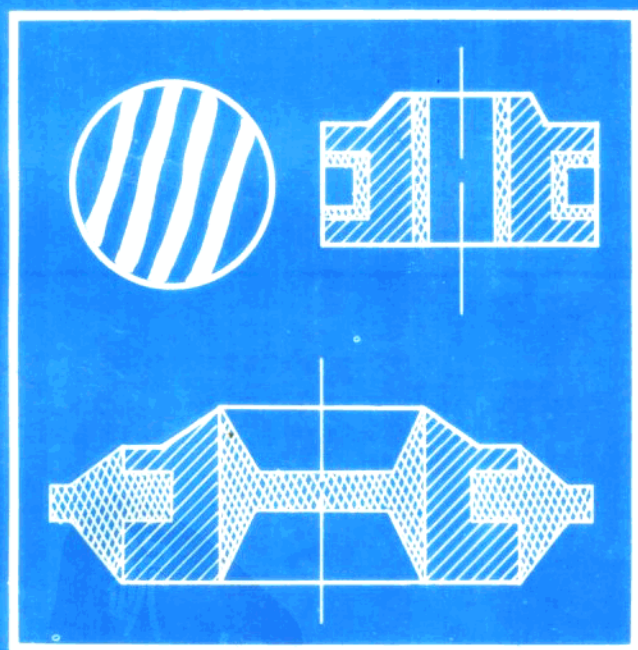


工程材料及机械制造基础

金伯连 主编



河南科学技术出版社

前 言

《金属工艺学》和《工程材料学》均为机械类专业的技术基础课,但是,这两门课程中部分内容重复,又不适宜教学衔接。1987年国家教委印发了《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》,结合教学实践经验,我们认为很有必要把《金属工艺学》和《工程材料学》两本教材合编为《工程材料及机械制造基础》一本教材。为此,受河南省教委高教二处委托,河南省高等职业教育研究会组织中州大学、开封大学、焦作大学、平原大学和南阳理工学院等院校的教师参加编写了这本教材。

本教材既按照国家教委印发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》,又结合教学改革的需要和教学特点,并参照有关教材的优点和国内外最新科研资料编写而成。

本教材共分三个部分:第一部分为工程材料;第二部分为热加工工艺;第三部分为金属切削加工工艺。全书按照科学性、系统性、先进性和应用性的要求,扼要介绍了金属材料和非金属材料的结构、组织和性能,铸、锻、焊及切削加工的工艺过程、特点、性能和设备,机械零件的选材原则和零件结构设计的工艺原则,并部分介绍了现代的新材料、新工艺和新技术。

本书可作为普通高等院校机械类本、专科专业的技术基础课教材,也适用于近机类、非机类专业以及普通中等专业学校的教学用书,也可作为有关工程技术人员的参考资料。经河南省教委同意,此书作为我省各职业大学教学质量评估活动的统一教材,同时也作为成人高等学校同类专业的推荐教材。对于机械类专业,一般教学参考学时数为90—110学时。

参加本书编写的有:金伯连(第一、九章),刘东慧(第二章),胡子梁(第三章),齐淑珍(第四章),张曙灵(第五章),刘冬敏(第七、十七章),薛培军(第八、十六章),葛云(第十章),赵玉奇(第十一章),黄荣杰(第十二章),李宗智(第十三章),魏丕勇(第十四章),王丽霞(第六、十五章)。全书由金伯连、薛培军、胡子梁、黄荣杰进行审阅和定稿。金伯连副教授任主编,李宗智副教授主审,薛培军、胡子梁、黄荣杰任副主编。书中插图由彭倩等绘制。

本书在编写过程中得到了朱明达教授、江守训副教授以及有关专家的指导和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者和专家批评指正。

编者 1994年10月

目 录

绪论	(1)
第一章 金属材料的基本性能	(3)
第一节 金属材料的机械性能	(3)
第二节 金属材料的物理、化学及工艺性能简介	(10)
第二章 金属和合金的结构与结晶	(11)
第一节 金属的晶体结构与结晶	(11)
第二节 金属的塑性变形与再结晶	(21)
第三节 合金的结构与二元合金	(29)
第四节 铁碳合金相图	(44)
第三章 钢的热处理	(62)
第一节 钢在加热时的转变	(62)
第二节 过冷奥氏体的转变	(65)
第三节 钢的一般热处理工艺	(71)
第四节 钢的特殊热处理工艺	(80)
第五节 热处理设备简介	(87)
第四章 碳钢及合金钢	(93)
第一节 碳钢	(93)
第二节 合金钢	(100)
第三节 合金元素在钢中的作用	(102)
第四节 低合金结构钢与合金结构钢	(107)
第五节 合金弹簧钢与滚动轴承钢	(114)
第六节 合金工具钢与高速工具钢	(117)
第七节 特殊性能钢	(123)
第五章 铸铁	(129)
第一节 铸铁的石墨化	(129)
第二节 灰口铸铁	(134)
第三节 可锻铸铁	(137)
第四节 球墨铸铁	(139)
第五节 蠕墨铸铁	(142)
第六节 特殊性能铸铁简介	(145)
第六章 有色金属及粉末冶金材料	(149)
第一节 铝及铝合金	(149)
第二节 铜及铜合金	(154)
第三节 滑动轴承合金	(158)

