

二十一世纪高职高专规划教材

工程材料与热加工工艺

主 编 谌 峰 王 波
副主编 徐胜利 李 艳
主 审 魏公际

西北大学出版社

前 言

本书是按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”，并参考《高等学校工程专科工程材料教学基本要求》和《高等学校工程专科热加工工艺基础教学基本要求》编写的。

本书力求基础理论知识以“必要、够用”为度，以阐述概念、强化应用为重点，突出基础理论的应用和实践技能的培养。其目的是为 21 世纪高素质应用性机械类人才掌握常用的工程材料及其热加工工艺的基础理论知识和实用知识。

本书共分常用工程材料和热加工工艺两大部分，第一部分较系统地介绍金属的力学性能、金属学基本知识、钢的热处理和常用的工程材料。使学生具有较系统的工程材料基本理论，初步掌握合理选择常用工程材料并制定较合理的热处理工艺方案的能力；第二部分较系统地介绍热加工成形原理及工艺特点，强化实用性，使学生初步掌握合理选择材料成形方法的能力，重点培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书由西安航空职业技术学院谯峰、王波担任主编，徐胜利、李艳担任副主编，西安航空职业技术学院魏公际担任主审。参加本书编写的有：西安航空职业技术学院谯峰（绪论、第 8、9 章）、王波（第 2、7 章）、徐胜利（第 4、6、12、15 章）、李艳（第 1 章）、徐竹（第 3、11 章）、张琳（第 5 章）、陈茂军（第 10 章）、龚小涛（第 13 章）、惠媛媛（第 14 章）。

本书编写得到了有关人士的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！

本书编写力求适应 21 世纪高等技术应用性人才教育的改革和发展的要求，但由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

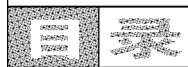
2007 年 10 月



绪论	/1
1. 材料的发展概述	/1
2. 工程材料	/2
3. 热加工工艺	/2
4. 本课程的目的、任务和学习方法	/3
第 1 章 金属的力学性能	/5
1.1 强度与塑性	/5
1.2 硬度	/8
1.3 冲击韧性	/12
1.4 疲劳断裂与疲劳极限	/14
第 2 章 金属的晶体结构	/17
2.1 金属的晶体结构	/17
2.2 金属的实际结构和晶体缺陷	/20
2.3 合金的晶体结构	/22
第 3 章 金属的结晶	/25
3.1 纯金属的结晶	/25
3.2 合金的结晶	/28
第 4 章 金属塑性变形与再结晶	/38
4.1 金属与合金的塑性变形	/38
4.2 塑性变形对组织和性能的影响	/41
4.3 回复与再结晶	/43
4.4 金属的热加工	/46



第 5 章 铁碳合金相图	/48
5.1 铁碳合金的基本组织	/48
5.2 铁碳合金相图	/49
5.3 铁碳合金相图的应用	/56
第 6 章 碳钢	/58
6.1 杂质元素对碳钢性能的影响	/58
6.2 碳钢的分类和牌号	/59
第 7 章 钢的热处理	/66
7.1 钢的热处理概述	/66
7.2 钢在加热时的组织转变	/67
7.3 钢在冷却时的组织转变	/69
7.4 钢的退火和正火	/75
7.5 钢的淬火	/78
7.6 淬火钢的回火	/81
7.7 钢的表面热处理	/84
7.8 钢的化学热处理	/86
第 8 章 合金钢	/91
8.1 合金元素在钢中的作用	/91
8.2 合金钢的分类和牌号表示方法	/97
8.3 合金结构钢	/99
8.4 合金工具钢	/115
8.5 不锈钢与耐热钢	/126



第 9 章 铸铁	/132
9.1 铸铁的石墨化	/133
9.2 铸铁的组织及性能	/135
9.3 铸铁的热处理	/142
9.4 特殊性能铸铁	/144
第 10 章 有色金属材料	/147
10.1 铝及铝合金	/147
10.2 铜及铜合金	/156
10.3 钛及钛合金	/160
第 11 章 非金属材料 and 复合材料	/163
11.1 高分子材料	/163
11.2 陶瓷材料	/170
11.3 复合材料	/171
第 12 章 铸造生产	/177
12.1 合金的铸造性能	/177
12.2 砂型铸造	/184
12.3 铸件结构设计	/193
12.4 铸件生产和质量检验	/198
12.5 特种铸造	/206
12.6 铸造方法选择	/214
第 13 章 锻压生产	/217
13.1 金属塑性变形基础	/217



