

高职高专机电类规划教材

机械制造基础

机械职业教育基础课教学指导委员会金工学科组 组编

肖智清 主编



机械工业出版社
China Machine Press

绪 论

一、典型机械的构成及其所用材料与加工方法

任何机械，大至船舶、飞机、汽车等，小至仪器、仪表等，都是由许多零件或部件组成的。以汽车为例，一辆汽车是由车身、发动机、驱动装置、车轮等部分构成，其中每一部分又由若干零件或部件组成。

轿车车身结构示意如图 0-1 所示，图中标示出了可见部分零构件的名称。由图可见，轿车车身由许多零部件组成，不同的零构件需用不同的材料（包括钢、塑料、橡胶和玻璃等）和不同的加工方法来制造。例如，前灯 1 的透镜是用玻璃制造的，聚光罩是用钢板经冲压和电镀制成的；发动机罩 2、顶盖 4、车门 8、翼子板 10、保险杠 11 都是用钢板经冲压制成的；前窗玻璃 3 和侧窗玻璃 6 均采用强化玻璃；座垫 5 的缓冲垫采用尿烷泡沫，包皮则采用乙烯或纺织品；轮胎 7 采用合成橡胶；车轴 9 用钢经锻造、热处理和切削加工等制成。

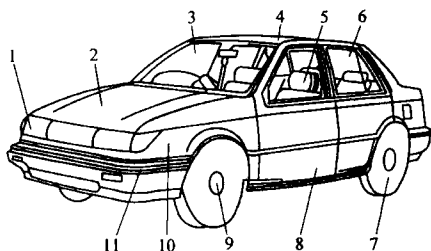


图 0-1 轿车车身结构示意图

- 1—前灯 2—发动机罩 3—前窗玻璃 4—顶盖
5—座垫 6—侧窗玻璃 7—轮胎 8—车门
9—车轴 10—翼子板 11—保险杠

二、机械工程材料及其分类

材料是人类用来制造各种产品的物质，是人类生活和生产的物质基础。

材料的种类繁多，按材料的组成特点，可分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料四大类；按材料的使用性能，可分为主要作为承力结构使用的结构材料和主要利用其光、电、磁、热、声等特殊性能的功能材料两大类；按材料的应用领域，可分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料、航空航天材料等多种类别。

机械工程材料是主要用于制造结构件、机械零件和工具的材料。通常按化学成分与组成的不同分为金属材料、非金属材料和复合材料三大类。

三、机械制造系统与机械制造过程简介

制造业是通过制造过程，将制造资源（物料、能源、设备工具、资金、技术、信息和人力等）转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。

制造系统是制造过程及其所涉及的硬件（物料、设备、工具和能源等）、软件（包括制造理论、制造工艺和制造信息等）和人员组成的一个将制造资源转变

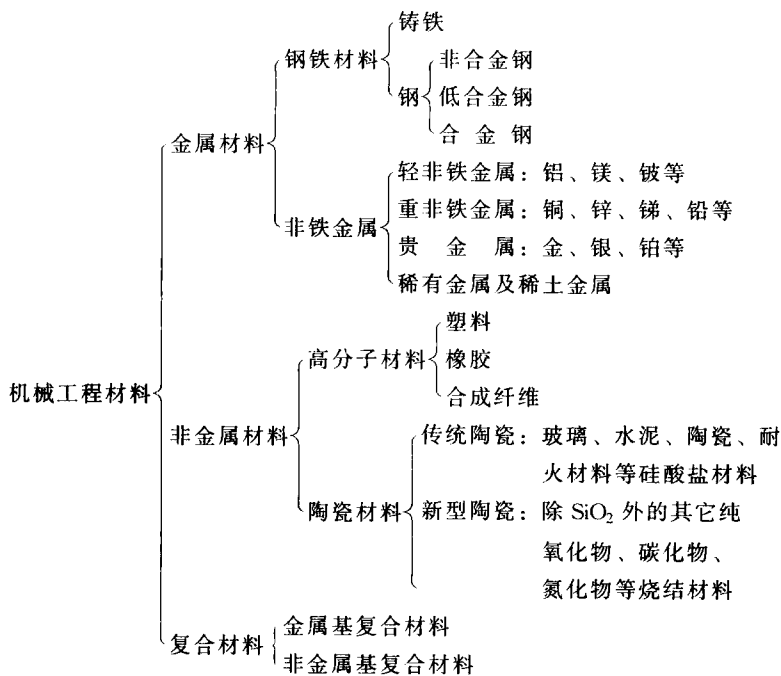


图 0-2 机械工程材料的分类

为产品（含半成品）的有机整体。

机械制造系统是一种典型的、具体的制造系统，它具有制造系统所具有的一切基本特性。其组成如图 0-3 所示。

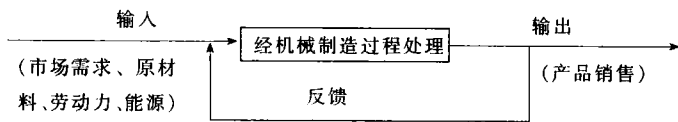


图 0-3 机械制造系统的组成

机械制造过程如图 0-4 所示，它是一个由资源向产品或零件的转变过程。

长期以来，人们习惯于孤立地分别研究机械制造过程中所涉及的各种问题，在改进机床、工具和制造工艺等方面取得了长足的进步，也成功地应用于大批量生产。但是，在如何大幅度提高小批量生产的生产率方面，由于各种因素非常复杂，长期未能取得大的突破。直至 60 年代末期，人们才开始运用系统的观点来认识和分析机械制造的全过程，并运用系统工程的理论和方法，根据机械制造系统的目的，从整体与部分、部分与部分、整体与外部环境之间的相互联系、相互作用及相互制约的关系中，综合地、准确地分析和研究制造系统，逐步获得了技术先进、经济合理、效率较高、整体协调运转的最佳效果。

