团,它们规则排列形成晶坯。在一定过冷度下,一些尺寸较大的晶坯将会长大形成晶核,晶核形成后便向各方向长大,同时,又有新的晶核产生。晶核不断形成并长大成为晶粒,直到相邻的晶粒彼此接触,液体金属完全消失,结晶成金属晶体。

工程上使用的金属材料大多数为多晶体。组成多晶体的晶粒大小不一,晶粒与晶粒之间的接触面称为晶界。金属材料的力学性能与金属晶粒的大小密切相关。在常温下,晶粒越细小,金属材料的强度和硬度越高,塑性和韧性越好。生产中,把通过细化晶粒提高金属材料强韧性的方法称为细晶强化,是强化金属材料的主要途径之一。在铸造生产

中,细化铸态金属晶粒的主要方法如下:

(1) 控制过冷度。在一般生产中的过冷度范围内,过冷度越大,晶粒越细小。例如,采取“高温熔化,低温浇注”等工艺措施。

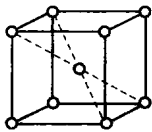
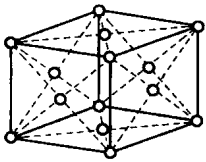
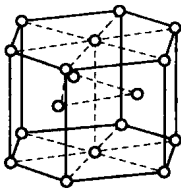
(2) 变质处理。又称孕育处理,是在液态金属浇注前加入变质剂,增加晶核数量,细化晶粒。

(3) 附加振动、搅拌等。一方面,附加能量可促进形核;另一方面,可打碎正在生长树枝晶,碎晶作为新的晶核,使晶粒细化。

2. 金属的晶体结构

晶体结构指晶体内部原子、离子或分子规则排列的方式。晶体结构不同,材料的性能往往相差很大。采用 X 射线衍射分析纯金属的晶体结构发现,大多数金属都属于三种典型的晶体结构类型,其特征见表 1-2。

表 1-2 三种典型的晶体结构类型及其特征

特征 晶格类型	晶胞	晶胞中 原子数	原子半径 r 与晶 格常数 a 的关系	致密度 ^① /%	典型金属
体心立方晶格		2	$r = \frac{\sqrt{3}a}{4}$	68	α -Fe、W、Cr、Mo
面心立方晶格		4	$r = \frac{\sqrt{2}a}{4}$	0.74	γ -Fe、Al、Cu、Au、Pb
密排六方晶格		6	$r = \frac{a}{2}$	0.74	Zn、Mg、Ti、Zr
① 致密度指在晶胞中原子所占的体积百分数,表示原子排列的紧密程度					

一般,具有面心立方晶格结构的金属塑性最好,体心立方晶格的次之,密排六方晶格金属的塑性相对较差。

3. 纯铁的同素异构转变

大多数金属在固态下只有一种晶体结构,而纯铁在固态下随温度改变,晶体结构会发生变化,即具有同素异构转变。纯铁从液态到室温的结晶过程中发生了两次同素异构转变,如图 1-7 所示。液态纯铁结晶后,在 1538℃ ~ 1394℃ 为体心立方晶格结构,称为 δ -Fe;缓慢冷却至 1394℃ 发生同素异构转变,转变成面心立方晶格的 γ -Fe;再缓冷至