

金属材料学

北方交大材料系编写组

中央广播电视大学出版社



金属材料学

北方交通大学材料系编写组编

中央广播电视大学出版社

1984

金属材料学

北方交通大学材料系编写组编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 25 千字 560

1984年12月第1版 1985年1月第1次印刷

印数 1—26,100

书号: 13300·22 定价: 3.05 元

内 容 提 要

本书是为中央广播电视大学八三级经济类工业企业经营管理(物资经济管理)专业编写的教学用书。

本书从物资管理工作的实际需要出发,主要阐述金属材料的基础理论;黑色金属材料和有色金属材料的基础知识;金属产品的分类、牌号、品种、规格、性能特点、质量要求和主要用途等。书中对金属材料的防腐保管、合理使用、质量检验等方面也作了介绍。

本书可作大专院校物资管理专业的教材,亦可供物资管理工作者学习参考。

前 言

为全面开创我国社会主义现代化建设的新局面,从物资的角度来看,一刻也离不开金属材料。金属材料是工业、交通运输的建设和发展的主要物质基础。例如,矿山机械、冶金设备、发电机组、输电线路、以及各种机床设备的绝大部分零部件都是由金属材料构成的。制造一辆汽车除用少量的木材、塑料、橡胶之外,占重量90%以上的是金属材料,一台普通机床重量的98%是金属材料。

农业现代化的主要出路在于机械化。以现代化的美国农业为例,美国是世界上粮食的主要产地之一,每年都有大量的粮食出口,可是在农业生产上投入的人力,只占美国总人口的3%左右。对比来看,我国有十亿多人口,通常说要八亿人搞农业,为什么两国在农业方面投入的人力如此悬殊呢?主要是现代化的农业使用大量的机械,机械代替了人的劳动。当前广泛使用的拖拉机、收割机、排灌机械等农业机械大都是用金属材料制造的。

国防现代化更离不开金属材料,制造飞机、大炮、坦克、军舰、导弹等武器装备,也都大量需要金属材料。

从当前科学技术研究装备看,无论是建造核反应堆、中子加速器,还是制造普通的科学试验设备:万能材料试验机、冲击韧性试验机、疲劳试验机、电子显微镜等也都需要金属材料。

就是在人们日常生活中,金属材料也愈来愈占更重要的地位。钢木家具、洗衣机、缝纫机、电视机、收录机、电冰箱、摩托车等家庭生活用品在生活中所占的比重也愈来愈大。

由此看来,在国民经济生产、基建和消费中,金属材料占有极为重要的地位,它是我国实现四个现代化的重要物质基础。

我国人民是世界上最早掌握青铜、钢铁冶炼和加工技术的民族之一。当人类结束了远古的石器时代,就进入了“铁器”时代,实际上是金属材料的时代。远在三千年前,我国商代已有发达的青铜冶炼技术和雏形的铁器制造工艺,它为以后的冶铁和炼钢技术的发展创造了良好的技术基础。河北藁城的出土文物——商代的铁刃青铜钺是我国最早的带铁器具,这说明我国商代劳动人民就开始使用铁器了。由于古代战争的需要,人们制造了各种古兵器,如刀、剑、矛、盾等,从商代开始至春秋时期(距今约两千多年)制造了各种兵器,在陆续出土的不少文物可以证实,春秋晚期,我国劳动人民已掌握了利用木炭还原铁矿石的固态块炼法,用这种方法得到海绵铁,这种铁经锻制可成为熟铁。战国初期,发展了液态生铁的冶炼和铸造工艺,随着冶铁技术的发展,热处理的技术也得到了不断的发展和完善。到了春秋战国时代,为了解决白口铁的过脆,经不起强烈冲击的问题,人们就开始研究和使用了生铁的柔化处理 and 可锻化处理的技术。

随着生产的发展和战争的需要,战国时期,热处理的渗碳工艺也得到了使用和发展,人们掌握了将块炼铁经高温渗碳而制成钢的方法。在此基础上采用木炭和骨粉为渗碳剂的固体渗碳工

艺得到了完善。当时,为强化兵器,钢的最重要的热处理工艺——淬火工艺也伴随产生。战国时期刀剑的金相组织中,就出现了淬火马氏体组织,使刃部的硬度达到 HV900,而心部的硬度为 HV220~300,这样就使兵器的刃部硬而锋利,从整体说来,兵器的韧性良好。