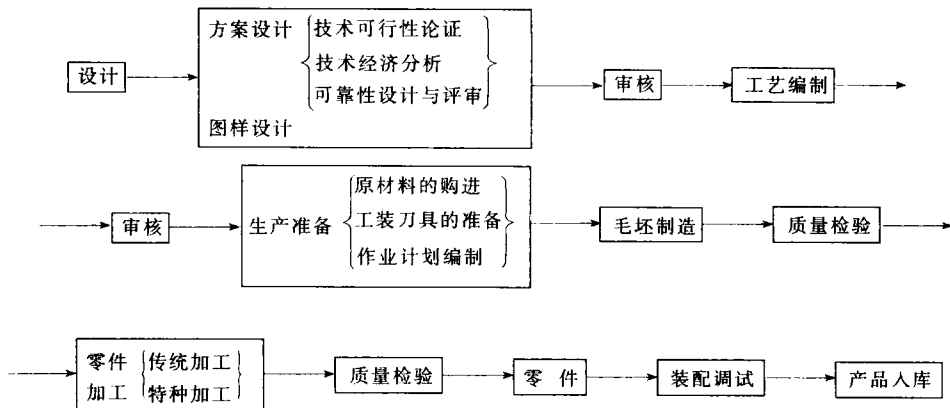


图 0-4 机械制造过程

四、材料应用与机械制造技术发展史

材料是人类文明的物质基础。材料的发现和广泛应用，以及材料加工工艺的进步是推动人类社会发展的动力。正因为如此，人们通常将材料作为划分时代的标志，即将人类社会划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。

1. 材料应用与机械制造技术发展简史 从古猿到原始人的漫长进化过程中，石器一直是人类使用的主要工具（除石器外，当然也应该有木器、竹器、骨器等，但都没有能像石器化石那样耐久而保留至今）。最初使用的是天然石块，以后慢慢学会了用石头相互撞击制造简单工具，这在人类历史上经历了大约二百万年的漫长岁月。后来逐步发展到磨制石器，按需要对石器进行磨光、磨尖、钻孔等，从而制作出石刀、石矛、石镞等精巧石器。大约距今 15000 年左右，才开始出现复合工具，即将石斧、石刀、石镞等安装在木制、竹制或骨制的把柄上，特别是选择合适的木料和动物筋键制成了弓、箭、弦等更加复杂的狩猎工具，使人类进入了新石器时代。

大约 50 万年前，人类学会了用火，到原始社会末期，人类的祖先开始用火烧制陶器。原始的制陶技术起源于旧石器末期，到新石器时代已相当发达。人类在利用火的时候，观察到泥土被火烘烤后变干、变硬的现象，于是在编制或木制的容器外面涂上一层粘土后放到火上去烧烤，后来发现成形的粘土不用内部容器也可以烧制陶器。制陶是人类第一次对材料的加工超出了仅仅改变材料几何形状的范围，开始能够改变材料的物理和化学性能，通过复杂的工艺过程，创造出自然界所没有的人工材料，同时对材料的加工也不仅仅是利用人的体力，而且利用了火这种自然力。因此，制陶是古代材料应用及其加工技术的一大重要进步。

人类在烧制陶器的过程中发明了冶铜术，后来又发现把锡矿石加到红铜中一起冶炼，制成的材料更加坚韧耐磨，这就是青铜，从而使人类于公元前 5000 年

进入青铜器时代。青铜的出现在人类技术发展史上具有重要意义。

大约在公元前 1200 年左右,人类进入铁器时代。冶铁技术和铁器的发明是古代材料技术最重大的成就。最先掌握的是铸铁冶炼术,后来炼钢工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。1775 年,英国人威尔肯逊为了制造瓦特发明的蒸汽机而制造了汽缸镗床,标志着人类用机器代替手工的机械化进入了新的发展时期。随后相继出现了各种类型的金属切削机床和刀具,以及自动线、加工中心、数控系统和无人化全自动工厂。

2. 我国古代在材料和机械制造方面的辉煌成就 古老的中华民族在材料的应用和机械制造技术方面有过辉煌的成就。新石器时代的仰韶文化和龙山文化时期,我们的祖先已经能在氧化性窑中 950°C 温度下烧制红陶;在还原性炉气中 1050°C 下烧制薄胎黑陶与白陶。3000 多年前的殷、周时期,我们的祖先已经发明了釉陶,炉窑温度提高到 1200°C 。东汉时期出现了瓷器,并于 9 世纪传至非洲东部和阿拉伯世界,13 世纪传至日本,15 世纪传至欧洲,使瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。

