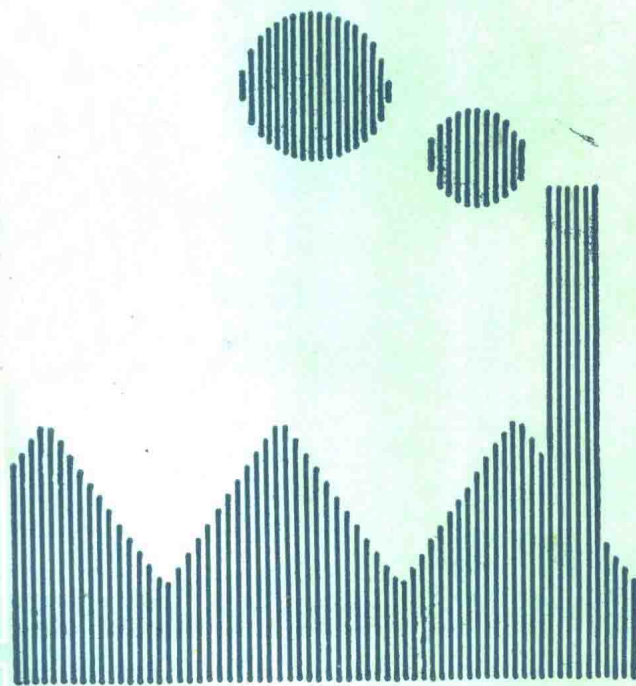
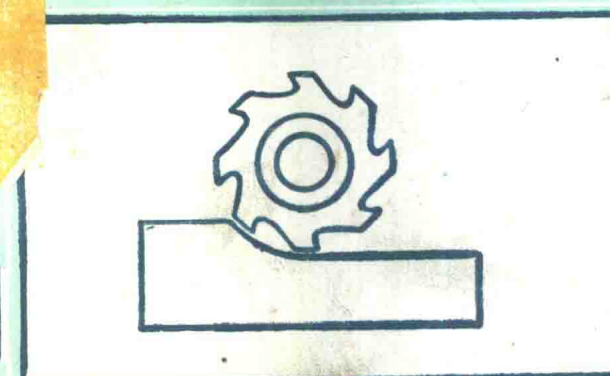
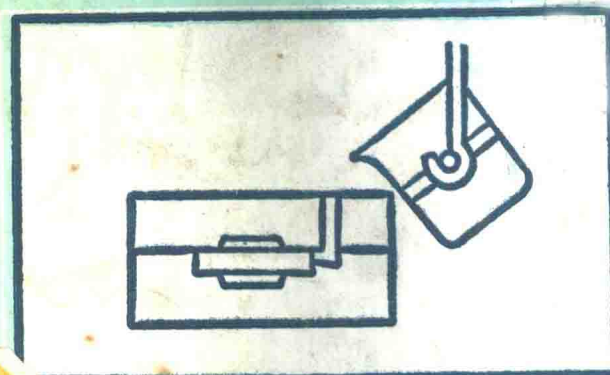
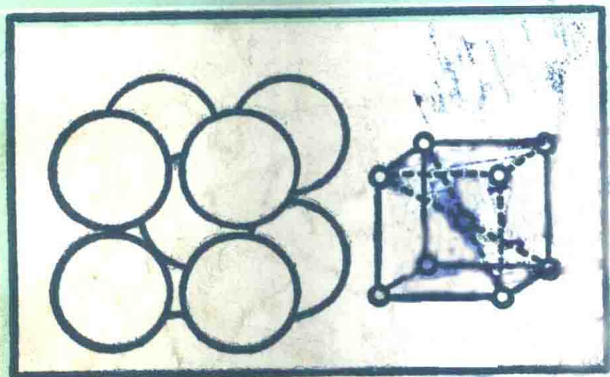


工程材料及机械制造基础

第一册

工程材料

李遇昌 王本德 主编



成都科技大学出版社

· 内 容 提 要 ·

本书以1986年12月《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》为依据,结合机械类各专业的教学需要编写而成。

全书分三册出版。第一册为“工程材料”,包括机械工程材料的基本理论、钢的热处理和常用工程材料;第二册为“热加工工艺”,包括铸造、锻压和焊接;第三册为“金属切削加工”,包括金属切削加工基础知识、零件表面加工和机械加工工艺以及圆柱体的公差与配合、形位公差和表面粗糙度等内容。

本书可作为高等工科院校机械类和近机类各专业的教材,也可供职工大学、电视大学,机械类专业师生和有关工程技术人员参考。

工程材料及机械制造基础

第 一 册

工 程 材 料

李遇昌 王本德 主编

成都科技大学出版社出版、发行
四川省新华书店经销
成都科技大学印刷厂印刷
开本787×1092 1/16 印张:15.375 插页:1幅
1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷
印数:1—7000 字数:364千字

ISBN 7-5616-0286-2/TB·11(课)

前 言

本教材以国家教育委员会工程材料及机械制造基础课程指导小组制定的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》为依据,并结合本课程的教学需要,由成都科技大学、贵州工学院、西南交通大学、四川工业学院、云南工学院联合编写。