在炼钢方面我国在汉朝就出现了炒钢技术,同时发展了反复加热锻打,“百炼成钢”的生产工艺。至此,冶铁炼钢工艺在我国历史上有了较完整的发展。

《天工开物》是我国明末杰出的科学家宋应星写的一部科学巨著。他用文字详细记载了我国劳动人民在冶炼技术和工艺上的发展等方面的成就,是我国古代工农业、科学技术的集大成者。《天工开物》不仅是我国历史上有关冶金技术和工艺的最完整的论著,也是世界上最古老的最全面的科学著作之一。

但是,几千年来由于我国处于漫长的封建社会中,生产力得不到发展,始终停留在小规模手工业的生产水平上。而我国近代钢铁工业的发展又是在帝国主义侵入中国之后才开始的,旧中国的钢铁工业不仅破、旧、小,而且带着浓厚的殖民地性质,这样就使我国在冶金技术和生产水平上远远落后于欧美各国。直到解放前夕(1949年),由于长期战争的破坏,铁的产量(包括土铁在内)仅有 25 万吨,钢的产量还不到 16 万吨,其他金属材料,如铜、锡、铅等有色金属的生产也十分落后。

建国以来,在党和人民政府的正确领导下,我国人民发扬了“自立更生,奋发图强”的精神,使我国金属材料的生产和热处理工艺都得到了飞跃的发展。就拿钢的产量来说,1978 年突破了三千万吨,跃居世界第五位。我国已经制定了各种金属材料的国家标准,建立了符合我国资源条件的比较完整的合金钢系统,极大地改变了我国过去合金钢中照抄外国的、镍铬钢占 68.2%,自给率很低的落后状态,从而发展了以硅硼为中心的无镍铬新钢种系统。冶金设备和工艺也都有了很大提高,我国自行设计制造了 1200 吨混铁炉,1513 米³ 的大型高炉设备,120 吨氧气转炉设备,250 吨真空浇注设备,以及 R5-150×1050 毫米板坯连注机等。热处理工艺随着现代机械制造业的建设与发展已经相应配套,有了比较完整与先进的热处理设备及工艺,如可控气氛热处理、真空热处理、形变热处理、辉光离子氮化等新工艺。但是,和世界先进水平相比,我国金属材料的生产不仅数量上不能满足我国建设日益发展的需要,而且在质量上也有较大的差距;为在本世纪末实现具有中国特色的四个现代化的宏伟目标,我们应该作出更大的努力。

这里所说的金属材料,实际内容以“钢铁材料”为主,辅以部分的有色金属材料。因为在建设中使用最广泛、数量最大的主要是钢铁材料和部分有色金属,其他金属材料用量及使用范围都较小。(但不能说其他金属材料不重要,因为每一种金属元素都有它自己特有的性质,也就有它特有的用途,是别的金属元素所不能取代的,这一点我们以后再讲。)

对于物资经济管理工作来说,管理的对象是物资,而物资按它们的属性一般可分为金属材料、非金属材料、电工材料、机电设备等。如何正确地组织供应金属材料,对合理的使用金属材料进行必要的监督,提出节约金属材料的有效措施,以及如何充分发挥金属材料的潜在性能等等,这些都要求物资经济管理人员必须具备一定的有关金属材料的科学知识。这些科学知识包括:金属学、金属工艺学、各种材料的试验方法、以及材料科学等,只有具备了这些科学知识才能

做好物资经济管理工作。

从管理角度要求看,凡是经过物资管理部门分管的金属材料要做到能认真负责、科学地进行验收、入库、妥善保管,做好各项装卸运输作业,使金属材料保质保量地使用到生产建设上去,使国家的宝贵金属资源和经过人民辛勤劳动生产的金属材料都能发挥其最大的经济效益,这是物资经济管理人员的光荣职责。