13.2	自由锻生产	/220
13.3	模锻	/227
13.4	锻件质量检验	/234
13.5	冲压加工	/236
13.6	特种锻压工艺	/245
13.7	锻压生产方法选择	/249
第14章	焊接生产	/253
14.1	概述	/253
14.2	熔焊过程和焊接质量	/254
14.3	其他焊接方法	/268
14.4	堆焊和热喷涂	/280
14.5	热切割	/281
14.6	常用金属材料的焊接	/283
14.7	焊接方法的选择	/287
14.8	焊接结构设计	/288
第15章	机械零件的选材和毛坯加工方法选择	/299
15.1	机械零件选材的原则、方法和步骤	/299
15.2	机械零件毛坯选择的依据和原则	/302
15.3	常用机械零件毛坯的种类和选择方法	/303
15.4	零件的选材和毛坯选择实例	/306
参考文献		/312

绪 论

1 材料的发展概述

材料是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。它不仅是人类赖以生存和发展的重要物质基础,也是人类文明进步的里程碑。时代的发展需要材料,而材料又推动时代的发展,因此人们把材料视为现代文明的支柱之一。

人类发展的历史证明,材料是社会进步的物质基础,是人类进步程度的主要标志。人类的历史是从制造工具开始的,而制造工具就需要材料,因而材料的历史和人类文明的历史同样久远。历史学家曾用生产工具的材料来划分人类文明的历史,即把远古到近代分为石器时代、陶器时代、铜器时代、铁器时代等。

原始人类,如 200 万年前的重庆巫山人和 170 万年前的云南元谋人已经知道选择质地坚硬的石英岩打制石器,在其后漫长岁月中,石器一直是人们进行生产的主要工具,这个时代就称为石器时代。随后,人类发现可塑性好的粘土加热变硬,制备了陶器。陶器的出现,不但用于器皿,而且成为装饰品,这标志着人类利用天然材料经过技术加工改造为人工材料。在烧制陶器过程中,人们偶然发现金属铜和锡。当然,那时人类还不明白,这是铜、锡的氧化物在高温下被碳还原的产物,进而又生产出色泽鲜艳又能浇铸成型的青铜,这是人类历史上发明的第一种合金,它的出现标志着人类逐步进入了青铜器时代,同时也标志着人类进入了文明社会。我国的青铜冶炼始于公元前 2000 年(夏代早期),晚商和西周是我国青铜器时代的鼎盛时期,如河南安阳出土的重达 875 公斤的商代司母戊方鼎,总重量超过 1 万公斤的气势恢宏的湖北随县的编钟和西安青铜车马等青铜器都充分反映了当时中国冶金技术的水平和制造工艺的高超。这是人类较大量利用金属的开始,也是人类文明发展的重要里程碑。此后,人类又发现铁矿石并利用还原法生产铁,人类开始用铁,因铁工具比青铜工具有许多优点从而更为广泛使用,自此人类进入了铁器时代,生铁冶铸技术的发明加快了文明发展的进度。如春秋末期,用生铁退火而制成可锻铸铁及以生铁炼钢的发明,促进了生产力的大发展,对农业、水利和军事的发展起到很大作用。

随着人类文明的进步,18 世纪发明了蒸汽机,19 世纪发明了电动机,对金属材料性能提出更高要求,同时对钢铁冶金技术产生了更大推动作用。伴随着不同类型的特殊钢相继问世,如 1887 年高锰钢、1900 年 18-4-1(W18Cr4V)高速钢、1903 年硅钢及 1910 年奥氏体镍铬(Cr18Ni8)不锈钢及镁、钛和很多稀有金属相继出现,金属材料在整个 20 世纪占据了结构材料的主导地位。