全书分三册出版。第一册为“工程材料”,包括机械工程材料的基本理论、钢的热处理和常用工程材料;第二册为“热加工工艺”,包括铸造、锻压和焊接;第三册为“金属切削加工”,包括金属切削加工基础知识、零件表面加工和机械加工工艺,另外,还编写了一章“机器零件的几何精度”,以适应某些专业的教学需要。

本教材注意了内容的有机配合,如将金属材料的性质联系铸、锻、焊工艺的有关基础理论在第一册中集中讲解;此外,还力求加强基础理论、阐明工艺方法,突出工艺特点,做到内容叙述循序渐进、深入浅出,便于自学。

本书由李遇昌、王本德、王一戎、曾庆亨主编,参加编写的人员:第一册有王本德(第一、二、三、四、五、章)、王松龄(第六、七章)、李明亮(第八章)、储凯(第九、十、十三章,并修改第三、四章)、邱元佑(第十一章)、张崇才(第十二章);第二册有王一戎(绪论)、李广模(第一、二、三、五、十五章)、张贤之(第四章)、黎德尧(第六、七、八、九、十章)、赵素洁(第十一、十二、十三、十四章);第三册有曾庆亨(第一、二、三、十章)、沈爱琴(第四章)、李遇昌(前言、第五、六、七章)、刘胜青(第八章)、金久梅(第九、十一、十二章)、汪万清(第十三、十四章)。

本书由贵州工学院宦秉德教授主审,成都科技大学刘增沛副教授(第一册)、昆明工学院罗启华副教授(第二册),成都科技大学王继平副教授(第三册第四章)参加审阅。四川工业学院相仁逖副教授、沈思特副教授对本书提了许多宝贵意见。在编写过程中还得到昆明工学院以及其它有关院校领导的大力支持。在此表示衷心的感谢!

由于编者水平和经验有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者 1988 年 5 月

30419/104

绪 论

材料、能源和信息是发展现代社会生产的三大支柱，而能源和信息的发展又依赖于材料的进步。各国对材料的研究和发展极为重视。目前，材料的质量、品种和数量成为衡量一个国家科学技术、经济水平及国防力量的重要标志之一。

现代材料种类繁多，据世界 1980 年粗略统计，资本主义国家登记注册的材料总和已达 36 万种，并且每年还以 5% 的增长率增加。材料有多种分类方法：一般按化学成分：金属材料、有机高分子材料和无机非金属材料及其复合材料。表 1 显示了其主要区别：

表1 三种材料主要区别对照表

材料种类	组 成	结 合 键	主 要 特 征
金属材料	周期表B-At线 左侧全部元素	金属键	具有金属光泽，良好的塑性、导电、导热性，较高的强度与刚度，但本质特征是正电阻温度系数
高分子材料	碳、氢、氧、氮、 氟、氯等	共价键和分子键	轻、比强度高、橡胶高弹态、耐磨、耐蚀等， 易老化、刚性差、高温性能差
无机非金属材料	氧和硅或其它金属化合物、碳化物、氮化物等	离子键、共价键	高强度、耐高温、耐蚀性及一些物理特性、高脆性、无塑性

在元素周期表上从5*元素硼(B)到85*元素砹(At)划一折线，该线左边全是金属，右边为非金属，该折线附近元素具有金属和非金属两重性，如 B、Si、As、Te、At 等。

长期以来，人们对材料本质的认识是肤浅的，随着社会生产的发展和经验的积累，认识也不断加深。例如，出现了讲述制造过程和规律的“材料工艺学”。1863 年光学显微镜第一次用于金属的研究，出现了“金相学”。1913 年采用X射线衍射技术研究固体材料的晶体构造。1932 年电子显微镜的发明及以后出现的各种谱仪等分析手段把人类对微观世界的认识带入了更深的层次，观察到位错的存在及运动；近年来甚至可观察到重原子。此外，一些与材料有关的基础学科如化学、物理化学、量子力学、固体物理等的进展大大推动了材料研究的深化。在此基础上逐步形成跨学科的材料科学，它根据化学组成和微观结构解释材料具有的特性；从化学的角度研究材料的化学组成、相关系、化学键和合成方法；从物理的角度以晶体学、固体物理等为基础说明材料的微观结构与性能的关系，研究制取材料和使用材料的有关工艺问题。

工程材料是材料科学的一个分支，它研究常用工程材料的成分、组织结构、热处理工艺与性能之间的相互关系及其变化规律，研究对象是一切固体材料。通过控制成分和冷、热加工工艺来控制内部组织以提高材料的性能或创造新性能的材料。

《工程材料》是机械类各专业的一门技术基础课。其目的是培养学生具有合理选用常用工程材料、正确选定热处理工艺、妥善安排工艺路线等方面的初步能力。

本课程的内容包括三篇：（一） 机械工程材料的理论基础；（二） 热处理原理及工艺；（三） 常用工程材料如碳钢、铸铁、合金钢、有色金属、塑料与橡胶、陶瓷及复合材料等。