为中央广播电视大学物资经济管理专业教学而设的《金属材料学》课程,就是要使得参加学习的物资经济管理人员能够得到一定的有关金属材料的科学知识。随着经济管理工作的不断深入和加强,要求物资经济管理人员具备的知识面也愈来愈宽,他不仅包括金属学、金属工艺学、有关科学试验方法以及材料科学等知识,而且应该在此基础上更广泛地了解金属材料商品学方面的知识和有关的经济管理知识,以提高在物资经济管理工作中的分析问题、认识问题和具体地解决问题的能力,更好地完成我们肩负的重任。

为此,本课程内容共设四篇:第一篇金属材料的基础理论,在这篇里主要叙述金属材料的性能、金属的晶体结构、合金的相结构、合金状态图、钢的热处理等有关知识;第二篇黑色金属材料,主要叙述钢铁生产和钢材生产的基本知识,及其对材质的影响,生铁、铁合金、铸铁、钢的分类牌号、组织、性能和用途,以及各种钢材的具体规格、品种及其主要使用方向;第三篇有色金属材料,主要介绍常用有色金属铜、铝、铅、锡、锑等的性能及用途,并简要介绍了稀有金属及其他有色金属的概况;第四篇金属材料的防腐和验收,主要叙述金属材料的腐蚀原理及其保护方法,和金属材料的基本检验、验收方法。

本书为中央广播电视大学物资经济管理专业所设的《金属材料学》课程的教材。有关金属材料学的试验指导,教材各章的补充内容,以及教学参考资料等另汇编成参考资料一书,便于结合基本教材的学习进一步理论联系实际,加深理解,扩大知识面。

本书是按中央广播电视大学八三级经济类工业企业经营管理(物资经济管理)专业课程教学大纲编写的,在编写过程中虽然吸取了多方面的教学实践经验和有关教材的优点,并收集了我国在金属材料生产及材料科学方面所取得的较新成就。但由于我们水平所限,编写时间短促,书中欠缺和不妥之处在所难免,望广大读者给予指正。

本书由北方交通大学材料系龚惠芳、张庆颐、詹荷生、祝菊生、陈宝田、鞠颂东等同志参加编写,并由龚惠芳、詹荷生二同志主纂,国家物资局高云峰、施永锡二同志负责全书的主审工作,北京经济学院物资管理系给予了大力支持,在此致以诚挚的谢意。

编 者

一九八四年二月

目 录

第一篇 金属材料的基础理论

第一章 金属材料的性能	1
第一节 金属材料的物理和化学性能	1
第二节 金属材料的机械性能	3
第三节 金属材料的工艺性能	10
第二章 金属的晶体结构与结晶	11
第一节 金属与金属键	11
第二节 金属的晶体结构	17
第三节 金属的结晶	25
第四节 金属的同素异晶转变	29
第三章 合金中的相结构和二元合金相图	31
第一节 合金中相结构的基本类型	31
第二节 二元合金相图	39
第四章 铁碳合金状态图	50
第一节 铁碳合金的组织结构	51
第二节 铁碳合金状态图分析	53
第三节 合金元素对铁碳合金状态图的影响	66
第五章 钢的热处理	72
第一节 概述	72
第二节 钢在加热时的转变	73
第三节 钢在冷却时的转变	79
第四节 钢的热处理工艺	90
第五节 合金元素对钢热处理的影响	104

第二篇 黑色金属材料

第六章 炼铁与炼钢	108
第一节 炼铁	108
第二节 炼钢	118
第七章 生铁、铁合金和铸铁	135
第一节 生铁和铁合金	135
第二节 铸铁	141
第八章 钢	146
第一节 钢的分类及牌号表示方法	146
第二节 普通钢	154

第三节	优质结构钢	158
第四节	工具钢	168
第五节	特殊性能钢	174
第九章	钢材的生产	186
第一节	金属及合金的塑性变形	187
第二节	钢材生产的基本方法	200
第十章	钢材	213
第一节	型材	215
第二节	板材	228
第三节	钢管	236
第四节	钢丝及其制品	244
第五节	专门用途钢材	255