第四节	镍及镍合金	(159)
第五节	钛及钛合金	(159)
第六节	粉末冶金	(162)
第七章	非金属材料	(164)
第一节	高分子材料	(164)
第二节	陶瓷材料	(171)
第三节	复合材料	(181)
第四节	非金属材料的成型方法和机加工简介	(186)
第八章	铸造	(188)
第一节	砂型铸造	(188)
第二节	铸造工艺图	(197)
第三节	合金的铸造性能	(201)
第四节	常用合金铸件的生产	(208)
第五节	铸件结构设计	(214)
第六节	特种铸造	(220)
第九章	金属压力加工	(227)
第一节	金属压力加工概述	(227)
第二节	锻造加工	(232)
第三节	板料冲压	(249)
第四节	压力加工新工艺简介	(262)
第十章	焊接	(271)
第一节	熔焊及熔焊工艺	(273)
第二节	压焊及钎焊	(293)
第三节	常用金属材料的焊接	(298)
第四节	焊接结构设计	(307)
第五节	焊接常见缺陷的检验	(314)
第六节	焊接新工艺简介	(319)
第十一章	金属切削加工的基础知识	(330)
第一节	零件加工精度与表面粗糙度概述	(330)
第二节	切削运动与切削用量	(332)
第三节	金属切削刀具与砂轮	(333)
第四节	金属的切削过程及其物理现象	(339)
第五节	生产率和切削加工性的概念	(342)
第十二章	金属切削机床的基础知识	(345)
第一节	金属切削机床的分类和型号	(345)
第二节	机床的常用传动方式	(347)
第三节	车床	(350)
第四节	其它机床	(355)

第十三章	常用切削加工方法综述 ·····	(373)
第一节	车削加工·····	(373)
第二节	钻削加工·····	(379)
第三节	镗削加工·····	(381)
第四节	刨插拉削加工·····	(383)
第五节	铣削加工·····	(385)
第六节	磨削加工·····	(388)
第七节	光整加工·····	(391)
第八节	螺纹加工·····	(393)
第九节	齿轮加工·····	(396)
第十四章	机械零件的结构工艺性 ·····	(404)
第一节	零件结构工艺性的基本概念·····	(404)
第二节	各种切削加工对零件结构工艺性的要求·····	(405)
第三节	合理地采用组合件·····	(419)
第十五章	机械加工工艺过程的基本知识 ·····	(422)
第一节	基本概念·····	(422)
第二节	工件的安装和夹具·····	(427)
第三节	工艺规程的拟定·····	(430)
第十六章	新材料新工艺及新技术 ·····	(436)
第一节	新材料·····	(436)
第二节	功能材料·····	(439)
第三节	机械加工的新工艺及新技术·····	(444)
第十七章	工程材料的选择与典型零件的加工工艺分析 ·····	(452)
第一节	机械零件的失效·····	(452)
第二节	机械零件选材的原则·····	(454)
第三节	不同失效形式的选材分析·····	(457)
第四节	典型零件的选材及其加工工艺分析·····	(461)

绪 论

《工程材料及机械制造基础》是一门研究工业生产中常用的机械零件的制造方法，即选择材料，制造毛坯，直到加工成零件的综合性技术基础课。

工程材料分为金属材料和非金属材料两大类。常用工程材料有黑色金属、有色金属及其合金、粉末冶金、高分子材料、陶瓷材料和复合材料。其品种繁多，性能各异。为了合理地选用材料，必须研究材料的结构、组织与性能之间的关系，以充分发挥材料的潜力，提高材料的性能，降低成本，提高质量，这在机械制造中具有非常重要的意义。

随着科学技术的发展，世界各国把金属材料和非金属材料体系有机地结合起来，成为一种新兴的材料体系，它是知识密集和技术密集的一种新兴产业，并且正在不断地开拓和发展。所谓新型材料就是指那些新近发展或正在发展的、具有优异性能的材料，其中包括金属、有机合成及无机非金属材料。从用途和性质又可分为结构材料和功能材料。但是，新型材料和常规材料并没有明显的界限，而且，新型材料的发展必须以常规材料为基础。为此，必须掌握常规材料的基本理论和新型材料的发展趋势。

现代科学技术的发展，也推动了机械加工技术的突飞猛进。本书除了介绍传统的铸、锻、焊、机械切削加工等基本的工艺理论知识和加工工艺方法外，还扼要介绍了采用机械技术和电子技术结合而成的新的加工工艺方法，从而拓宽工艺知识面，更适于现代工业生产的需要。

总之，现代科学技术和工艺技术一日千里的发展，促进工程材料和机械加工技术的日新月异，而且已是国防工业、机械制造、电子技术、食品化工和建筑工程等部门非常重要的物质基础，同时在日常生活中也得到广泛的应用。

本书学习的主要任务包括：

(1) 熟悉常用工程材料的组织、性能、应用和选用原则。

(2) 掌握各种主要加工方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯、零件加工方法以及工艺分析的初步能力。