我国在夏(公元前 2140 年开始)以前就掌握了青铜冶炼术,虽然晚于古埃及和西亚,但发展很快。到距今 3000 多年前的殷商、西周时期,我国的青铜冶炼技术已达到当时世界领先水平,青铜已广泛用于制造各种工具、兵器、食器和祭器等。1939 年从河南安阳出土的晚商遗址中的司母戊大方鼎,其花纹精致,质量达 875kg,外形尺寸为 $133\text{cm}\times 78\text{cm}\times 110\text{cm}$,迄今为止是世界上最古老的大型青铜器。从湖北江陵楚墓中发掘出的两把越王勾践的宝剑,长 55.6cm,在地下埋藏 2000 多年仍然金光闪闪,锋利无比,是古青铜器的杰作。1980 年在陕西临潼秦始皇陵墓附近出土的 2000 多年前的彩绘铜车马,一车四马,由一名御官俑驾驶,大小约为真实车、马、人的一半,结构精致,形态逼真;整个铜车马由 3400 多个零部件组成,总质量为 1241kg;材料以青铜为主,并配有金银饰品,综合了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光以及各类联接等多种工艺;其加工工艺之复杂,制作技术之精湛,充分反映了我国劳动人民对古代人类文明所做的巨大贡献。

我国金属切削加工工艺的发展可追溯到青铜器时代。在湖南衡阳出土的东汉时期的人字齿轮,形状尺寸相当精致,说明在汉朝就有了金属机件。至明朝已经有了简单的切削加工设备,公元 1668 年,我国的切削加工已发展到使用直径近 6.6m 的嵌齿铣刀,由牲畜牵动旋转,来铣削天文仪上的铜环。明朝宋应星所著《天工开物》一书,详细记载有冶铁、炼钢、铸造、锻造、焊接(锡焊和银焊)、热处理(淬火等)等各种金属加工方法,其中记载的关于铣刀的制造、翻修和热处理工艺与现代相差无几,这是世界上最早的机械制造方面的科学著作。

由此可见,我国古代在材料和机械制造的许多方面,都曾经处于世界领先地位

位，为人类文明的发展和进步做出了巨大的贡献。但是，在 18 世纪以后，特别是从 1840 年鸦片战争以后，由于长期的封建愚昧统治和闭关自守，中国人民受尽了帝国主义侵略和殖民掠夺，严重阻碍了生产力的发展，使我国的科学技术水平处于极端落后的状态。

3. 我国在材料和机械制造领域的技术现状 新中国成立以后，特别是改革开放以来，我国在材料和机械制造领域有了突飞猛进的发展。材料和机械产品无论从品种、数量和质量方面，都基本满足了国防和工农业生产的需要。目前，我国的年钢产量已经突破一亿 t，非铁金属材料、高分子合成材料、陶瓷材料和复合材料等各种材料在机械制造中发挥了越来越重要的作用。机械制造的新材料、新技术、新工艺和新设备层出不穷，计算机技术也已广泛应用于机械制造过程中，许多机械制造企业正在朝着生产过程自动化的方向发展，与世界先进水平的差距正在逐步缩小。

以汽车制造业为例，通过技术引进与合作，我国汽车工业的整体水平有了大幅度的提高，尤其是轿车制造技术进步明显。主要表现在以下几个方面：一是节能技术，包括发动机燃料喷射技术和稀薄燃烧技术的应用；二是环保技术，国产轿车已广泛采用闭环控制电子燃油喷射系统，普遍安装了三元催化装置，使尾气的排放有了大幅度的降低；三是安全技术，包括 ABS 系统、安全气囊和新型安全带的安装，以及发生事故后自动熄火和断油等技术的采用。所有这些，都表明我国的汽车制造业已大大缩短了与跨国公司之间的差距，一些产品已经达到国际 90 年代水平。

五、工程材料与机械制造技术发展趋势

在进入新世纪之时，现代科学技术飞跃发展。材料技术、能源技术、信息技术成为现代人类文明的三大支柱。现在，世界上已有传统材料数十万种，并且新材料的品种正以每年大约 5% 的速度在增长。多种多样的金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料给社会生产和人们生活带来了巨大的变化。在工程材料的研究和应用方面，传统钢铁材料不断扩大品种规模，不断提高质量并降低成本，在冶炼、浇铸、加工和热处理等工艺上不断革新，出现了炉外精炼、连铸连轧、控制轧制等新工艺，微合金钢、低合金高强度钢、双相钢等新钢种不断涌现；在非铁金属及其合金方面，出现了高纯高韧铝合金、高温铝合金、高强高韧和高温钛合金，先进的镍基、铁基、铬基高温合金、难熔金属合金及稀贵金属合金等；快速冷凝金属非晶和微晶材料、纳米金属材料、定向凝固柱晶和单晶合金等许多新型高性能金属材料和磁性材料、形状记忆合金等功能材料也层出不穷。