第三篇 有色金属材料

第十一章	铜及铜合金	273
第一节	铜	274
第二节	黄铜	276
第三节	青铜	281
第四节	白铜	287
第五节	铜材	290
第十二章	铝及铝合金	292
第一节	铝	293
第二节	铝合金	294
第三节	铝材	301
第十三章	锡、铅、铋及轴承合金	305
第一节	锡	305
第二节	铅	307
第三节	铋	309
第四节	轴承合金	311
第十四章	粉末合金	319
第一节	粉末合金的生产	319
第二节	粉末合金的应用	321
第十五章	其他有色金属及合金	327
第一节	锌及锌合金	327
第二节	镁及镁合金	329
第三节	钛及钛合金	330
第四节	镍及镍合金	332
第十六章	稀有金属(简介)	336
第一节	稀有难熔金属	336
第二节	稀有轻金属	340

第三节	稀土金属.....	342
第四节	稀散金属.....	344

第四篇 金属材料的防腐及验收

第十七章	金属材料的腐蚀和防腐.....	347
第一节	金属腐蚀的机理.....	347
第二节	金属材料的防腐.....	354
第十八章	金属材料的验收.....	364
第一节	检验的依据和内容.....	364
第二节	金属材料数量验收.....	365
第三节	金属材料的质量检验.....	366
附录一	国外钢材的分类及其牌号表示方法简介.....	373
附录二	国内外钢号对照表.....	382
附录三	钢铁产品和有色金属材料的涂色标记汇总表.....	388

第一篇 金属材料的基础理论

第一章 金属材料的性能

金属材料在工业、农业、国防以及科学技术各个领域得到广泛的应用，它是实现我国四个现代化建设的重要物质基础。

金属材料具备很多可贵的性能。这些性能分为两类：一类称为使用性能，它反映金属材料在使用过程中所表现出的特性，包括机械性能、物理及化学性能等。另一类称为工艺性能，它反映金属材料在加工制造过程中表现出的特性，包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性和热处理性能。本章主要介绍这些性能的概念及某些性能的测试方法。只有深入、全面地了解金属材料的各种性能，才能正确、经济、合理地供应和管理金属材料。

第一节 金属材料的物理和化学性能

一、比 重

常用金属材料的比重差别很大，例如，铜为 8.9，钢为 7.8，钛为 4.5，铝为 2.7。

近代受使用者欢迎的是体积小、重量轻、强度高的金属构件，这就要求材料有高的比强度（强度和比重的比值），这个问题对于飞机、火箭、潜艇等更有特殊意义。在各类金属中比强度最高的是钛，钛的强度比铁高，但比重只有铁的二分之一。我国含有丰富的钛，因此含钛合金定会得到广泛的应用。

二、导 电 性

金属传导电流的能力叫导电性。导电性是金属所固有的特性。金属中的自由电子在一定的电位差下作定向运动，产生电流。正离子对自由电子通过的阻碍产生电阻，随温度的升高正离子对电子通过的阻碍加大，这就是电阻随温度升高而增加的原因。

纯金属中，以银的导电性最好，其次是铜、金、铝。因此工业上用纯铜、纯铝作导线。合金的导电性比纯金属差，某些合金（如镍-铬合金、铁-铬-铝合金）具有很高的电阻率，因此用于制作电阻丝。

三、导 热 性

金属传导热能的能力叫导热性。高的导热性是金属的特性。物质对热能的传递是靠原子的振动或电子的运动来完成的。原子的振动为所有固体物质所共有，而自由电子的运动则是金属所独有，这就是金属具有良好导热性的原因。金属中银、铜、铝的导热性最好。纯金属的导热性比合金要好。

四、热膨胀性

金属及合金在受热时体积膨胀，这是由于原子间相对距离增大的结果。热膨胀性以热膨胀系数 β 来表示：

$$\beta = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad \beta \text{ 的单位: 毫米/度} \cdot \text{毫米}$$

其中 l ——长度； Δl ——伸长量； Δt ——温度差。

一般在常温下使用的金属，其热膨胀性可以不予考虑，但对一些特殊金属构件，对热膨胀性必须给予足够重视。

五、磁 性

所有金属按其磁性可分为逆磁性、顺磁性和铁磁性三类。铁、钴、镍属于铁磁性物质。铁磁性物质当加热到某一温度时，其磁性消失，这个温度叫居里点。如铁的居里点为 768°C 。

对不同的磁性材料要求具有不同的磁性。例如，用来制造永久磁铁的材料要求有高的矫顽力和高的剩磁，这样的材料称为“硬磁材料”。用来制造变压器的硅钢片，要求有高的导磁率和低的矫顽力，这样的材料称为“软磁材料”。