从 20 世纪中期至今,人工合成有机材料、陶瓷材料及先进复合材料迅速发展,推动了航天、航空、汽车等技术发展,以致有人将这个时代称为精密陶瓷时代、电子材料时代、复合材料时代、塑料时代或合成材料时代等等。不管叫什么名称,都反映了新材料对科

技进步和社会发展的巨大贡献,也反映了当代材料的多样化。

总之,材料既是人类社会进步的里程碑,又是社会现代化的物质基础与先导。材料,尤其是新材料的研究、开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平。

2 工程材料

工程材料是工程中用于制作各种结构、零件和工具的固体材料。可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是最重要的、用量最大的工程材料,它包括:钢铁材料(俗称黑色金属),如钢、铸铁等;非铁金属材料(俗称有色金属),如铜及铜合金、铝及铝合金等。钢铁材料应用最广,在农业机械、机床设备、电工设备、化工和纺织机械等机械工程制造业中,钢铁材料占 90% 左右。在有色金属材料中,铝及其铝合金用量最大,因其质量轻而大量用于飞机制造业,如波音 767 飞机的用材,铝合金占 81%。

非金属材料是泛指除金属材料和复合材料以外的材料,工程中常用的有高分子材料、陶瓷材料等。最常用的高分子材料为塑料、橡胶、粘接剂等,因具有金属材料所不具备的特性而广泛使用。如塑料具有质量轻、强度高、耐蚀、易于改性等特点,越来越广泛地应用在各个领域。

复合材料是由两种或两种以上性质不同而互补的材料所组成的并赋予新特性的材料。它具有比组成材料更优越的综合性能。自 1940 年用玻璃纤维增强树脂的玻璃钢问世以来,应用的领域在迅速扩大,品种、数量和质量都有了飞跃的发展。20 世纪 60 年代碳纤维增强树脂复合材料的出现加速了航空、航天技术的发展。如先进的复合材料已成功应用到飞机的机翼、机身、方向舵、减速板、进气道侧壁等重要部位,大大提高了飞机的性能。

3 热加工工艺

组成各种机器的基本单元称为零件,它是由符合性能要求的材料经过制造而成的具有特定形状、尺寸及功能的独立产品。因此,材料只有经过各种加工,包括材料的成形、改性、连接等,最终形成机器零件或产品,这样才能体现其功能和价值。机器零件的一般加工工艺路线如图 0-1,其中材料输入信息主要是指被加工材料目前的状态、性质、特征及最终所得零件应具有的形状、尺寸及性能要求等;而输入能源则是指为实现材料向零件的转变而需要消耗的能量,具体由设备或由人的操作来实现。

热加工工艺常通过加热或加压的方式,使材料在液态或固态下发生流动或连接,从而得到要求的形状、尺寸及性能的零件的方法,在热加工中,金属材料最常用的热加工工艺是铸造(液态材料的流动成形)、锻压(固态材料的塑性成形)及焊接(材料的连接成形)。此时所得到成形件大多数都是毛坯。合理选择不同的热加工方法及安排好工艺路线是保证产品质量并达到技术经济指标要求的重要因素之一。因此工程材料热加工在机械制造中占有重要的地位。

在零件的加工过程中,因毛坯的性能、精度及表面质量一般不能满足零件的设计要

求,所以在热加工后应进行热处理、切除加工等加工方法,最终才能获得满足设计要求的零件。

热处理是充分发挥材料潜力,保证和提高机器零件质量的有利手段,掌握材料组织和性能变化规律,正确选择热处理工艺参数是保证零件热处理工艺过程正常进行,从而获得满足设计要求的前提条件。