(3) 熟悉零件结构设计的工艺性要求。

(4) 了解各种主要加工方法常用设备的结构和基本工作原理。

(5) 初步了解有关新材料、新工艺、新技术。

本课程是一门实践性很强的技术基础课，是一般工程教育的必修课程。在教学过程中，必须对学生进行传授知识、训练技能和培养能力这三方面的基本锻炼。但要指出，知识、技能和能力是不同的三个概念，而且从掌握知识到形成能力不是直接的，要以技能为中介才成。因

此，本课程必须把书本学习和实践学习结合起来，只有这样，才能为学习其它有关课程以及今后从事机械设计、机械加工制造和有关工作奠定必要的理论基础和实践能力。

第一章 金属材料的基本性能

第一节 金属材料的机械性能

金属材料是机器制造业中应用最为广泛的材料。选用金属材料制成的各种机械零件,在使用过程中,会受到各种方式的外力作用,如拉力、压力、剪力、冲击力、弯矩和扭矩等,这就要求金属材料具有一种抵抗外力作用而不破坏的能力,表征这种能力的特性就是机械性能。所以,机械性能是衡量金属材料、控制材料质量的主要参数,也是选用材料的主要依据。

一、金属材料的简述

金属经过熔炼和各种加工后制成的材料,称为金属材料。它包括纯金属和合金两大类。在实际工作中,金属材料也常简称为金属。工业上用的金属材料分为黑色金属和有色金属两种。金属材料的基本性能包括机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能。

(一)纯金属

由一种金属元素组成物质,称为纯金属,亦可简称为金属。如金、铜、铝等金属。实际上由于冶炼的原因纯金属的纯度达不到百分之百,而只能是尽量接近于百分之百,难免含有极微量的杂质。纯金属冶炼困难,价格昂贵,且部分性质不能满足要求,故各种生产中主要还是使用合金。

(二)合金

由一种金属元素和另外一种或几种金属或非金属元素所组成的具有金属性质的物质称为合金。工业上用得最多的钢或铸铁就是铁和碳组成的合金。

(三)金属性质

表示金属所具有的本质特征,称为金属性质。如金属材料的机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能。机械性能、物理性能和化学性能是金属材料在工作条件下所必须具备的使用性能;工艺性能表示金属材料对各种加工过程的接受能力和加工的难易程度。

(四)金属材料的生产

按金属材料种类分,有黑色金属材料(钢、铁)和有色金属材料两大类。这里简要介绍钢和铁的生产。

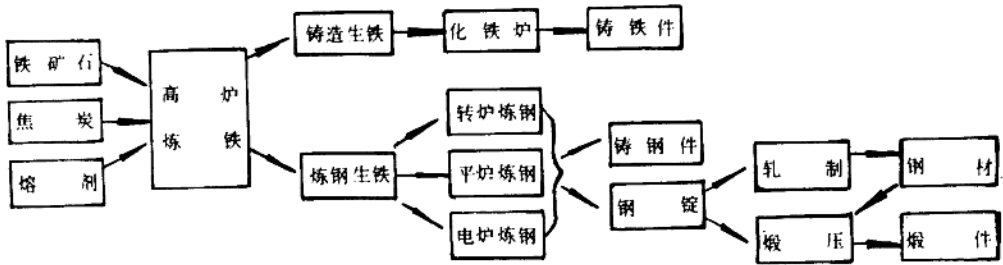
钢铁生产包括从铁矿石炼成生铁,再由生铁炼成钢,并经压力加工制成钢材的一系列过程。钢铁生产过程简述如下(表 1-1):

1. 炼铁

炼铁的主要设备是高炉。高炉炼铁的主要原料是铁矿石、焦炭和熔剂(石灰石)。

炼铁的实质就是将铁矿石氧化还原成铁。炼铁的生产过程基本上三个化学反应:还原反应、造渣反应和增碳反应。反应后得到的铁水与炉渣一起被积蓄在炉缸里,当得到足够数量时则分别由出铁口和出渣口排出炉外。

表 1-1 钢铁生产过程



经高炉冶炼获得的生铁，含碳量较高，并且还有其它成分，如硅、锰、硫、磷等元素，所以生铁的性能很脆。高炉生铁的 80~90% 用来炼钢，叫炼钢生铁；10~20% 用来铸造，叫铸造生铁，它是钢铁厂的商品铁。高炉生铁的化学成分如表 1-2 所示。

表 1-2 高炉生铁的化学成分

用途 \ 成分	C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
炼钢生铁	≈3.5	0.6~1.75	0.5~1.5	0.07~1.6	0.03~0.07
铸造生铁	≈3.5	1.25~3.75	0.5~1.3	0.1~1.0	0.03~0.06

2. 炼钢

炼钢的实质就是通过氧化反应将生铁中的碳、硅、锰、硫、磷等元素减少到规定的允许范围。炼钢的生产过程基本上是氧化和还原两个过程组成的。

根据炼钢设备的不同，目前主要有转炉、平炉和电炉等几种炼钢方法。

炼钢生铁经过炼钢设备熔炼后获得的钢水，除少数直接浇成铸钢件外，绝大部分先浇铸成钢锭，然后再锻压成锻件或轧制成各种钢材使用。

二、金属材料的拉伸试验

金属材料的机械性能主要有弹性、塑性、强度、刚度、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。测定金属材料的弹性、塑性、强度、刚度，最简便最通用的方法就是拉伸试验。其他性能一般都有专用设备来测定。