六、抗氧化腐蚀性

金属由于和周围空气、介质发生化学或电化学反应而遭受破坏的现象称为氧化或腐蚀。

金属的氧化腐蚀给国民经济带来的损失是惊人的，据统计全世界每年由于氧化腐蚀而报废的金属设备和材料，相当于金属年产量的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ （几乎为一亿吨）。

同腐蚀及氧化作斗争是一项重大而又艰巨的任务。近代已有多种防止腐蚀的方法。如镀、涂、渗等工艺为主的电镀、涂料、金属表面磷化、氧化等表面保护方法。

第二节 金属材料的机械性能

一、强度、弹性、塑性

所谓强度是指物体在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性。由于承受载荷（又称负荷）形式的不同，金属的强度可分为拉伸强度、压缩强度、弯曲强度等，各种强度间有一定的联系。我们常以拉伸强度为最基本的强度值。

拉伸强度由拉伸试验测出。拉伸试样的形状及尺寸如图 1-1 所示。试样两端加一缓慢增加的拉力（又称拉伸载荷），观察加力过程中产生的伸长变形，直至试样被拉断为止。图 1-2 为拉力——伸长图（又称拉伸图），图的纵坐标表示载荷 P （公斤），横坐标表示绝对伸长 Δl （毫米）。

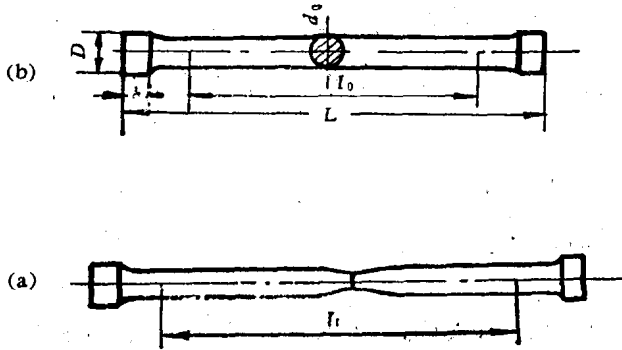


图 1-1 钢的拉伸试样示意图

(a) —— 拉伸前；(b) —— 拉伸后

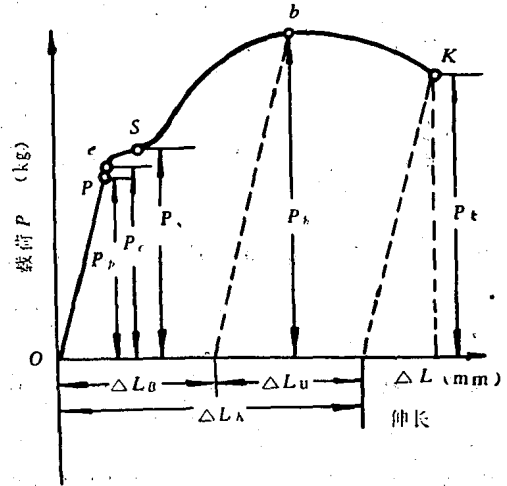


图 1-2 低碳钢的拉伸图

当载荷较小时，伸长与载荷成正比地增加，保持直线关系，这时若除去所加外力，则试样恢复原状，这种变形称弹性变形。载荷超过 P_p 后，拉伸曲线开始偏离直线，保持直线关系的最大载荷是比例极限的载荷 P_p 。当载荷大于 P_p 。再卸荷时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。这种残余变形是塑性变形。载荷增加到一定值时，拉伸图上出现了平台，在载荷不增加或减少的情况下，试样还继续伸长，这种现象叫屈服，屈服阶段的最小载荷是 P_s 。屈服后，金属开始产生明显的塑性变形。当载荷达到一个最大值 P_b 后，试样的某一部位截面开始急剧缩小，出现了“缩颈”，不久，当载荷达到 P_k 时，试样就在“缩颈”处断裂。 P_b 是从开始加载到断裂时所加的最大载荷。