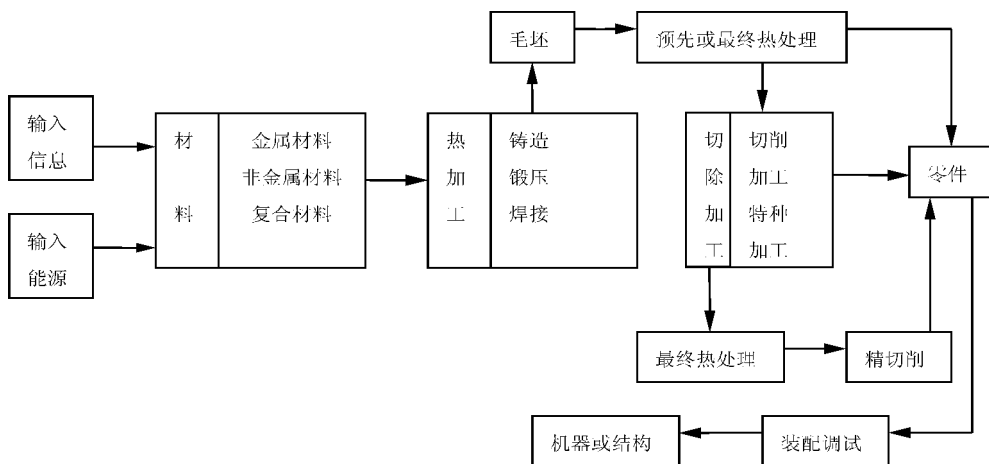


图 0-1 机器零件的一般加工工艺路线

4 本课程的目的、任务和学习方法

《工程材料与热加工工艺》是高职和高专机械类专业必修的一门主干专业课,其教学目的和任务是使学生获得常用工程材料和热加工的基础知识,了解新材料,掌握热加工的工艺方法,培养学生的工程素质、实践能力和工程创新设计能力。

本课程的内容共分两大部分:第一部分为工程材料篇,主要内容为金属力学性能、金属学基本知识、钢的热处理、常用金属材料、非金属材料、复合材料以及工程材料的选用等组成。第二部分为热加工基础篇,主要内容为铸造、锻压、焊接组成。学生在学完本课程以后,应达到以下基本要求:

- ①熟悉常用工程材料的成分、组织、性能之间的关系及变化规律。
- ②掌握常用工程材料的性能与应用,金属材料强韧化的基本途径,具有选用常用工程材料和改变材料性能方法的初步能力。
- ③掌握工程材料热加工工艺基本原理、工艺特点和应用,具有合理选择毛坯成形方法并设计毛坯结构的初步能力;
- ④建立工程材料与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识;
- ⑤了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。

本课程融多种工艺方法为一体,信息量大,实践性强,叙述性内容较多,必须在金工教学实习获得感性认识的基础上进行课堂教学,才能收到预期效果。教学方法应以课堂教学为主,安排适量的实验,同时辅之以多媒体 CAI、实物与模型、课堂讨论等多种教学手段和形式,以增强学生的感性认识,加深其对教学内容的理解;教学过程中应注意理论

联系实际,使学生在掌握理论知识的同时,提高分析问题和解决问题的工程实践能力;学生应注意观察和了解平时接触到的机械装置,按要求完成一定量的作业及复习思考题;对于课程中结构工艺性内容,尚须在后续课程及课程设计、毕业设计中反复练习、提高,运用所学知识尝试解决有关问题,从而较好地掌握本课程内容,达到基本掌握与应用的要求。

第 1 章 金属的力学性能

本章重点:1. 金属的力学性能判据

2. 强度:弹性极限、屈服点、抗拉强度
3. 硬度:布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度

在机械工程中,金属材料具有许多优良的性能,因而广泛地用于制造各种有用的机械构件、机械零件(如齿轮、轴、箱体)、工具和模具等。所谓“有用”就是指金属材料具有能为人类服役的使用性能,如力学性能(强度、硬度、塑性、韧性),物理、化学性能;所谓“制造”是指金属材料具有较好的工艺性能,如铸造、锻造、焊接、切削加工性能。

不同金属材料具有不同的性能,为了合理地、经济地选用所需的金属材料,必须熟悉金属材料的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能,其中使用性能主要指力学性能和物理性能。

人类最早学会利用的材料性能就是力学性能,如石器时代人们利用天然岩石的强度和硬度制造工具,青铜器时代人们利用铜的高塑性、高强度、良好的铸造性能加工鼎等,而在铁器时代人们利用 Fe—C 合金的高强度、高硬度和良好的塑性生产制造各类工具、机器等。