(一) 拉伸试验及拉伸图

拉伸试验是将标准试样(图 1-1)卡在材料试验机上，然后对其施加轴向静载拉力，试样受力后，开始变形伸长，并随拉力的增加变形量增大，直至把试样拉断。材料试验机都带有自动记录装置，可把作用在试样上的力和所引起的伸长自动记录下来，绘出拉力—伸长曲线，这种曲线叫做拉伸图或拉伸曲线(图 1-2)。

刚开始拉伸时， oe 是直线。这是由于外力 P 不超过 P_e ，外力与变形成正比，试样只产生弹性变形。当外力去除后，试样恢复到原来的长度。这一 oe 直线段称为弹性阶段。

随着外力继续增加，当超过 P_e 后，试样除发生弹性变形外，还产生部分塑性变形。此时，外力去除后，试样不能完全恢复到原有的长度；而当外力达到 P_s 值时，虽不继续增加外力，但试样继续伸长，并开始产生明显的塑性变形，这种现象称为“屈服”。 es 段称为屈服阶段， s 点称为屈服点。

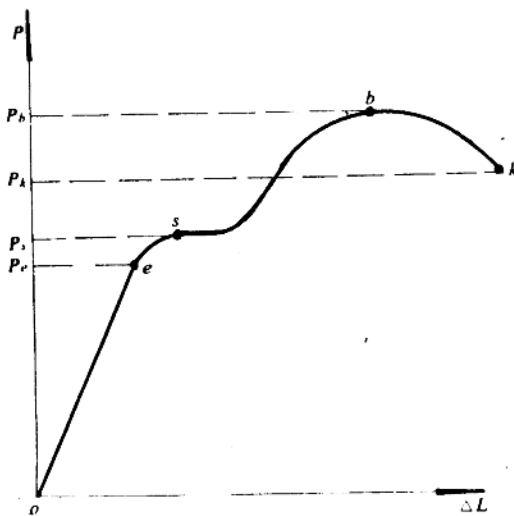


图 1-1 拉伸试样

(a)标准拉伸试样;(b)产生缩颈时;(c)拉断后

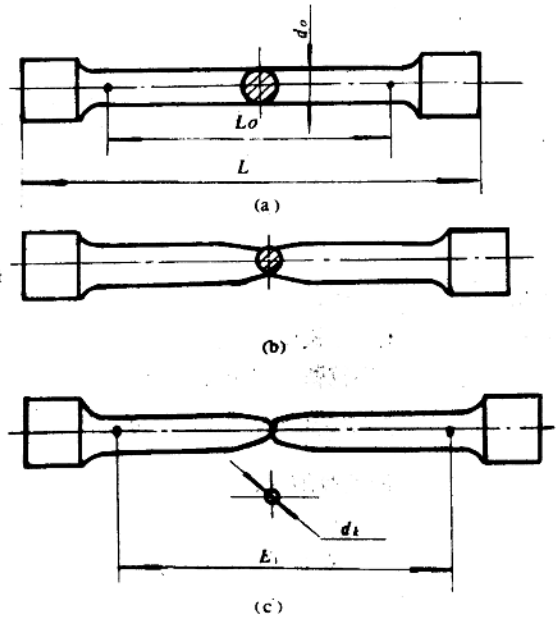


图 1-2 低碳钢拉伸图

在屈服阶段以后,由于变形抗力的增加,欲继续变形,必须不断增加载荷。这种现象称为“强化”。*sb*段称为强化阶段。

当外力达到最大值 F_b 后,试样在某一局部范围内尺寸急剧收缩,逐渐出现“细颈”,这就是颈缩现象。出现颈缩现象后,拉力迅速下降至 k 点,试样断裂。*bk*段称为颈缩阶段。

(二)应力—应变图

拉伸图只能表示单项材料的性能,不能用以比较不同材料的性能,为此,就用应力 σ (单位横截面积上的拉力)和应变 ϵ (单位长度上的伸长量)来代替 P 和 ΔL 。由此绘成的曲线称为应力—应变图(图 1-3)。 $P-\Delta L$ 曲线和 $\sigma-\epsilon$ 曲线形状相同,只是坐标不同。在应力—应变图上,可以直接读出材料的机械性能指标,如屈服强度、抗拉强度等。