在机械加工工艺方面，各种特种加工和特种处理工艺方法也日益繁多。传统的机械制造工艺过程正在发生变化，如铸造、压力加工、焊接、热处理、胶接、

切削加工、表面处理等生产环节采用高效专用设备和先进工艺，普遍实行工艺专业化和机械生产自动化；为适应产品更新换代周期短、品种规格多样化的需要，高效柔性加工系统获得迅速发展；计算机集成制造系统把计算机辅助设计系统（CAD）、计算机辅助制造（CAM）系统与生产管理信息系统（MIS）综合成一个有机整体，实现了机械制造过程高度自动化，极大地提高了劳动生产率和社会经济效益，是 21 世纪制造业的发展方向。

第一章 材料的力学性能

为了正确使用和加工材料，必须了解材料的使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中所表现的性能，主要包括力学性能、物理性能（如导电性、导热性、热膨胀性等）和化学性能（如抗腐蚀性、抗氧化性等）。工艺性能是指在制造机械零件的过程中，材料适应各种冷、热加工和热处理的性能，它包括铸造、锻造、焊接、冲压、切削加工等性能以及热处理工艺性等。

由于多数机械零件是在常温、常压、非强烈腐蚀性介质中工作，且在使用过程中各机械零件都将承受不同力的作用。所以，一般机械制造中选用材料和鉴定工艺质量时，常以力学性能指标为主要依据。力学性能是指材料在外力作用下表现出来的性能，主要有强度、塑性、硬度、冲击吸收功、疲劳极限、断裂韧性等。本章将主要介绍上述各性能指标及试验方法。

第一节 强度与塑性

材料受外力作用时，将会产生变形和破坏。其过程一般是：弹性变形－塑性变形－断裂。

弹性变形是外力去除后能够自行恢复的变形。塑性变形是外力去除后不能完全自动恢复而保留下来的变形，又称永久变形。

一、力－伸长曲线

力－伸长曲线即拉伸试验时，拉伸力与伸长量之间的对应关系曲线，一般由拉伸试验机自动绘出。通过力－伸长曲线，即可得出强度指标和塑性指标数据。

试验时，先将被测材料制成标准试样，如图 1-1a 所示。试样的直径为 d_0 ，标距长度为 l_0 。然后将试样装夹在拉伸试验机上，慢慢增加拉伸力，试样标距的长度将逐渐增加，直至被拉断。再把两段试样对接起来，标距将增至 l_1 ，断裂处截面的直径减至 d_1 ，如图 1-1b 所示。

图 1-2 所示是低碳钢试样的力－伸长曲线（由拉伸试验机自动绘出）。曲线的 oe 段，试样在拉伸力 F 作用下均匀伸长，伸长量与拉伸力成正比，这时如果去掉拉伸力，试样便完全恢复到原始的形状和尺寸，即材料处于弹性变形阶段。当拉伸力 F 继续增加超过 e 点以后，除弹性变形外，试样将产生微量塑性变形。拉伸力增大到 s 点时，拉伸力保持不变，而试样的伸长变形却继续进行，曲线在 s 点附近出现一水平（或波动）线段，这种现象称为“屈服”。屈服后变形又随

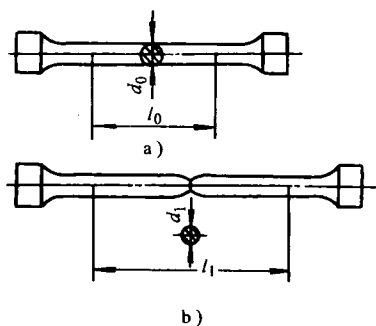


图 1-1 拉伸试样

a) 试验前 b) 试验后

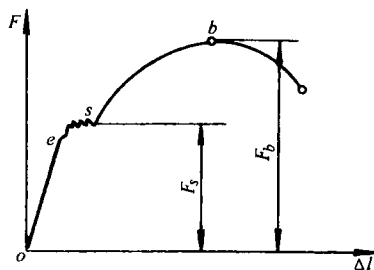


图 1-2 力-伸长曲线

拉伸力的增加而增大，曲线呈上升趋势，表示材料得到强化，抵抗拉伸力的能力增加。当达到 b 点时，试样抵抗拉伸力的能力达到最大。随后拉伸力下降，试样上某个部位发生局部收缩，称为缩颈现象。最后在缩颈处断裂。

二、强度指标

强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。强度的大小通常用应力表示。材料受外力作用时，其内部产生的与外力相对抗的力工程上称为内力。材料单位截面积上的内力即为应力，用符号 σ 表示，单位为 MPa。强度指标主要有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度等。

1. 屈服点与规定残余伸长应力 屈服点是指试样在试验过程中拉伸力不增加（保持恒定）仍然能继续伸长（变形）时的应力。用符号 σ_s 表示。即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s —— 试样屈服时所承受的拉伸力(N)；

S_0 —— 试样原始横截面积 (mm^2)。

不少材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象，也不产生缩颈，难以测出屈服点。此时可用规定残余伸长应力代替屈服点。规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。例如， $\sigma_{y0.2}$ 表示残余伸长达 0.2% 时的应力，通常写成 $\sigma_{0.2}$ 。图 1-3 为规定残余伸长应力示意图。其计算公式与 σ_s 类同。