所谓金属材料的力学性能是指金属材料在外(应)力的作用下所表现出来的特性。最常用的力学性能判据有:强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

1.1 强度与塑性

金属材料在外应力的作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。所谓变形是指材料的形状发生了变化,一般分为弹性变形和塑性变形,变形的金属材料当外应力去除后,能够恢复原状的变形称为弹性变形,相反,不能够恢复原状的变形称为塑性变形。

相同的材料在不同的外应力(拉应力、压应力、弯屈应力、扭转应力等)作用下,表现出不同的抵抗变形和断裂的能力,如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。工程上最常用的屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、断面收缩率等判据是通过应变速率恒定的拉伸试验所获得。

1.1.1 拉伸试验

根据国家标准 GB/T228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》规定,以圆形拉伸试样为例,首先制备圆形标准拉伸试样,如图 1-1 所示,图中 d_0 为试样原始直径(mm), l_0 为试样原始标距长度(mm);然后在拉伸试验机上进行拉伸试验,即将已制备好的标准试样正确装夹在拉伸试验机的上下夹头间并夹紧,然后以恒定的应变速率加载,此时标准

试样两端承受缓慢增加的轴向拉力,与此同时在标准试样的各截面上产生拉应力;随轴向拉力的增加,拉应力相应增大,标准试样变形加剧直至拉断为止。图 1-2 是低碳钢的力—伸长量曲线,图 1-3 是低碳钢的应力—应变曲线。

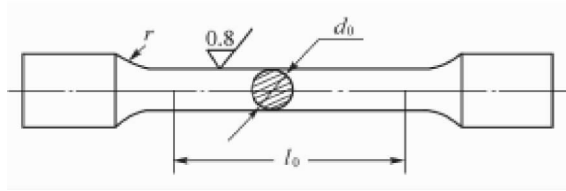


图 1-1 圆形标准拉伸试样

1.1.2 应力应变曲线分析

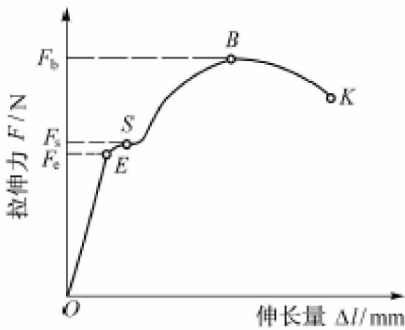


图 1-2 退火态的低碳钢的力—伸长量曲线

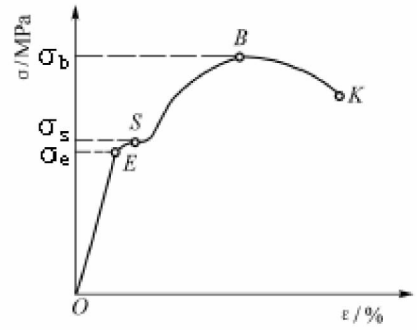


图 1-3 退火态的低碳钢的应力—应变曲线

应力应变曲线反映了金属材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形直至断裂的全部力学性能。应力应变曲线共分 4 个阶段：

1. OE: 弹性变形阶段

基本特征是应力应变间满足胡克定律,其比例系数定义为弹性模量,同时,当外力释放后,材料的变形能够恢复原来的状态。

2. ES: 屈服阶段

基本特征是不仅有弹性变形,还发生了塑性变形。外力释放之后再也不能恢复不到初始材料的长度。S 点处发生屈服现象,即外力不增加,试样却继续伸长。

3. SB: 强化阶段

基本特征是为使试样继续变形,载荷必须不断增加,随着塑性变形增大,材料变形抗力也逐渐增加。该阶段的塑性变形为均匀塑性变形。

4. BK: 缩颈阶段

当载荷达到最大值时,试样的直径发生局部收缩,称为“缩颈”。此后变形所需的载荷逐渐降低。试样在 K 点断裂。该阶段的塑性变形为不均匀塑性变形。

1.1.3 强度判据

1. 弹性极限

表征标准试样产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,用符号 σ_e 表示,单位为 MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——试样产生完全弹性变形时最大拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