三、金属材料的机械性能

(一)弹性和塑性

金属材料受外力作用时产生变形,当外力去除后,变形随之消失,材料恢复到原来形状的性能,称为弹性。

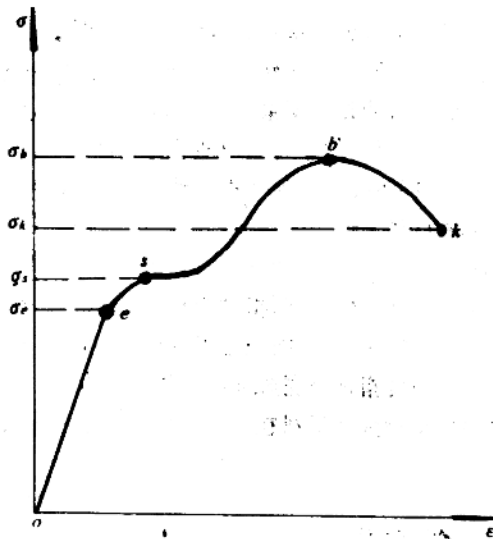


图 1-3 低碳钢的应力—应变图

其变形大小与外力成正比。

金属材料在外力作用下,产生永久变形而不致引起破坏的性能,称为塑性。这种在外力去除后能保留下来的永久变形称为塑性变形。其变形大小与外力不成正比。塑性是进行压力加工、冷弯工艺等的必要条件;同时,金属塑性还可提高金属结构的安全性。

金属材料的塑性指标常用延伸率和断面收缩率来表示,其式如下:

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

式中 ϵ —— 延伸率;

L_0 —— 试样原长度, mm;

L_1 —— 试样拉断后的长度, mm。

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 Ψ —— 断面收缩率;

F_0 —— 试样原截面积, mm²;

F_1 —— 试样断裂处的截面积, mm²。

(二)刚度和强度

1. 刚度

金属材料受外力作用时,抵抗弹性变形的能力,称为刚度。刚度的大小以弹性模量 E 来表示,即:

$$E = \frac{\sigma_e}{\epsilon_e}, \text{ MPa}$$

式中 σ_e —— 弹性强度, MPa;

ϵ_e —— 弹性应变。

弹性模量是衡量金属材料产生弹性变形难易程度的指标。弹性模量愈大,表示金属材料在一定应力作用下能发生的弹性变形愈小,也就是刚度愈大。

各种金属材料的弹性模量 E 值,因其结构特点的不同而各异。同一材料的弹性模量 E 值与其显微组织的变化关系不大,但随着温度的升高而降低。

在设计精密零件时,必须考虑弹性模量。如精密机床的主轴、镗床的镗杆等,应选用弹性模量较大的金属材料。

2. 强度

金属材料在外力作用下,抵抗变形和断裂的能力,称为强度。金属材料的强度是通过弹性强度、屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等强度指标来表示的。工程上最常用的强度指标是屈服强度和抗拉强度。

屈服强度是指金属材料在外力作用下产生屈服现象时的应力。可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

式中 σ_s —— 屈服强度, MPa;

P_s —— 屈服载荷,即试样产生屈服现象时的载荷, N;

F_0 —— 试样原截面积, mm²。

在金属材料中,除低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数金属材料是没有明显屈服现象的,通常规定以产生永久残余伸长量为 0.2% 的应力为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度是指金属材料在拉断前所能承受的最大应力。可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

式中 σ_b —— 抗拉强度,MPa;

P_b —— 试样在断裂前的最大拉力,N;

F_0 —— 试样原截面积,mm²。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是工程技术上最重要的性能指标,是设计机械零件和检验材料性能的重要依据。如果零件在工作时发生少量的塑性变形,会引起降低传动精度或影响其它零件的相对运动时,则必须以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 来计算;如果只要求零件在工作时不发生断裂,就以 σ_b 来计算。

(三) 硬度

金属材料抵抗其它更硬物体压入其表面的能力,称为硬度。硬度值不是一个单纯的物理量,而是反映金属材料表面的局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或破裂的能力,因此,它是一个综合的物理量。硬度指标通常是机械零件设计要求的重要性能之一。

工程上常用的硬度指标有布氏硬度(HB)和洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)等,各种硬度值可用专门仪器来测试。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定的压力,把直径为 D 的钢球压入被测金属的表面(图 1-4),保持数秒钟后去除压力,然后测出金属表面的压痕直径,以此计算出压痕球面积,再求出单位面积所受的力,即为布氏硬度值,用符号 HB 表示。

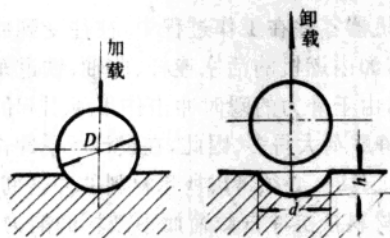


图 1-4 布氏硬度试验原理示意图

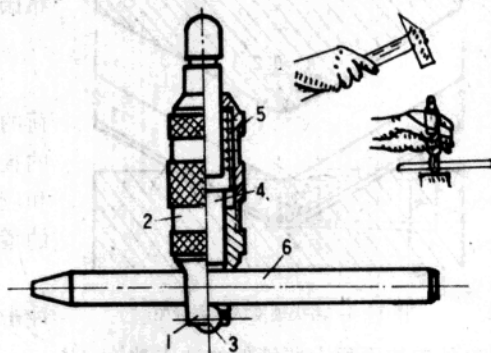


图 1-5 锤击式简易布氏硬度计

- 1—球帽; 2—握持器; 3—钢球;
4—锤击杆; 5—弹簧; 6—标准试样

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HB —— 布氏硬度值,N/mm²;

P —— 所加压力,N;

F —— 压痕球面积,mm²;