屈服点与规定残余伸长应力 表明了材料抵抗微量塑性变形的能力。绝大多数机械零件在

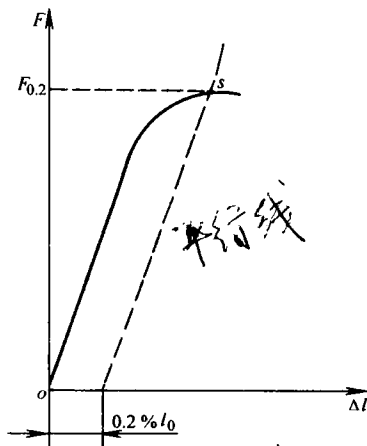


图 1-3 规定残余伸长应力示意图

工作中都不允许产生明显的塑性变形。因此, σ_s 和 $\sigma_{\gamma 0.2}$ 是设计和选材的重要依据。

2. 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前所承受的最大拉应力, 用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b ——试样所承受的最大拉伸力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度的物理意义在于它反映了材料最大均匀变形的抗力, 表明了材料在拉伸条件下, 单位面积上所能承受的最大载荷。显然, 机器零件工作时, 所承受的拉应力不允许超过 σ_b , 否则就会产生断裂。所以它也是机械设计和选材的主要依据。另外, 对于脆性材料来说, $\sigma_{\gamma 0.2}$ 也常常难以测出, 因此在使用脆性材料制作机械零件时, 一般用 σ_b 作为选材和设计的依据。

在工程上, 把 σ_s/σ_b 的值称为屈强比。其值越高, 材料强度的有效利用率越高, 但会使零件的安全可靠性降低。在性能允许的情况下, 一般屈强比大一点好, 在 0.75 左右。

三、塑性指标

塑性是材料在静载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。评定材料塑性的指标是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拉断后标距的伸长量与原标距长度的百分比。用符号 δ 表示:

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

式中 l_0 ——试样原标距长度 (mm);

l_1 ——试样拉断后对接的标距长度 (mm)。

伸长率的大小与试样标距长度有关, 按长径比将试样分为长试样 ($l_0/d_0 = 10$) 和短试样 ($l_0/d_0 = 5$) 两种。长试样的断后伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示; 短试样的断后伸长率以 δ_5 表示。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的。因而不能直接用 δ_{10} 和 δ_5 进行比较。一般短试样 δ_5 大于长试样的 δ_{10} 。

2. 断面收缩率 断面收缩率是指试样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:

$$\Psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积 (mm^2)。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 比较确切地反映了材料的塑性。

塑性直接影响到零件的成形及加工使用。塑性好的材料, 不仅能顺利地进行

轧制、锻压等成形工艺，而且在使用中万一超载，由于塑性变形，也能避免突然断裂。所以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。一般情况，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。

第二节 硬 度

硬度是衡量材料软硬程度的指标，其物理含义与试验方法有关。例如：压入法的硬度值是指材料抵抗比它更硬的物体压入其表面产生局部变形的能力；刻划法硬度值表示材料抵抗表面局部破裂的能力；而回跳法硬度是表示材料弹性变形功的大小。因此，硬度值实际上是一种工程量或技术量而不是物理量。一般认为，硬度是指材料局部表面抵抗塑性变形和破坏的能力。

工业上应用广泛的是静载荷压入法硬度试验，即在规定的静态试验力下将压头压入材料表面，用压痕深度或压痕表面面积来评定硬度。常用的主要有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度试验是指用一定直径的球体（淬火钢球或硬质合金球）以相应的试验力压入待测材料表面，保持规定时间并达到稳定状态后卸除试验力，测量材料表面压痕直径，是计算硬度的一种压痕硬度试验方法，如图 1-4 所示（ h 为球冠形压痕的高， φ 为压入角）。

布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示。使用淬火钢球压头时用符号 HBS，使用硬质合金球压头时用符号 HBW，计算公式如下：

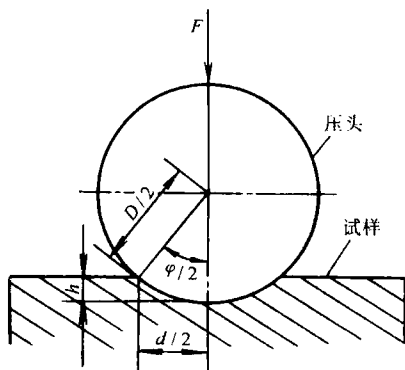


图 1-4 布氏硬度试验原理

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (N)；

D ——球体直径 (mm)；

d ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可以看出，当 F 、 D 一定时，布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小，布氏硬度值越大，也就是材料硬度越高；反之，则说明材料较软。

在进行布氏硬度试验时，首先应选择压头，当材料的布氏硬度值在 450 以下

(如灰铸铁、非铁金属及经退火、正火和调质处理的钢材等)时,应选用淬火钢球作压头;当材料的布氏硬度值在 450~650 之间时,则应选用硬质合金球作压头。同时应根据被测材料种类和试样厚度,按照表 1-1 所示的布氏硬度试验规范正确地选择压头直径 D 、试验力 F 和保持时间。