目前，机械工业生产中应用最广的是金属材料，在机器设备所用材料中约占90%以上。这是因为金属材料不仅来源丰富，而且具有优良的使用性能和工艺性能，能满足生产与生活的各种需要；更为可贵的是可以通过不同成分配制、不同加工方法和热处理工艺来改变其组织结构，以期改善性能、从而进一步扩大其使用范围。

人工合成高分子材料自本世纪二十年代问世以来，仅仅几十年，其产量之大、应用之广已经与传统钢铁材料相媲美。到1982年世界合成高聚物产量已达一亿吨以上，按体积计算，已与钢产量并驾齐驱。预计，到2000年其产量可达3.5亿吨，将为钢铁产量（体积）的四倍。它的迅速发展正在改变以钢铁为中心的时代。工程塑料是高分子材料的主体；至今世界上已有300多个品种，常用的也有60余种，其中聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、环氧塑料、ABC塑料、聚砒等已广泛用于机械、汽车、电气、仪表、轻化工、船舶、航空等方面。

古老的陶瓷材料也发生了革命性的突破，它已远远超出传统的日用、工艺、化工、电工陶瓷范围，成为高温结构材料和功能材料的主力军。最近，许多国家对超导陶瓷材料的研究已经取得突破性的成就，使超导材料用于生产与生活成为可能，甚至可能带来一场具有深远意义的科技革命。

近代复合材料的出现，为集中各类材料的优异性能于一体开辟了新的途径。现在，一些具有高的比强度和比刚度的复合材料已被用于航空、航天、船舶等部门。复合材料是由基体材料（合成树脂、塑料、橡胶、金属、陶瓷等）和增强剂复合而成。其中碳、碳纤维复合材料倍受重视。碳纤维增强铝、钛、镍等金属，耐热度可达1200℃，被用作飞机上涡轮机和推进器零件。把碳纤维与高温陶瓷复合制成燃气轮叶片，解决了高温陶瓷的脆性问题。有人预计，碳纤维复合材料应用于飞机，可能使飞机重量减轻50%。它还可用于制造人造卫星框架、液体火箭的燃料箱等。玻璃纤维增强塑料具有质轻、强度高、耐腐蚀、传热慢、电绝缘性好、能透过电磁波、隔音、减震和耐瞬时高温等一系列优点；加上原料来源丰富、价廉，产品的设计和工艺都较方便，因而发展较快。目前复合材料已达几万种，应用于机械、化工、建筑、交通等部门。因此，复合材料很可能成为二十一世纪的“钢”，具有广泛的发展远景。

我国对世界材料科学与工程的发展作出了突出的贡献。特别是党的十一届三中全会以后，材料工业有了迅速发展。1986年，钢产量已达5220万吨，居世界第四位。按我国的具体情况制定并完善了钢铁新标准，建立了符合我国资源的合金钢系统。新钢种正在日益发展。我国有色金属已能全部生产，品种达三万多种，能冶炼200多种稀有金属及合金，其中钨、锡、钼等八种有色金属产量居世界之首。在赶超国际先进水平方面成绩也很显著。我国已能生产世界上仅美、日等极少数国家所能生产的磁性最强的永磁件——钕铁磁钢。我国对超导材料的研究处于国际领先地位。我国许多科学技术，如卫星回收技术、空间发射技术、高功率激光器等接近或达到了国际先进水平，这些都表明我国的材料科学发展是迅速的，成绩是卓著的，具有巨大的潜力和广阔的前景。