D —— 钢球直径, mm;

d —— 压痕直径, mm。

在实际测定中,用读数显微镜测出压痕直径 d 后,可以直接查表求出硬度值。

布氏硬度因压痕面积较大,测定较为准确可靠。根据国标规定,凡大于 450HB 小于 650HB 的材料,使用硬质合金球作为压头,其测得的布氏硬度值用 HBW 表示;而小于 450HB 的材料,用淬火钢球作为压头,测得的布氏硬度值用 HBS 表示。

对于大型机器零件(如机床床身、工作台),不能用硬度试验机进行测定,常用一种锤击式简易布氏硬度计测定布氏硬度。如图 1—5 所示,测量前,首先估计被测试工件大致的硬度值,选择与其硬度值相近的标准试棒 2 插入硬度计内,并将硬度计垂直安放在被测表面 4 上,用手锤敲击硬度计的锤击杆 1,钢球 3 就会同时也在被测表面和标准试棒 2 上压出压痕,最后取出标准试棒,测量两者表面压痕直径,再查表就可得到被测表面的硬度值。由于被测零件和标准试棒的弹性不同,撞击后的压痕会稍有差异,因此会影响硬度的准确性,但硬度计体积小,便于携带,使用方便,故此应用很广。

实践证明,材料的硬度值与强度极限、屈服极限之间存在着一定的关系,经验公式如下:

低碳钢 $\sigma_s \approx 3.6\text{HB}$; 调质合金钢; $\sigma_s \approx 3.25\text{HB}$; 高碳钢 $\sigma_s \approx 3.4\text{HB}$; 灰口铸铁 $\sigma_s \approx 1\text{HB}$ 。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测定原理是用压头顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.58mm 的淬火钢球,以一定的载荷将坚硬的压头压入被测金属材料的表面,根据压痕的深度来计算硬度值(图 1—6)。按所用压头和加载的不同,分为 HRA、HRB 和 HRC 三种,其中 HRC 应用最广。

洛氏硬度试验操作简便、迅速,可测定各种金属材料的硬度,而且压痕小,不损伤工件表面,但不及布氏硬度试验准确。

(四) 冲击韧性

许多机器零件在工作过程中,往往受到冲击载荷的作用,如内燃机的活塞连杆、曲轴、铁道车辆间的挂钩等,由于外力的瞬时冲击作用所引起的变形和应力比静载荷大得多。因此,在设计承受冲击载荷的零件和工具时,必须考虑所用材料的冲击韧性。

金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力,称为冲击韧性,用冲击值 a_{ku} 表示。冲击值是指金属试样

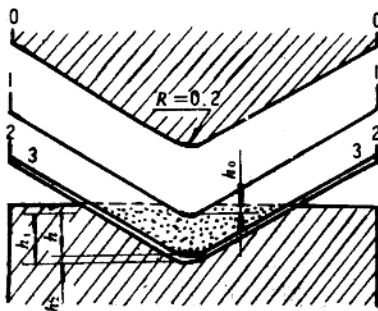


图 1—6 洛氏硬度试验原理图

缺口处单位面积上所消耗的冲击功:

$$a_{ku} = \frac{A_{ku}}{F}$$

式中 a_{ku} —— 冲击韧性值, J/cm²;

A_{ku} —— 冲击功, J;

F —— 试样缺口处横截面积, cm²。

实际上,在冲击载荷下工作的零件或构件,很少因受一次超载冲击而破坏,不少情况下所承受的冲击载荷是属于小能量的多次重复冲击载荷,这时用冲击值 a_{ku} 来衡量材料性能是不适

宜的。实验研究表明,金属材料承受小能量多次重复冲击的能力,主要决定于材料的强度。材料的强度高,寿命就长。例如球墨铸铁的冲击韧性仅为 $15\text{J}/\text{cm}^2$,但只要强度符合设计要求就能用来制造柴油机曲轴。

冲击韧性值的大小与很多因素有关,不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织等的影响,而且还与试验时环境温度有关。因此,冲击韧性值一般只作为选择材料的参考,不用于强度计算。

(五)疲劳强度

金属材料在数次重复的交变载荷作用下而不致破坏的最大应力,称为疲劳强度(或称疲劳极限),用 σ_{-1} 表示。

工程上,许多机械零件是在重复或交变应力作用下工作的,如轴、连杆、齿轮、弹簧等。所谓重复或交变应力,是指应力的方向或大小随时间周期性变化。例如,轴类零件在旋转时,其截面上一面受拉应力,另一面受压应力;旋转半周后,原来受拉应力的一面变为受压应力,原来受压应力的则变为受拉应力。这样轴在不断旋转时,所受到的力就是大小和方向周期改变的交变载荷。在交变载荷作用下,金属发生破坏时的应力值比静载拉伸试验的屈服极限 σ_s 还低,这种现象称为金属疲劳破坏。据资料统计,约有 80% 的零件失效都属于疲劳破坏。因此,疲劳强度对于承受交变载荷的零件是一个重要的设计指标。