2. 屈服强度

划分弹性区—塑性区的应力为材料的屈服强度,它标志着塑性变形的开始,是工程应用中最为关心的材料参数之一。

屈服强度是指试样在拉伸过程中,力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力,用符号 σ_s 表示,单位为 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样产生完全弹性变形时最大拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

由于有些材料无明显的屈服现象,无法测定 σ_s ,因此根据 GB10623—89 规定,试样标距部分产生 0.2% 的原始标距长度的残余变形时的应力,作为该材料的条件屈服强度,用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

机械零件在服役期间一般不允许产生明显的塑性变形,因此 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 是机械零件设计和选材的力学性能的主要判据。

3. 抗拉强度

抗拉强度是指试样被拉断前所能承受的最大拉应力,用符号表示,单位为 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \times 100\%$$

式中 F_b ——试样被拉断前所能承受的最大拉伸力,单位为 N;

A_0 ——试样原始横截面积,单位为 mm^2 。

对于塑性材料,抗拉强度表示材料抵抗大量均匀塑性变形的能力;对于脆性材料,它表示抵抗断裂的能力。抗拉强度是机械零件设计时的重要依据,同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

1.1.4 塑性判据

塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。常用的塑性判据是材料断裂时最大相对塑性变形,如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样被拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比,用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_1 ——试样被拉断后的标距,单位为 mm;

l_0 ——试样原始标距,单位为 mm。

根据国家标准 GB/T228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》规定:试样分为长试样和短试样。对圆形标准拉伸试样,长试样 $l_0 = 10d_0$; 短试样 $l_0 = 5d_0$ 。长试样的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示;短试样的断后伸长率用符号 δ_5 表示。相同材料的 $\delta_5 > \delta_{10}$,但不能直接比较。由于短试样节省材料,一般应优先选用短试样进行拉伸试验。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号 Ψ 表示。

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

式中 A_1 ——试样被拉断处的横截面积,单位为 mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响,因此能较准确的反映出材料的塑性。

δ 、 Ψ 是衡量材料塑性变形能力大小的判据, δ 、 Ψ 值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的材料(如低碳钢、铝合金等)可用轧制、锻造、冲压等方法加工成形。另外,塑性好的机械零件在工作时若超载,也可因其发生塑性变形而避免突然断裂,提高了机械零件工作时的安全性。

1.2 硬 度

硬度是衡量材料软硬程度的判据,它表征材料抵抗局部变形,尤其是塑性变形、压痕或划痕的能力。

材料的硬度是通过试验测得,测定硬度的试验方法很多,大体上可分为弹性回跳法(肖氏硬度)压入法(布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度)和刻痕法(莫氏法)等三大类,而生产上应用最广泛的是压入法。测定的基本原理是静载荷压入法,即将一定形状、尺寸的压头在一定载荷作用下压入被测材料表面,以留下压痕表面积大小或深度计算材料的硬度值。

由于硬度测定时的测定规范,所用仪器设备等不同,用压入法测定材料的硬度的方法也有多种。目前,生产中常用的硬度试验方法是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验法。

1.2.1 布氏硬度

布氏硬度的基本原理是通过加载将淬火钢球压头或硬质合金球压头压入被测金属材料表面,保持规定时间后卸除试验力,在被测金属材料表面得到一直径为 d 的压痕,单位压痕面积($A_{\text{压}}$)上所承受的载荷(F)大小为布氏硬度值。淬火钢球为压头时,符号为 HBS; 硬质合金球为压头时,符号为 HBW。图 1-4 为布氏硬度原理示意图。

$$\text{HBS(HBW)} = \frac{F}{A_{\text{压}}} = \frac{F}{\pi Dh} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kgf/mm}^2 \text{ (试验力 } F \text{ 的单位)}$$

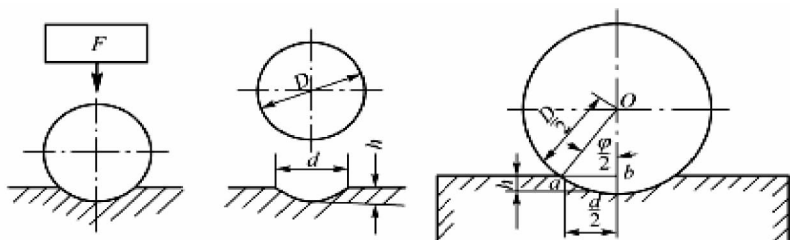


图 1-4 布氏硬度原理示意图

为 N)