布氏硬度习惯上只写出硬度值而不必注明单位,其标注方法是,硬度值写在硬度符号前面。除采用直径 D 为 10mm,试验力为 29.42kN (3000kgf),保持时间为 10~15s 的试验条件外,在其它试验条件下测得的硬度值均应在硬度符号后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。例如:

120HBS10/1000/30,表示用直径 10mm 钢球在 9.80kN (1000kgf) 的试验力作用下,保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

500HBW5/750,表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.35kN (750kgf) 试验力作用下,保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度值的测量误差小,数据稳定,重复性强,常用于测量灰铸铁、结构钢、非铁金属及非金属材料等。但它测量费时,压痕较大,不适宜测量成品零件或薄件。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材 料 种 类	布氏硬度 使用范围 HBS	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保 持时间/s	备 注
钢、 铸铁	≥ 140	10	30	29420	10	压痕中心距试样 边缘距离不应小于 压痕平均直径的 2.5 倍
		5		7355		
		2.5		1839		
	< 140	10	10	9807	10 ~ 15	
		5		2452		
		2.5		613		
非 铁 金 属 材 料	≥ 130	10	30	29420	30	两相邻压痕中心 距离不应小于压痕 平均直径的 4 倍 试样厚度至少应 为压痕深度的 10 倍。试验后，试样 支撑面应无可见变 形痕迹
		5		7355		
		2.5		1839		
	35 ~ 130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

二、洛氏硬度

洛氏硬度是用锥顶角 120° 的金刚石圆锥或直径 1.588mm 的淬火钢球,在试

验力的作用下压入试样表面, 经规定时间后卸除主试验力, 用测量的残余压痕深度增量来计算硬度的一种压痕硬度试验, 如图 1-5 所示。试验时, 为了使压头与试样表面接触良好, 以保证测量结果准确, 故先加初始试验力 F_1 , 压头处于 1—1 位置, 然后再加主试验力 F_2 , 压头压入试样中处于 2—2 位置, 经过规定的保持时间后, 卸除主试验力 F_2 , 压头因材料的弹性恢复处于 3—3 位置。图中所示 h 为残余压痕深度。此深度越大, 材料的硬度愈低, 反之硬度愈高。洛氏硬度的数值, 在去掉主试验力后, 可直接由硬度计表盘上读出。

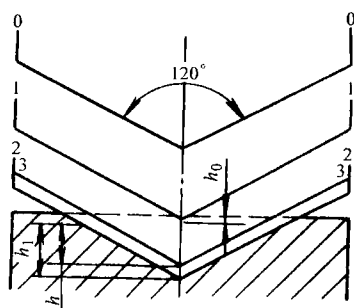


图 1-5 洛氏硬度试验原理

表盘上的硬度数值是这样确定的: 以每 0.002mm 作为表盘上的一小格, 即一个硬度单位, 指针转过的格数 $e = h / 0.002$ 。显然, 被测试材料愈软, h 愈深而 e 值愈大。用此格数 e 直接作为硬度值将造成错觉。因此, 用标尺刻度满量程 K 减去 e 值之差作为硬度值。即洛氏硬度值

$$HR = K - e = K - (h / 0.002)$$

当用金刚石压头时, $K = 100$, 用 $\Phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球作压头时, $K = 130$ 。

为了扩大洛氏硬度计的使用范围, 根据被测试对象的不同, 洛氏硬度试验法可采用不同的压头和载荷, 从而分成三种常用洛氏硬度标尺, 其硬度符号、试验条件和应用见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度试验规范 (摘自 GB/T 230—91)

硬度符号	测量范围	初始试验力 / N	主试验力 / N	压头类型	应用举例
HRC	20 ~ 70	98.07	1373	金刚石圆锥体	调质钢 淬火钢等
HRB	20 ~ 100	98.07	882.6	钢球	非铁金属 退火钢 正火钢
HRA	20 ~ 88	98.07	490.3	金刚石圆锥体	硬质合金 表面淬火层 渗碳层等

以上三种常用洛氏硬度标尺中, 以 HRC 应用最多, 一般经过淬火处理的钢零件和工具都用它测试硬度。应注意洛氏硬度无单位, 但要标明硬度符号。根据 GB/T 230—91 规定, 硬度数值在前, 符号在后。如 50HRC 表示用 HRC 标尺测定的洛氏硬度值为 50。注意硬度值应在有效范围内 (例如 HRC 值为 20 ~ 70) 方

为有效。

洛氏硬度测定简单，方便快捷，可直接从表盘上读出硬度数值，压痕小，可测成品表面硬度；测试范围大，能测较薄工件的硬度。但由于压痕小，测定结果波动较大，稳定性较差，故需测试三点，取其算术平均值，一般不适宜测试组织不均匀的材料。

三、维氏硬度

维氏硬度的试验原理基本上与布氏硬度试验原理相同。但维氏硬度试验的压头不是钢球，而是相对面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体。试验原理如图 1-6 所示。