金属材料的疲劳强度极限通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定的。实际上,不可能做无限次交变载荷试验,所以试验规范规定各种金属材料应有一定的应力循环基数 N_0 。如钢材以 10^7 次为基数,有色金属以 10^8 次为基数。上述材料达到应力循环基数仍不发生破坏,就认为不会再发生疲劳破坏现象。图 1-7 为疲劳曲线图。

金属材料产生疲劳破坏的原因,一般认为是由于材料有杂质、表面伤痕及其它能引起应力集中的缺陷而导致产生微裂纹,并随着应力循环次数的增加而逐渐扩展,直到零件不能承受所加载荷而突然破坏。

为了提高零件的疲劳强度,可采取如下措施:1)改善结构形状,避免应力集中和共振现象;2)对零件表面进行强化处理(如表面热处理);3)消除表面残余拉应力,合理获得表面残余压应力(如喷丸、滚压);4)提高零件表面质量(如消除表面脱碳、氧化等),降低表面粗糙度等方法。

金属材料的疲劳强度与抗拉强度之间存在着一一定关系,其经验公式如下:

碳素钢: $\sigma_{-1} \approx (0.4 \sim 0.55)\sigma_s$;

灰口铸铁: $\sigma_{-1} \approx 0.4\sigma_s$;

有色金属: $\sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4)\sigma_s$ 。

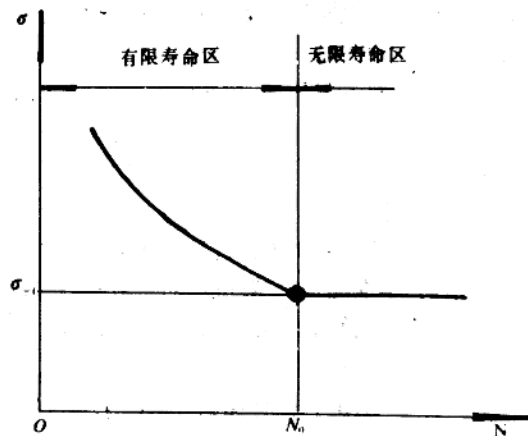


图 1-7 疲劳曲线

第二节 金属材料的物理、化学及工艺性能简介

一、物理性能

金属材料的物理性能主要包括比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机器零件的用途不同,对金属材料的物理性能要求也有所不同。例如飞机零件一半以上是用比重小、强度高的铝合金制造的,这样可以增加有效载重量;制造内燃机的活塞,要求材料具有较小的热膨胀系数;制造变压器用的硅钢片,要求具有良好的磁性。因此,在设计零件时,应根据其不同用途,选择具有零件所要求物理性能的金属材料。

金属材料的一些物理性能,对热加工工艺也有一定的影响。例如导热性对热加工具有十分重要的意义。在进行焊接、铸造、热处理或锻造时,由于导热性的缘故,金属材料在加热或冷却过程中,会使工件或坯料产生内外温度差,从而导致不同的膨胀或收缩而产生内应力,引起金属材料的变形和破裂。因此,对于导热性差的金属材料(如合金钢,尤其是高合金钢),应采取适当的措施,避免急剧的加热或冷却,防止材料产生破裂。

二、化学性能

化学性能是指金属材料在室温或高温条件下抵抗外界介质对它化学侵蚀的能力。它主要包括耐酸性、耐碱性和抗氧化性等。

一般金属材料的耐酸性、耐碱性和抗氧化性都是很差的,为了满足化学性能的要求,必须使用特殊的合金钢及某些有色金属,或者使之与介质隔离。如化工设备、医疗器械等采用不锈钢,工业用的锅炉、喷气发动机、汽轮机叶片选用耐热钢等。

三、工艺性能

金属材料对各种加工过程的接受能力和加工的难易程度,称为工艺性能。工艺性能往往是由物理性能、化学性能和机械性能综合作用所决定的,不能单用一个物理参数来表示。按照加工工艺的不同,工艺性能可分为可铸性、可锻性、可焊性、切削加工性和热处理性能等。

在设计零件和选择工艺方法时,都必须考虑金属材料的工艺性能,做到工艺合理,符合技术要求,零件成本低廉。各种加工方法的工艺性能将在以后有关篇章中分别叙述。

习 题

1. 高炉炼铁和炼钢的实质各是什么?
2. 说明铸造生铁与炼钢生铁的化学成分有何不同,各自用途如何。
3. 金属材料有哪些主要的机械性能?设计机械零件的主要性能指标是什么?
4. 已知试样的直径为10mm,长度为50mm,拉伸试验时测出试样在26000N时屈服,45000N时断裂;拉断后试样长58mm,断口直径为7.75mm。试计算 σ_s 、 σ_b 、 δ 、 Ψ 。
5. 试述布氏、洛氏硬度的测定原理,并比较其优缺点。
6. 何谓金属材料的疲劳强度?怎样提高其疲劳强度?