式中 $A_{\text{压}}$ ——压痕表面积,单位为 mm^2 ;

d 、 D 、 h ——压痕平均直径、压头直径、压痕深度,单位为 mm 。

上式中只有 d 是变数,只要测出 d 值,即可通过计算或查表得到相应的硬度值。一般,布氏硬度值不需计算,只需根据测出的压痕直径查表即可得到。 d 值越大,硬度值越小; d 值越小,硬度值越大。

为保证测试同一试样的布氏硬度值有效且相同,必须保证试样厚度至少为压痕深度的 8 倍,试验力—压头球直径平方的比率 $0.102F/D^2$ 为常数,因此布氏硬度试验时,应根据被测金属材料的种类和试样厚度,选用不同直径的压头和试验力,见表 1-1。根据国标 GB/T231-2002《金属布氏硬度试验》规定,压头直径有 4 种规格(10mm、5mm、2.5mm 和 1mm), $0.102F/D^2$ 的比值有 5 种规格(30、10、5、2.5 和 1)。

表 1-1 按材料和布氏硬度范围选择 $0.102F/D^2$

材料	布氏硬度	试验力—压头球直径平方的比率 $0.102F/D^2$
钢	<140	10
	≥ 140	30
镍合金和钛合金		10
铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及铜合金	<35	5
	35~200	10
	>200	30
轻金属及其合金	<35	2.5
	35~80	10
	>80	10
铅、锡		1

布氏硬度表示方法为在硬度符号 HBW/HBS 前写出硬度值,符号后面依次用相应数字注明压头直径、试验力,其中,压头直径和试验力之间用斜杠“/”隔开。例如

120HBW10/1000 表示用直径 10mm 的硬质合金球压头、试验力为 1000kgf(9.807kN)、试验力保持 10s 所测得的布氏硬度值为 120。布氏硬度一般不标注单位。

布氏硬度试验法测得的硬度值较准确、稳定,因压痕面积较大,能反映出较大范围内材料的平均硬度;布氏硬度与抗拉强度有近似的正比关系: $\sigma_b = K \cdot \text{HBW}$ 。但布氏硬度试验法操作不够简便,不宜测试薄件或成品件, HBS 适用测量硬度值小于 450 的材料, HBW 适用测量硬度值小于 650 的材料。目前,布氏硬度试验法主要用来测定铸铁、有色金属及退火、正火和调质的钢材等。

1.2.2 洛氏硬度

洛氏硬度是机械工程应用最广泛的硬度试验法,与布氏硬度不同,它不是测量压痕的直径,而是直接测量压痕的深度,表示材料或机械零件的硬度,压痕愈浅表示材料或工件愈硬。

洛氏硬度试验原理如图 1-5。它是用顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 淬火钢球做压头,在初试验力和总试验力(初试验力+主试验力)先后作用下,将压头压入试件表面,经规定保持时间后,去除主试验力,用测量的残余压痕深度增量(增量是指去除主试验力并保持初试验力的条件下,在测量的深度方向上产生的塑性变形量)来计算硬度的一种压痕硬度试验法。图中 0-0 为压头与试件表面未接触的位置;1-1 为加初试验力 10kgf(98.07N)后,压头经试件表面 a 压入到 b 处的位置, b 处是测量压入深度的起点(可防止因试件表面不平引起的误差);2-2 为初试验力和主试验力共同作用下,压头压入到 c 处的位置;3-3 为卸除主试验力,但保持初试验力的条件下,因试件弹性变形的恢复使压头回升到 d 处的位置。因此,压头在主试验力作用下,实际压入试件产生塑性变形的压痕深度为 bd (bd 为残余压痕深度增量)。用 bd 大小来判断材料的硬度, bd 越大,硬度越低;反之,硬度越高。为适应习惯上数值越大,硬度越高的概念,故用一常数 K 减去 bd 作为硬度值(每 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位),直接由硬度计表盘上读出。洛氏硬度符号用 HR 表示。