综上所述，金属在外力作用下，变形过程可分为三个阶段：弹性变形、弹塑性变形和断裂。根据拉伸图，可以求出材料的强度与塑性指标。

强度指标最主要的有两个,一个叫抗拉强度(也叫强度极限),用 σ_b 表示,它表示材料抵抗外力而不致断裂的最大应力, $\sigma_b = \frac{P_b}{F}$ (公斤/毫米²);另一个是屈服强度(也叫屈服极限),用 σ_s 表示,它表示材料抵抗开始产生大量塑性变形的应力。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{公斤/毫米}^2)$$

式中 P_b ——试样拉断前的最大载荷(公斤);

P_s ——试样开始产生大量塑性变形时的载荷(公斤);

F_0 ——试样原始截面积(毫米²)。

抗拉强度 σ_b 和屈服强度 σ_s 是衡量材料强度的两个重要指标。在工程上,希望金属材料不仅具有高的 σ_s ,并且具有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比对不同材料有不同值,例如碳素钢为0.6左右,低合金钢一般为0.65~0.75,合金结构钢一般为0.85左右。

某些金属材料的屈服现象不明显,因此这类材料的屈服强度常以产生一定的微量塑性变形(一般用变形量0.2%)的抗力来代表,用 $\sigma_{0.2}$ 表示, $\sigma_{0.2}$ 叫条件屈服强度。

外力卸除后能立即恢复的变形叫弹性变形。拉伸时,试样单位长度的伸长量称应变,即应变(ϵ) = $\frac{\text{伸长量 } \Delta L}{\text{原始长度 } L_0}$ 。大多数金属在弹性变形阶段应力与应变成正比关系,即符合虎克定律,也即 $\sigma = E\epsilon$ 。

式中 σ ——应力,其值等于 P/F_0 ,单位是公斤/毫米²;

ϵ ——相对伸长,其值等于 $\Delta L/L_0$,用百分数表示;

E ——弹性模数,单位是公斤/毫米²。

弹性模数 E 可以看成是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,又称刚度。弹性模数愈大,材料的刚度愈大,在一定应力下产生的弹性变形就愈小。弹性模数主要取决于金属的本性,其他因素影响很小。在室温下,钢的弹性模数为19000~22000公斤/毫米²之间,铸铁的 E 值为6000~17000公斤/毫米²。

金属的塑性指标有两个,它们都表示材料在外力作用下产生塑性变形的能力。一个是延伸率,用 δ 表示, $\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$ (以%表示);另一个是断面收缩率,用 ψ 表示, $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0}$ (以%表示)。

式中:

L_0 ——试样标距原始长度(毫米);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(毫米);

F_0 ——试样原始截面积(毫米²);

F_k ——试样拉断时断口的截面积(毫米²)。

塑性指标中,延伸率 δ 的大小与试样尺寸有关,因为伸长量 $\Delta L = L_1 - L_0$ 包括了试样均匀伸长和局部缩颈后伸长两个部分,为了便于比较,试样的尺寸必须标准化。常用的试样计算长度规定为其直径的5倍或10倍,其延伸率分别用 δ_5 或 δ_{10} 表示,断面收缩率 ψ 与试样尺寸无关,它能

更可靠、更灵敏地反映材料塑性的变化。

通常以延伸率 δ 的大小来区别塑性的好坏, $\delta_{10} > 2 \sim 5\%$ 的称为塑性材料, 如铜、钢等; $\delta_{10} < 2 \sim 5\%$ 的称为脆性材料, 如铸铁、混凝土等。

二、冲击韧性

由金属材料制做的机械零件及结构件, 在工作过程中常常受到冲击载荷的作用。因此, 对材料的冲击抗力也有要求。传统的评价材料冲击抗力的指标是一次摆锤冲击弯曲试验。

金属抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性, 它以试样冲断时缺口处单位截面(厘米²)所消耗的功(公斤-米)来表示, 符号为 a_k (单位公斤-米/厘米²)。试验时将试样放置在固定支座上, 然后把抬高起来具有一定位能的摆锤释放, 使试样承受冲击弯曲以致断裂, 如图 1-3b 所示。我国和苏联用圆形缺口的“梅氏试样”[见图 1-3(a)]。