目 录

绪 论

第一篇 机械工程材料的基本理论

第一章 金属的机械性能

- §1 强度
- §2 塑性
- §3 硬度
- §4 冲击韧性
- §5 疲劳强度

第二章 纯金属的结构与结晶

- §1 金属的晶体结构
- §2 金属的实际结构和晶体缺陷
- §3 金属的结晶与铸锭
- §4 金属的同素异晶转变

第三章 合金的相结构与相图

- §1 固态合金中的相结构
- §2 二元合金相图

第四章 铁碳合金

- §1 铁碳合金组元、基本相及相图中重要的点和特性线
- §2 铁碳合金相图分析
- §3 怎样灵活、迅速和牢固地掌握简化后的 $Fe-Fe_3C$ 相图

第五章 金属的塑性变形与再结晶

- §1 金属的塑性变形
- §2 塑性变形对组织和性能的影响
- §3 变形金属加热时组织与性能的变化
- §4 金属的热加工

第二篇 钢的热处理

第六章 钢的热处理原理

- §1 钢在加热时的转变

- §2 钢在冷却时的转变
- §3 淬火钢在回火时的转变

第七章 钢的热处理工艺

- §1 钢的退火和正火
- §2 钢的淬火和回火
- §3 钢的表面热处理

第三篇 常用工程材料及其应用

第八章 碳素钢

- §1 常存杂质对钢性能的影响
- §2 碳素钢的分类、编号和用途

第九章 合金钢

- §1 合金化原理
- §2 合金结构钢
- §3 合金工具钢
- §4 特殊性能钢

第十章 铸铁

- §1 铸铁概论
- §2 灰口铸铁
- §3 可锻铸铁
- §4 球墨铸铁
- §5 特殊性能铸铁

第十一章 有色金属及其合金

- §1 铝及铝合金
- §2 铜及铜合金
- §3 轴承合金

第十二章 非金属材料

- §1 高分子材料的基础知识
- §2 塑料
- §3 橡胶
- §4 陶瓷
- §5 复合材料

第十三章 工程材料的选用

- §1 选材的一般原则
- §2 典型零件的选材

附录

- 附表 (一) 压痕直径与布氏硬度对照表
- 附表 (二) 洛氏硬度 HRC 与其它硬度及强度换算表
- 附表 (三) 洛氏硬度 HRB 与其它硬度及强度换算表
- 附表 (四) 国内外钢号对照举例
- 附表 (五) 常用钢材在加热和冷却时的临界点
- 附表 (六) 淬火钢回火温度与硬度的关系
- 附表 (七) 各种材料机械加工工艺性能对比
- 附表 (八) 钢热处理工艺的代号与技术条件的表示方法 (GB43-63)

第一篇 机械工程材料的基本理论

研究机械工程材料，合理使用及充分发挥其性能潜力，必须了解机械工程材料的基本理论知识。

金属材料的机械性能一般包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。规定这些机械性能指标，可以为合理确定材料的使用范围及加工工艺路线提供依据。

了解纯金属及合金的结构和结晶过程、二元相图、铁碳合金等理论，有利于确定金属材料组成、内部组织结构与机械性能之间的内在联系，进一步研究热处理。

根据金属塑性变形与再结晶理论，认识金属的变形、回复、再结晶过程与材料性能的关联性，为正确制定和改进材料的加工工艺提供了理论依据。

第一章 金属的机械性能

金属材料品种繁多，各种材料的性能与其组成、组织结构、加工工艺、热处理工艺等密切相关。金属材料的性能包括使用性能和加工工艺性能。使用性能是材料在使用条件下表现的性能；包括物理性能、化学性能及机械性能。加工工艺性能是材料在冷热加工过程中表现的性能；包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。使用性能决定材料的应用范围和寿命。加工工艺性能有时甚至成为该材料能否被选用的关键性因素。

机械零件除在特殊条件下要求材料具有一定的物理、化学性能外，一般在选用材料及设计制造时皆以机械性能指标作为主要依据。机械性能表征金属材料抵抗外力作用的能力，一般包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度等。这些指标可用标准实验方法测定。也可通过查阅有关手册获得金属材料在一定条件下的机械性能指标值。规定与测定不同条件下的机械性能指标，可为材料的选择、零件的设计、加工工艺与热处理工艺的确定提供依据。

§ 1 强 度

金属在外力作用下抵抗变形和破坏的能力叫做强度。根据外力的性质不同，强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗扭强度等。但实际应用最广的是抗拉强度与屈服强度。测定强度的最基本的方法是拉伸试验。它是把具有一定形状和尺寸（GB228—83）的金属试样（见图1-1和表1-1）装夹在拉力试验机上，然后缓慢而均匀地施加轴向拉力，从而引起试样沿轴向伸长，直至把试样拉断为止。将试样从开始直到断裂前所受的

拉力 P 与其对应的伸长量 ΔL 绘成曲线，可得拉伸图（图1-2）。该图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特性，显示了金属在外力作用下的变形过程和规律。

表1-1 圆形试样的标距长度与横截面积间关系

试样		标距长度 L_0 , mm	横截面积 F_0 , mm ²	圆形试样直径 d_0 , mm	试样倍数的 表示记号
标准的	长	200	314	20	δ_{10}
	短	100			δ_5
比例的	长	$11.3\sqrt{F_0}$	任意	任意	δ_{10}
	短	$5.65\sqrt{F_0}$			δ_5

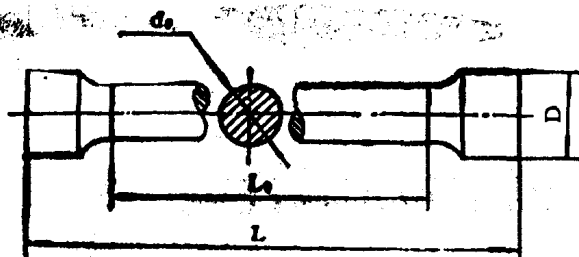


图1-1 圆形拉力试样

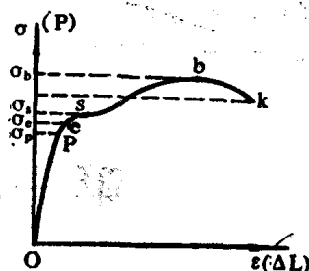


图1-2 普通低碳钢拉伸图

拉伸图与试样的尺寸有关，因此可分别以应力 σ （单位截面上的内力， $P / \frac{\pi d_0^2}{4}$ ）和应变 ϵ （单位长度上的伸长量， $\Delta L / L_0$ ）代替 P 和 ΔL ，由此绘出的曲线叫做应力—应变曲线，它和拉伸图具有相同的形状。由拉伸图可得到比例极限、弹性极限、屈服强度和抗拉强度指标。