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

金刚石做压头, K 为 100;淬火钢球做压头, K 为 130。

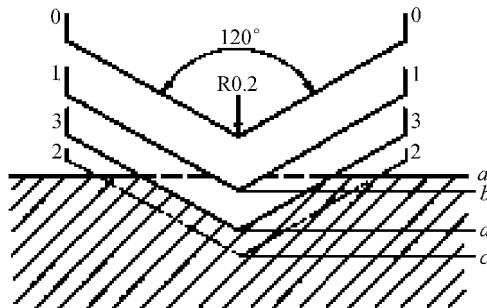


图 1-5 洛氏硬度原理示意图

为了满足同一硬度计能测试不同硬度范围的材料,可采用不同的压头和试验力。按

压头和试验力不同,GB/T 230—91 规定洛氏硬度的标尺有九种,但常用的是 HRA、HRB、HRC 三种,其中 HRC 应用最广泛。洛氏硬度的试验条件和应用范围见表 1—2。洛氏硬度的表示方法为:在硬度符号前面写出硬度值,如 58HRC、80HRA 等。

洛氏硬度试验操作简便迅速,硬度值可从硬度计的表盘上直接读出;试件表面造成的损伤较小,可用于成品零件的硬度检验。但由于压痕小,所以洛氏硬度对材料组织不均匀性很敏感,测试结果比较分散,重复性差。不同标尺的洛氏硬度值无法相互比较。

表 1—2 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	初试验力/kgf/N	主试验力/kgf/N	总试验力/kgf/N	硬度有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	10(98.1)	50(490.3)	60(588.4)	60~85	硬质合金、表面淬火、硬化薄钢板等
HRB	Φ1.588mm 淬火钢球	10(98.1)	90(882.6)	100(980.7)	25~100	铜合金、铝合金、退火钢、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	10(98.1)	140(1373)	150(1471)	20~67	淬火钢、调质钢、钛合金冷硬铸铁等

1.2.3 维氏硬度

维氏硬度试验的基本原理与布氏硬度试验相同,都是根据压痕单位面积上所受的平
均试验力(载荷)得出硬度值,不同的是维氏硬度的压头是两相对面夹角为 136°的正四棱锥体金刚石,如图 1—6 所示。

维氏硬度试验设备是维氏硬度计。试验时,根据试样大小、厚薄选用 5kgf~120kgf(49.05N~1177.2 N)试验力将压头压入试样表面(试样表面粗糙度 $\leq 0.2\mu\text{m}$),保持一定时间后去除试验力,用附在维氏硬度计上的测微计测量压痕对角线长度 d_1 和 d_2 ,求其平均值,然后通过查表(GB4340—1991 附表)得出或根据下式计算维氏硬度值:维氏硬度符号 HV 表示。

$$HV = \frac{F}{A} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \quad \text{N/mm}^2 \text{ 或 MPa}$$

式中 A ——压痕的面积,单位为 mm^2 ;

d ——压痕对角线长度 d_1 和 d_2 的算术平均值,单位为 mm;

F ——试验力,单位为 N。

根据国家标准(GB4340—1991)规定,维氏硬度的表示方法为在维氏硬度符号 HV 前面写出硬度值,HV 后面依次用相应数字注明试验力和保持时间(10~15s 不标)。例如 640HV30/20,表示在 $30 \times 9.8\text{N}$ 试验力作用下,保持 20s 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验法的压痕深度浅,轮廓清晰,对角线测量准确,重复性好,测量范围宽广,可以测量目前工业上所用到的几乎全部金属材料,从很软的材料(几个维氏硬度单

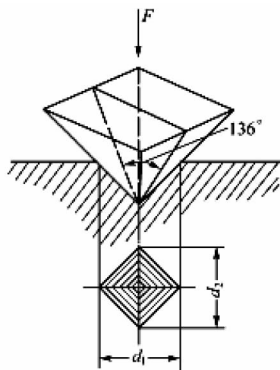


图 1—6 维氏硬度试验原理示意图