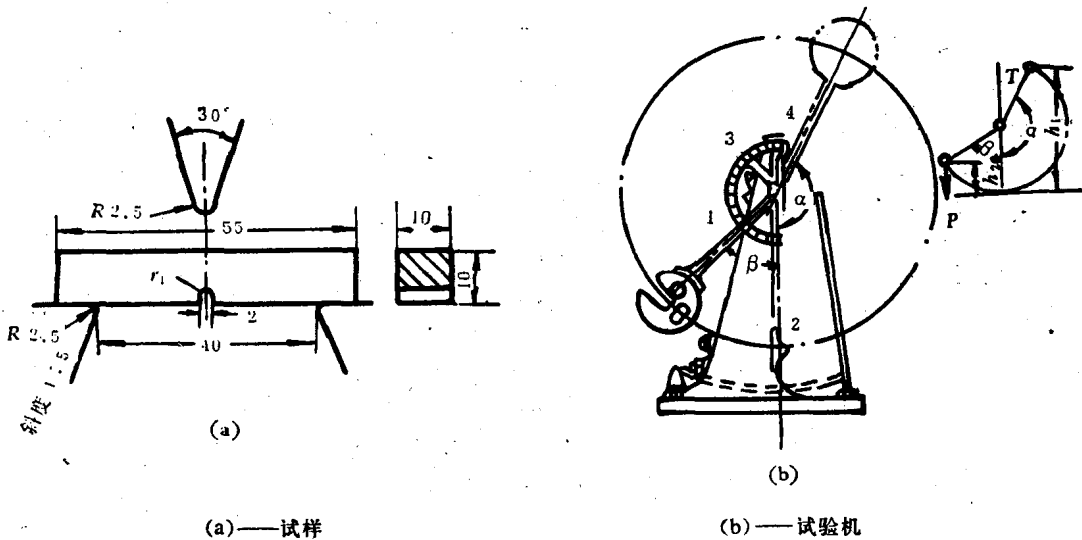


图 1-3 一次摆锤冲击弯曲试验示意图

1——摆锤; 2——试样; 3——刻度盘; 4——指针

a_k 值低的材料叫脆性材料, 它破坏时无明显变形, 断口较平齐, 呈瓷状。而 a_k 值较高的韧性材料破坏前有明显的变形, 断口呈灰色纤维状。

一般说来, 强度、塑性两者均好的材料, a_k 值也高。材料的冲击韧性除取决于其化学成分和显微组织外, 还与加载速度、温度、试样的表面质量(如缺口、光洁度等)、材料的冶金质量等有关。加载愈快, 温度愈低, 表面质量愈差, 则 a_k 值愈低。

三、硬 度

硬度是指金属表面上不大体积内抵抗变形或抵抗破裂的能力。由于测定硬度的试验设备比

较简单, 操作方便、迅速, 又属无损检验, 因此, 无论在生产或科研上, 硬度试验应用都很广泛。
常用的硬度试验指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

(一) 布氏硬度

布氏硬度试验是用一定大小的载荷 P (公斤), 把直径为 D (毫米) 的淬火钢球压入被测金属的表面(图 1-4), 保持一定的时间后卸除载荷, 根据金属表面压痕的表面积 F (毫米²) 去除载荷 P 所得的商值, 作为硬度的计算指标, 用符号 HB 表示之。

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{公斤/毫米}^2$$

布氏硬度值大小就是压痕面积上所承受的壓力, 一般不标出单位。硬度值愈高, 表示材料愈硬。

上式中只有 d 是变数, 试验时只要测量出压痕直径 d (毫米), 可通过计算或查布氏硬度表即可得出 HB 值。

淬火钢球的直径分 10、5、2.5 毫米三种, 为了保证同一材料的布氏硬度值相同, P 与 D 必须成比例, 对钢铁而言, 要求 $P=30D^2$, 对应于 D 为 10、5、2.5 毫米, 则 P 分别为 3000、750、187.5 公斤。布氏硬度试验规程见表 1-1。