一、比例极限

金属材料的伸长量与载荷成正比关系的最大应力，称为材料的比例极限，以符号 σ_p 表示。

当载荷不超过 P_p 时，拉伸曲线为一直线，即试样的伸长量与载荷成正比，此时只产生弹性变形。如果去掉载荷，试样立即恢复到原来的形状和尺寸。它完全符合虎克定律，故 P_p 是能符合虎克定律的最大载荷。

在实际工作中， σ_p 很难精确测定，故国标中规定：在拉伸曲线上，稍微偏离弹性直线的某点，该点的切线与负荷轴间夹角的正切值较弹性直线与负荷轴间夹角的正切值增加50%时，该点处的应力便作为“规定比例极限”，仍以 σ_p 表示。

二、弹性极限

材料能承受的、不产生塑性变形的最大应力，称为弹性极限，以符号 σ_e 表示。它相当于图1-2中的 e 点。其特点是：虽然负荷 P 与伸长量 ΔL 为非线性关系，但

仍然是弹性变形。超过 e 点则为弹—塑性变形阶段。故 σ_e 是表征微量塑性变形的抗力。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_e —弹性极限载荷 (N) ;

F_0 —试样原始截面积 (mm^2) 。

在实际工作中, σ_e 很难精确测定。在国际 GB228—83 中规定, 残余伸长量为标距长度 L_0 的 0.01% 时的应力便作为“规定的弹性极限”, 并以 $\sigma_{0.01}$ 表示。

三、屈服强度

金属开始产生屈服现象时的应力, 称为屈服强度, 又称屈服极限, 以 σ_s 表示。它也代表金属对微量塑性变形的抗力。所谓屈服, 是指金属在外力不再增加的情况下, 塑性变形继续显著增加的现象。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_s —试样产生屈服现象时所承受的载荷 (N) 。

由于大多数金属没有明显的屈服点 S, 因此国标中规定: 残余伸长量为标距长度的 0.2% 时的应力, 作为条件屈服极限, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 在工程技术上非常重要, 是绝大多数机械零件设计时选材的主要依据, 也是评定金属材料的重要机械性能指标。这是因为零件与结构件经常因过量塑性变形而失效, 一般不允许发生塑性变形。另一方面, σ_s 在压力加工中起到重要的作用。要使材料发生大量塑性变形, 获得所需的形状和尺寸, 应使外力产生的应力大于或等于材料本身的屈服强度。

四 抗拉强度

金属在拉断前的最大应力, 称为抗拉强度, 表示材料对最大均匀塑性变形的抗力, 以符号 σ_b 表示。可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{MPa})$$

式中 P_b —试样拉断前的最大载荷 (N) 。

σ_b 是工程设计和选材时的主要依据之一, 也是评定金属机械性能的重要指标。

抗拉强度相当于图 1-2 中的 b 点。当载荷达到或超过 P_b 时, 试样的局部截面积缩小, 产生“缩颈”现象, 因为缩颈处截面积变小, 载荷也就下降, 当达到 K 点时, 试样很快被拉断。

工程上不仅希望金属具有高的 σ_s , 而且有一定的屈强比 (σ_s/σ_b)。屈强比愈小, 结构零件可靠性愈高, 万一突然超载, 也不致立刻破断。但此值太低, 材料强度的有效利用率很低, 没有发挥材料的性能潜力。因此, 在保证安全的前提下, 一般希望屈强比高些, 不同的材料具有不同的屈强比。例如, 碳素结构钢为 0.6 左右; 普通低合金钢为

0.65~0.75; 合金结构钢为0.85左右。

§ 2 塑 性

在外力作用下, 金属产生永久变形而不破坏的能力, 称为塑性, 即断裂前金属发生塑性变形的能力。通常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

一、延伸率 试样拉断后, 其标距部分所增加的长度与原标距长度的百分比称为延伸率, 以符号 δ 表示。

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

式中 L —试样拉断后的标距长度(mm);

L_0 —试样原始的标距长度(mm)。

由于总伸长是均匀伸长与局部缩颈处的集中伸长之和, δ 的大小与试样的尺寸有关。为了便于比较, 必须采用标准试样。以长试样(标距长度 L_0 与直径 d_0 之比 $L_0/d_0=10$)测出的延伸率, 以 δ_{10} 表示。以短试样($L_0/d_0=5$)测出的延伸率, 以 δ_5 表示。应该指出, 同一种材料, 其 δ_5 要比 δ_{10} 大些, 不能直接用 δ_5 和 δ_{10} 进行比较。如钢材, $\delta_5 \approx (1.2 \sim 1.5)\delta_{10}$ 。以45号钢为例, $\delta_5=20.5\%$, $\delta_{10}=16\%$; 而A3钢, $\delta_5=27\%$, $\delta_{10}=23\%$ 。

二、断面收缩率 试样拉断后, 其断裂处横截面积的最大缩减量与原截面积的百分比, 称为断面收缩率 ψ 。

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中 F —试样拉断后的最小截面积(mm^2);