试验时，以选定的试验力（49.03~98.07N）将压头压入试样表面，经过规定的保持时间后，去除试验力，则试样表面上压出一个四方锥形的压痕，测量压痕两对对角线的平均长度，计算硬度值。维氏硬度是用正四棱锥压痕单位表面积上承受的平均压力表示的硬度值，用符号 HV 表示；

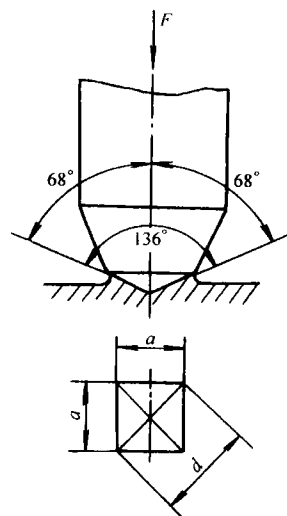


图 1-6 维氏硬度试验原理

$$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 F ——试验力 (N)；

d ——压痕两条对角线长度的算术平均值 (mm)。

压痕对角线长度是用附在试验计上的测微器来测量的。测量时应测出压痕两条对角线的长度 d_1 与 d_2 ，求出算术平均值作为压痕对角线长度 d ，然后就可以计算或查表得出维氏硬度值。

维氏硬度的测量范围是 5~1000HV，标注方法与布氏硬度相同。硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁的试验力保持时间为 10~15s 时，可以不标出。例如：

640HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验力保持 10~15s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度的适用范围宽，从极软的材料到极硬的材料都可以测量，弥补了布氏硬度因压头变形而不能测高硬度材料，洛氏硬度由于试验力与压头直径比的约束而使硬度值不能相互换算的不足；压痕轮廓清晰，采用对角线长度计量，精确可靠，误差小，能够更好地测量极薄试件的硬度，尤其是化学热处理的渗层硬度等。但维氏硬度需测量对角线长度，然后计算或查表才可获得硬度值，而且试样表面质量要求高。所以，测量效率较低，不适宜于大批生产，不适合测量组织不均匀的材料（如铸铁的硬度）。

第三节 冲击吸收功

强度、塑性、硬度都是在静试验力作用下测量的力学性能指标，但在实际生产中，许多零件经常是在冲击力作用下工作的，例如锻锤锤杆、冲床冲头等。实践表明，冲击力比静试验力的破坏能力大得多，因此对承受冲击力作用的零件，不仅要求有高的强度和一定的硬度，还必须具有足够的抗冲击能力。材料抵抗冲击力作用的能力，一般用冲击吸收功来表示。

冲击吸收功是指材料在冲击力作用下折断时所吸收的功。为了确定各种材料的冲击吸收功，必须进行冲击试验。

一、夏比冲击试验

1. 试验原理 夏比冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行。试验时，将带有缺口（V型缺口或U型缺口）的标准试样安放在试验机的机架上，使试样的缺口位于两支座中间，并背向摆锤的冲击方向，如图1-7所示。

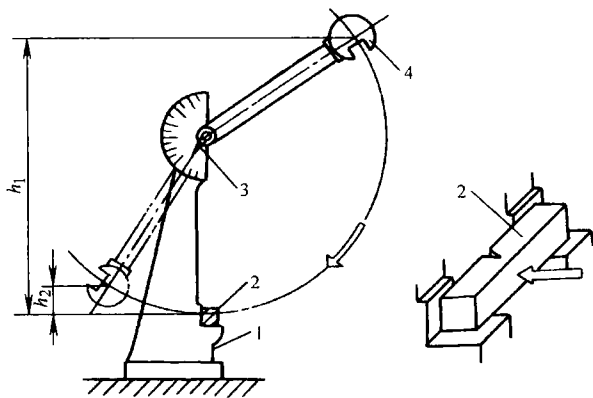


图 1-7 夏比冲击试验原理图

1—支座 2—试样 3—指针 4—摆锤

将一定质量 m 的摆锤升高到 h_1 高度，具有位能 mgh_1 ；摆锤落下冲断试样后升至 h_2 高度，具有位能 mgh_2 。摆锤一次冲断试样所失去的位能是：

$$A_{KV} (A_{KU}) = mgh_1 - mgh_2$$

$A_{KV} (A_{KU})$ 就是试样在一次冲击试验作用下折断时所吸收的功，称为冲击吸收功。 $A_{KV} (A_{KU})$ 的数值可以从试验机的刻度盘上直接读出。

显然，冲击吸收功大小表示了材料抵抗冲击力而不破坏的能力。

冲击吸收功是评定材料力学性能的重要指标。由于影响冲击吸收功的因素很

多，如试样的形状、表面粗糙度、内部组织状态等，测定数据的重复性差，因此，冲击吸收功尚不能直接用于强度计算，只作为设计时的参考指标，但冲击吸收功对组织非常敏感，可灵敏地反映材料质量、宏观缺口和显微组织的差异，能有效地检验材料在冶炼、加工、热处理工艺等方面的质量。此外，冲击吸收功对温度非常敏感，通过一系列温度下的冲击试验可测出材料的脆化趋势和韧脆转变温度。