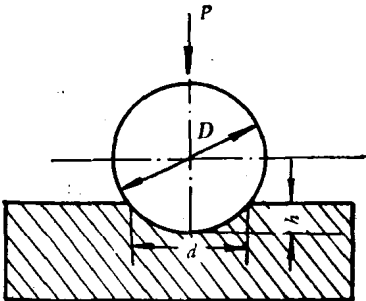


图 1-4 布氏硬度试验示意图

表 1-1 布氏硬度试验规程

材 料	HB 范围 (公斤/毫米 ²)	试样厚度 (毫米)	$\frac{P}{D^2}$	钢球直径 D (毫米)	载 荷 P (公斤)	载荷保持时间 (秒)
黑色金属 (如钢的 退火、正火、调质状 态)	140~450	>6	30	10	3,000	10
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
黑 色 金 属	<140	>6	30	10	3,000	30
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
有色金属及合金 (如铜、黄铜、青 铜、镁合金)	31.8~130	>6	10	10	1,000	30
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属及合金 (铝、轴承合金)	8~35	>6	2.5	10	250	60
		6~3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

布氏硬度试验的优点是测定数据准确、稳定, 数据重复性强, 因此用途很广, 通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等原材料以及退火、正火和调质热处理工件的硬度。其缺点是压头为淬火钢球, 故不能测定高硬度材料(HB450 以上不能用), 不能测太薄试样以及压痕较大, 容易损坏成品表面。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广泛的试验方法,它和布氏硬度一样,也是一种压入硬度试验,但它不是测定压痕的面积,而是测定压痕的深度,以深度的大小表示材料的硬度值。

洛氏硬度试验的压头分硬质和软质两种。硬质压头的顶角是 120° 的金刚石圆锥体,适用于淬火钢材等较硬材料的硬度测定;软质压头由直径为 1.588 毫米($\frac{1}{16}$)或 3.175 毫米($\frac{1}{8}$) 淬火钢球制成,适用于退火件、有色金属等较软材料的硬度测定。洛氏硬度所加负荷根据试验金属本身硬度不同而作不同规定(见表 1-2)。其常用三种符号以 HRA、HRB、HRC 表示。

表1-2 常用三种洛氏硬度试验范围

符 号	压 头	负荷(公斤)	硬度值有效范围	使 用 范 围
HRA	金刚石圆锥 120°	60	>70	适用测量硬质合金,表面淬火层或渗碳层
HRB	$\frac{1}{16}$ 钢球	100	25~100 (相当 HB60~230)	适用测量有色金属,退火、正火钢等
HRC	金刚石圆锥 120°	150	20~67 (相当 HB230~700)	适用调质钢,淬火钢等

洛氏硬度测定时,先用 10 公斤的初压力压入材料,压陷器压入的位置是图 1-5 中的 1-1,接着加主压力压至 2-2,然后卸去主压力(初压力不卸),压陷器回弹至 3-3,根据 1-1 和 3-3 位置的压入深度差 h 来确定洛氏硬度值,用 HR 表示,其计算公式为:

$$HR = C - \frac{h}{0.002}$$

式中 C 为常数,当压陷器为淬火钢球时 $C=130$,压陷器为金刚石圆锥时, $C=100$ 。材料愈硬, h 便愈小,而 HR 值越大。

洛氏硬度试验的优点是操作迅速,简便,可由千分表上直接读出硬度值,不必计算或查表,其压痕小,故可测量较薄工件的硬度。其缺点是精确性较差,硬度值重复性差。

(三) 维氏硬度

维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同,也是根据压痕凹陷面积上单位应力作为硬度值计量。所不同的维氏硬度的压陷器是采用锥面夹角为 136° 的金刚石四方锥体(图 1-6)。试验时在载荷 P 的作用下,在试样试验面上压出一个正方形压痕。测量压痕两对角线的平均长度 d ,借以计算压痕的面积 A ,以 P/A 的数值来表示试样的硬度值,用符号 HV 表示。

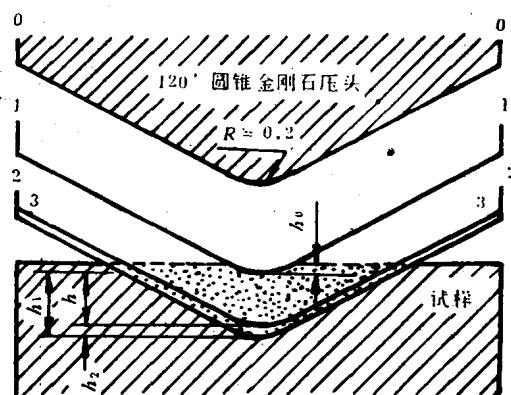


图 1-5 洛氏硬度试验原理图