F_0 —试样的原始截面积(mm^2)。

ψ 与试样尺寸无关, 它能较可靠地反映金属的塑性。一般 δ 和 ψ 值愈大, 则材料塑性愈好, 脆性愈小; 反之亦然。良好的塑性是金属材料进行轧制、锻造、冲压、电阻焊、摩擦焊等工艺的必要条件。

§ 3 硬 度

硬度是衡量金属材料软硬程度的一种性能指标。一般认为硬度是金属表面抵抗局部压入变形或刻划破裂的能力。

根据硬度值可估计材料的近似强度和耐磨性。通常, 硬度愈高, 材料磨损量愈小, 耐磨性愈高。因此, 硬度试验作为一种测定材料性能、检验产品质量、制定合理加工工艺的试验方法, 在科研和实际生产中得到了广泛的应用。

实际生产中应用较多的是静载压入法硬度, 分布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

一、布氏硬度

布氏硬度测定原理：用载荷为 P 的力，将直径为 D 的淬火钢球压入金属表面（图1-3）并保持一定的时间，而后去除载荷，测量金属表面圆形凹陷压痕的直径 d ，据此计算出压痕表面积 A_B 。每单位面积所受的力 P/A_B ，称为布氏硬度值，以符号HBS表示。

$$\begin{aligned} \text{HBS} &= \frac{P}{A_B} = \frac{P}{\pi D h} \\ &= \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \end{aligned}$$

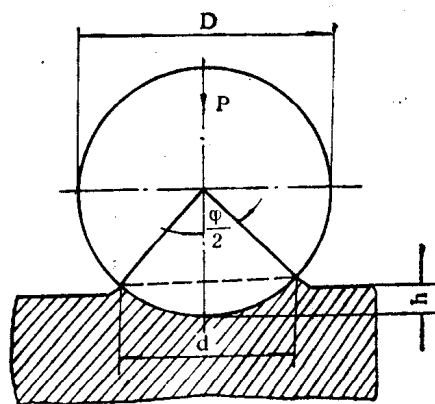


图1-3 布氏硬度试验原理示意图

如 P 以 Kgf 计， D 及 d 以毫米计，则其单位为 kgf/mm^2 ，但习惯上单位不予标出。

从上式知，只有 d 是变数，试验时只要用刻度放大镜读出 d 值，代入公式中就可求出HBS值。但实际应用时，将 d 所对应的HBS值算出并列成表格（见本书后附表一），由 d 的测定值便可查得对应的HBS值。

由于材料软硬不一，工件有厚薄，如果只采用一种标准负荷 P 和一种标准的钢球直径 D ，则会出现对某些材料或某些工件尺寸不合适的现象。因此，在进行布氏硬度试验时， P 、 D 和保持时间（ S ）的选择应根据被测金属的种类和试样的厚度等因素，按表1-2的试验规范来进行。

按国标GB231—84规定，压痕直径 d 应在下列范围之内： $0.25D < d < 0.6D$ ，否则试验无效。应考虑用其它载荷重作试验。对于钢，一般规定采用钢球直径 D 为10mm，载荷 P 为3000kgf，载荷保持时间为10s时所测硬度值用HBS表示，其它试验条件下符

表1-2 布氏硬度试验规范

材 料	HBS范围 (kgf/mm^2)	试样厚度 (mm)	$\frac{P}{D^2}$	钢球直径 D (mm)	载 荷 P (kgf)	载荷保持 时间(s)
黑色金属(如钢的退火、 正火、调质状态)	140~450	>6	30	10	3000	10
		$6 \sim 3$		5	750	
		<3		2.5	187.5	
黑色金属	<140	>6	10	10	1000	10
		$6 \sim 3$		5	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属及合金(如铜、 黄铜、青铜、镁合金)	36~130	>6	10	10	1000	10
		$6 \sim 3$		5	250	
		<3		2.5	63.6	
有色金属及合金(如铝、 轴承合金)	8~35	>6	2.5	10	250	60
		$6 \sim 3$		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

号HBS的右下角应注明钢球直径、载荷大小及载荷保持时间；如HBS_{10/1000/10}，即表示用10mm直径的钢球，在1000kgf的载荷下保持10"后所得的结果。

实践证明，布氏硬度和强度之间具有近似的数值关系。因为硬度表示金属表面的局部塑性变形抗力，材料强度愈高，塑性变形抗力越高，硬度值也越高。由实验方法求出的一些经验公式如下，此时强度要先换算成工程单位 kgf/mm²：

退火的低、中碳钢： $\sigma_b \approx 0.36HB$

调质的低、中碳钢： $\sigma_b \approx 0.34HB$

调质合金钢： $\sigma_b \approx 0.325HB$

灰口铸铁： $\sigma_b \approx 0.1HB$

布氏硬度法的优点是测定结果较准确，缺点是测量费时，压痕大，不适于成品、薄件的检验。目前的布氏硬度计一般均以钢球为压头，故当材料HBS>450时，不能用布氏硬度试验，而改用洛氏或维氏硬度试验测定其硬度。因此，布氏硬度通常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等原材料及结构钢调质件的硬度。