2. 冲击试样 为了使试验结果不受其它因素影响，冲击试样要根据国家标准制作，如图 1-8 所示。

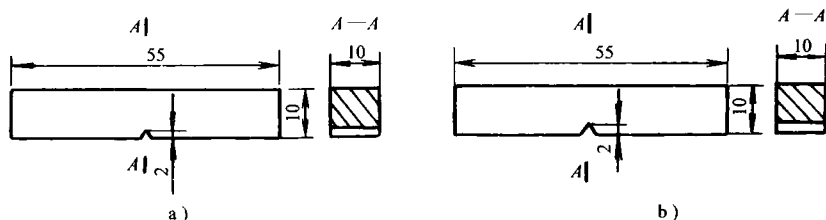


图 1-8 冲击试样
a) V 型缺口 b) U 型缺口

带 V 型缺口的试样，称为夏比 V 型缺口试样，冲击吸收功用 A_{KV} 表示；带 U 型缺口的试样，称为夏比 U 型缺口试样，冲击吸收功用 A_{KU} 表示。

试样上开缺口的作用是：在缺口附近造成应力集中，使塑性变形局限在缺口附近，并保证在缺口处发生破断，以便正确测定材料承受冲击力的能力。同一种材料的试样缺口愈深，愈尖锐，塑性变形的体积愈小，冲击吸收功愈小，材料表现出的脆性愈显著。因此，不同类型的冲击试样测定出的冲击吸收功不能直接比较。V 型缺口试样比 U 型缺口试样更容易冲断，因而其冲击吸收功也较小。

对于球墨铸铁和工具钢等脆性材料，为了特殊目的进行冲击试验时，也可采用不带缺口的冲击试样。

3. 冲击吸收功 - 温度关系曲线 冲击吸收功与冲击试验温度有关。有些材料在室温时并不显示脆性，而在较低温度下则可能发生脆断。在一系列不同温度的冲击试验中，冲击吸收功与试验温度的关系曲线称为冲击吸收功 - 温度曲线，如图 1-9 所示。

由曲线可见，冲击吸收功总的变化趋势是随温度降低而降低。当温度降至某一数值时，冲击吸收功急剧下降，材料由韧性断裂变为脆性断裂，这种现象称为韧脆转变。材料由韧性状态向脆性状态转变的温度称为韧脆转变温度。韧脆转变温度是衡量材料冷脆倾向的指标。材料的韧脆转变温度愈低，说明材料的低温抗冲击性能愈好。碳素结构钢的韧脆转变温度为 -20°C ，因此在较寒冷地区使用的

碳素结构钢构件，如车辆、桥梁、输油管道等，在冬天易发生脆断现象。故在选择材料时，应考虑韧脆转变温度必须低于其最低使用温度。

二、多次冲击试验

在实际生产中，零件经过一次冲击即发生断裂的情况极少。许多零件总是在很多次（ $>10^3$ ）冲击之后才会断裂，且所承受的冲击能量也远小于一次冲断的能量。这种冲击称做小能量多次冲击，简称多次冲击。

材料在多次冲击下的破坏也是裂纹产生和扩张的过程，但它是每次冲击损伤积累发展的结果，完全不同于一次冲击的破坏过程。在这种情况下，用冲击吸收功来衡量材料的抗冲击能力是不合适的。所以应进行多次冲击试验，以测定其多次抗冲击的能力。

多次冲击试验是在连续冲击试验机上进行的，如图 1-10 所示。试验时将多冲缺口试样放在试验机支座上，使之受到试验机锤头的小能量多次冲击。测定材料在一定冲击能量下，开始出现裂纹和最后破断的冲击次数，作为多次冲击抗力指标。

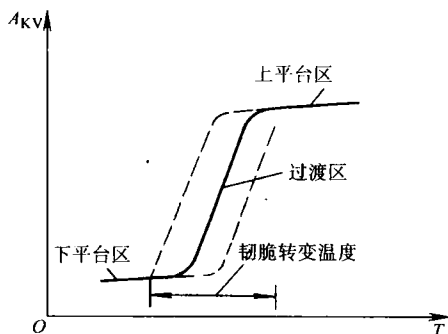


图 1-9 冲击吸收功-温度曲线

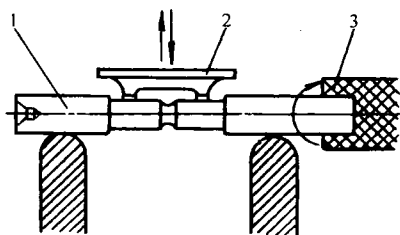


图 1-10 多次冲击试验示意图

1—多次冲击缺口试样 2—试验机锤头 3—橡皮

研究表明，材料的冲击抗力是取决于材料强度和塑性的综合性能指标，随着条件的不同，强度和塑性对冲击抗力的影响是不同的。大能量一次冲击时，其冲击抗力主要取决于塑性；而小能量多次冲击时，其冲击抗力则主要取决于强度。例如，某工厂在 1t 模锻锤小能量的锤杆热处理方面采取降低塑性提高强度的方法，使锤杆的使用寿命由原来的一个月延长到八个月，取得了较好的经济效益。

第四节 疲劳极限

一、疲劳现象

许多机械零件，如轴、齿轮、弹簧等都是在循环应力和应变下工作的。循环