第二章 金属和合金的结构与结晶

第一节 金属的晶体结构与结晶

一、金属的晶体结构

工业中使用的金属材料是多种多样的,它们都具有各自的特性。各种金属材料的性能,是由其化学成分和内部组织结构所决定的。要了解金属材料的特性,首先必须了解其内部组织结构。

(一)晶体与非晶体

一切物质都是由原子组成的,固态物质按其原子排列的特征,可分为晶体与非晶体。非晶体的原子呈不规则的排列,如玻璃、松香、塑料等。晶体的原子按一定次序呈有规则的排列,如金刚石、石墨及绝大多数固态的纯金属和合金。晶体与非晶体的区别,还表现在许多性能方面,非晶体物质没有固定的熔点,而晶体物质有固定的熔点。另外,晶体的性能在不同方向上具有不同的数值,即具有各向异性。表 2-1 列举了几种金属沿其不同方向测得的机械性能。还有许多晶体的天然外形呈现出规则的几何外形,保持一定的晶面角,具有一定的对称性,而非晶体无这些特点。

表 2-1 单晶体的各向异性

类别	弹性模量(MN/m ²)		抗拉强度(MN/m ²)		延伸率(%)	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小
Cu	191000	66700	346	128	55	10
α -Fe	293000	125000	225	158	80	20
Mg	50600	42900	840	294	220	20

(二)金属键

晶体分为金属晶体和非金属晶体,两者在内部结构与性能上除有着上述晶体所共有的特性外,金属晶体还具有它独特的性能,如具有金属光泽以及良好的导电性、导热性和塑性。

金属晶体结构的特点在于最外层的电子数很少,只有一二个,一般不超过四个。金属原子中核与外层电子的结合力很弱,很容易丢失其外层电子而成为正离子。

在周期表中,还有一些过渡族金属元素,如钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍等。过渡族金属元素的原子结构,除了具有上述特点之外,还有一个特点,就是在次外层尚未填满电子的情况下,最外层就先填充了电子。因此,过渡族金属的原子不仅容易丢失最外层电子,而且还容易丢失次外层的一二个电子,这就出现了过渡族金属的化合价是可变的现象,当过渡族金属原子互相结合时,不仅最外层电子参与结合,而且次外层电子也参与结合,因此,过渡族原子间结合力特别

强,宏观上就表现为过渡族金属的熔点高、强度高。过渡族金属在金属材料中占有极为重要的地位。

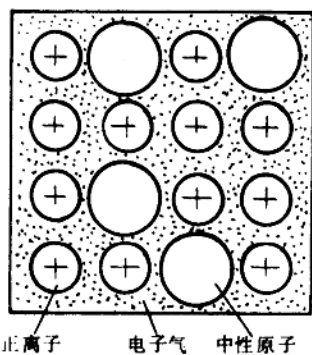


图 2-1 金属键的模型

使金属原子结合在一起,形成了金属晶体,这就是金属键的本质。图 2-1 示意地给出金属键的模型。

金属处于气态时,原子之间的距离较远,只是偶而发生碰撞,彼此之间并不存在结合键。当金属原子互相靠近达到一定程度而成为液态金属或固态金属时,原子之间就形成了结合键。金属原子间的结合键称为金属键。

金属原子结构的特点,在金属原子相互紧密地规则排列时也表现出来了。由于原子的相互作用,金属原子的外层价电子便从各个原子中脱离出来,为整个金属所共有,这些共有的电子不再属于哪一个原子所有,它们可以在整个金属内运动形成“电子气”。金属正离子与自由电子之间产生的静电吸引力

根据金属键的本质,可以解释固态金属的一些特性。例如,在外加电场的作用下,金属中的自由电子能够沿着电场方向作定向运行,形成电流,从而显示出良好的导电性。自由电子的运动和原子(正离子)本身的振动使金属具有较好的导热性。随着温度的升高,原子(或正离子)本身的振幅加大,可阻碍电子的通过,使电阻升高,因而金属具有正的电阻温度系数。由于自由电子很容易吸收可见光的能量使金属具有不透明性,被激发的电子吸收了能量回到基态时产生辐射,使金属具有光泽。

(三)金属晶体结构的基本类型

晶体中原子排列的情况如图 2-2(a)所示,它是晶体中原子在空间堆积的球体模型,为了表明晶体内部原子排列的规律,人们把原子的中心点用假想的线条连接起来,便形成一个在三维空间里的空间格子,如图 2-2(b)所示,这种表示晶体中原子排列形式的空间格子叫晶格。

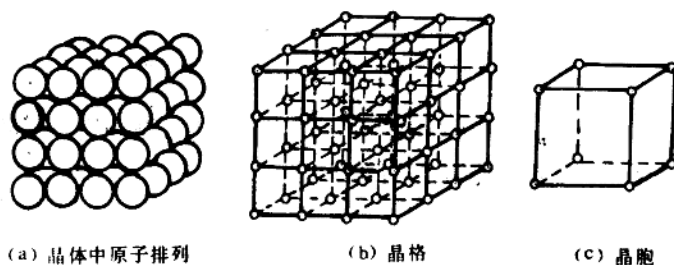


图 2-2 简单立方晶格与晶胞示意图

在晶格中,每个原子都具有完全相同的周围几何环境。由于晶体中原子重复排列的规律性,把代表晶格原子排列规律的,组成晶格最基本的几何单元叫晶胞,如图 2-2(c)所示。晶胞中各棱边的长度叫晶格常数,常以埃(A)为单位表示($1\text{A} = 10^{-8}\text{cm}$)。