二、洛氏硬度

试验原理和布氏硬度一样，也是一种压痕试验法，但它不是测量压痕面积，而是测量压痕凹陷深度，以深度来表示硬度值（图1-4，a）。金属愈硬，压痕深度愈浅；反之亦然。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的概念，人为规定一常数K减去压痕深度h的值作为洛氏硬度值的指标，并规定每0.002mm作为一个洛氏硬度单位。用HR表示，

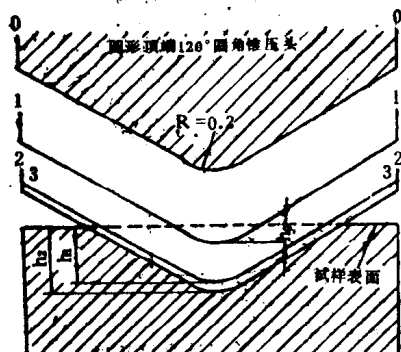
$$HR = \frac{K - h}{0.002}$$

洛氏硬度试验的压头分硬质和软质两种。硬质压头的顶角为120°的金刚石圆锥体，适用于淬火钢材等较硬材料的硬度试验；软质压头由直径为1.588mm(1/16")钢球制成并经淬火处理，适用于退火钢、有色金属等较软材料的硬度试验。常用的三种洛氏硬度试验规范如表1-3所示。

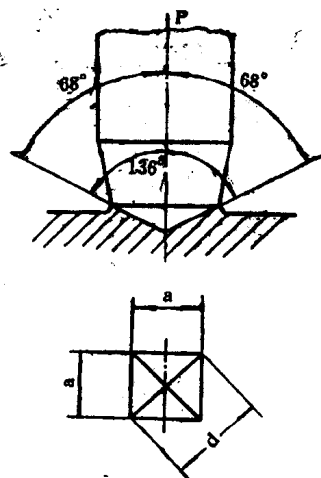
表1-3 常用的三种洛氏硬度试验规范

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

洛氏硬度法操作迅速、简便，可直接读出硬度值；压痕小，基本不损伤工件表面，故适用于检验成品、小件及薄件；测量范围大，较软金属和极硬的硬质合金均可测。



(a) 洛氏硬度试验原理



(b) 维氏硬度试验压头及压痕

图1-4 硬度试验示意图

三、维氏硬度

试验原理基本上和布氏硬度相同，也是根据单位压痕凹陷面积上的载荷计量硬度值。所不同的是维氏硬度试验的压头是采用锥面夹角为 136° 的金刚石四方角锥体（图1-4, b）。

试验时，在载荷 P 的作用下，在试样的试验面上压出一个正方形的压痕。测量压痕两对角线的平均长度 d ，借以计算压痕的面积 A_v ，以 P/A_v 的数值来表示试样的硬度值，用符号 HV 表示：

$$HV = \frac{P}{A_v} = 1.8544 P/d^2$$

载荷 P 可在 $0.5 \sim 120 \text{ kgf}$ 范围内，根据试样厚度和其它条件的不同予以选用。

当量出对角线的长度后，可直接查表得到试样的 HV 值，关于各硬度之间的换算，可查附表二。

维氏硬度法的优点是负荷可任意选择，所得硬度值相同；试验时所加载荷小，压入深度浅，特别适用于测量零件表面淬硬层及经化学热处理的表面层（如渗碳层、渗氮层）硬度，所测硬度值比布氏、洛氏精确。缺点是操作麻烦，效率不高，不宜用于成批生产的常规检验。

§ 4 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷的能力，称为冲击韧性，以符号 α_{KV} 表示。

很多机器零件在工作时要承受冲击载荷，如火车挂钩、锻锤的锤头和锤杆、冲床的连杆和曲轴、锻模和冲模等。对于这些在动载荷下工作的零件，如果仍用强度等静载荷作用下的指标来进行设计计算，就不能保证零件工作时的安全性，因而须按材料的冲击韧性来设计。

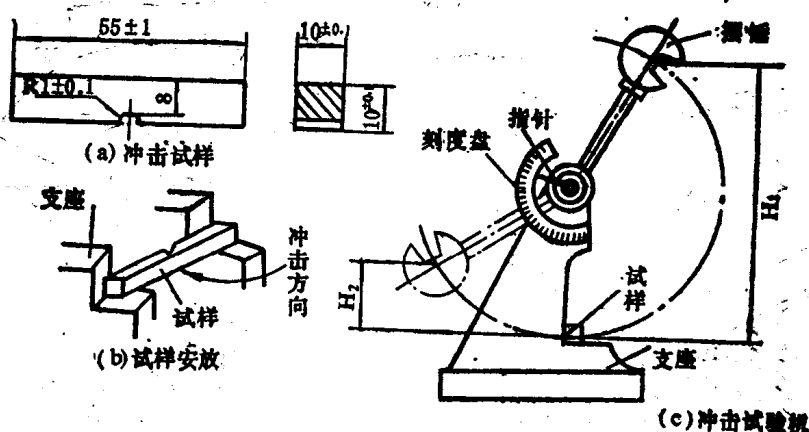


图1-5 摆锤冲击试验示意图

目前工程上用摆锤冲击试验来测定金属材料的冲击韧性。其原理如图1-5所示。将被测材料加工成标准试样(图1-5, a)安放在冲击试验机上。将具有一定重量的摆锤带到一定高度(H_1)，此时摆锤位能为 GH_1 ，然后使其落下，冲断试样。摆锤冲断试样后剩余的能量为 GH_2 。摆锤对试样所做的功为 $A_{KU} = G(H_1 - H_2)$ ，单位焦(J)，称为冲击功。 A_{KU} 除以试样缺口处的截面积即得到 α_{KU} 值：

$$\alpha_{KU} = \frac{A_{KU}}{F} \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

α_{KU} 的大小与很多因素有关，除了冲击高度和冲击速度、试样的成分和组织、试样的形状和尺寸、缺口的形式和质量等影响因素外，温度对它的影响也非常显著。图1-6表示 α_{KU} 受温度的影响图。从图中可知， α_{KU} 随温度的降低而减少，在某一温度时 α_{KU} 显著降低而呈现脆性，这个温度称为“脆性临界转变温度”。其数值越低，材料的低温冲击性能愈好。

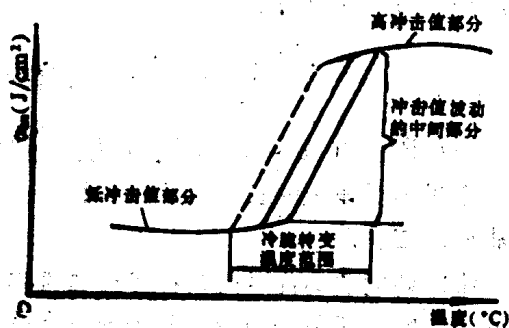


图1-6 温度对冲击值的影响

在实际生产中，在动负荷下工作的零件，很少因受一次超载荷冲击而破坏。很多情况下所承受的是属于小能量的多次重复冲击负荷。因而不能以 α_{KU} 表示多次冲击的抗力。研究表明，材料承受多次重复冲击的能力，主要决定于强度、塑性而不是冲击值。

§ 5 疲 劳 强 度

有些零件如轴、齿轮和弹簧等在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用，这种交变应力通常低于材料的屈服强度。在这种交变应力作用下，经过较长工作

时间, 零件发生断裂的现象称为“金属的疲劳”。疲劳断裂与静载荷下的断裂不同, 无论是塑性还是脆性材料, 断裂时都不会产生明显的塑性变形, 而是突然发生, 具有极大的危险性。据统计, 在承受交变应力作用的零件中, 绝大部分是由于疲劳而破坏。因此, 研究疲劳断裂机理, 提高材料的疲劳抗力, 防止疲劳断裂事故的发生, 对发展国民经济具有重大的实际意义。

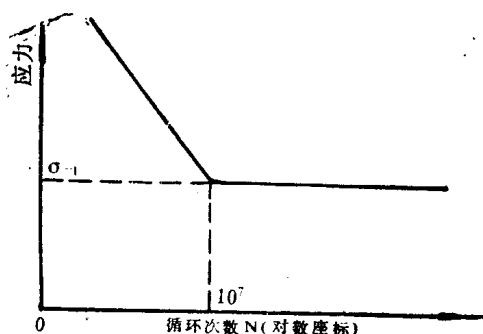


图1-7 疲劳曲线

疲劳强度是指材料经受无数次应力循环而不断裂时的最大交变应力。当应力循环对称时, 用符号 σ_{-1} 表示。图1-7为钢铁材料的疲劳曲线图。从该图知, 当材料承受的应力小于 σ_{-1} 时, 则可能经受无限次应力循环而不断裂。必须选择一个循环基数 N_0 以确定材料的疲劳强度, N_0 取为 10^7 次。对有色金属, $N_0=10^8$ 或更多的周次才能确定其疲劳强度。

疲劳断口一般由两部分组成。一部分是疲劳裂纹产生及扩展区, 其特点是因摩擦和挤压而较光亮, 有时可观察到若干弧形线或放射状的特征。另一部分是最后断裂区; 对于塑性材料, 断口为纤维状, 暗灰色; 对于脆性材料则是结晶状。

疲劳断裂的过程: 一般认为在重复或交变应力作用下, 其应力值虽小于其 σ_s , 但由于金属表面在交变载荷下产生不均匀滑移, 造成驻留滑移带, 以致形成疲劳微裂纹。另外, 晶界, 孪晶界及非金属夹杂物等处, 存在高的应力集中区, 产生微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展, 直至最后未裂的截面大大减小, 以致不能承受所加载荷而突然断裂。

提高 σ_{-1} 的措施, 除了强化材料、消除缺陷、正确设计外, 还可通过减小表面粗糙度和采用表面强化(喷丸、表面冷轧、化学热处理及表面淬火等)方法达到。表层形成的残余应力对 σ_{-1} 的影响很大。一般表面层存在残余压应力可使零件工作时产生疲劳裂纹的拉应力值降低, 从而大大提高其疲劳强度。