

中等专业学校试用教材

机械工程学基础

上海市机电工业学校 范崇洛 主编

ZHONGDENG
ZHUANYE
XUEXIAO
JIAOCAI



机械工业出版社

前 言

本书是根据原国家机械工业委员会中等专业学校管理类专业教材编审委员会审定的教学计划和教学大纲编写的。

本书系统地介绍了有关机械制造的综合性基础知识。其内容包括机械工程材料、钢的热处理、铸造、锻压、焊接、公差配合与技术测量、液压传动、金属切削加工的基本知识、金属切削加工方法、机床夹具、机械加工工艺的基本概念、典型零件加工工艺、机械制造的新技术和新技术、机械产品装配。目的是使管理类专业的学生熟悉和掌握机械制造工程技术方面的基本知识，以培养他们具有组织生产技术和经营管理的工作能力。

本书内容适用于工业企业管理专业，也适用于工业财务会计专业，但后者在使用本教材时，需根据教学大纲作适当删节。

本书由上海市机电工业学校范崇洛主编，无锡机械制造学校韩亚平编写了第一章至第五章，咸阳机器制造学校李鲁春编写了第六章、第八章和第九章。程益良担任主审，参加审稿的有高道谦、丛长江、高依钦、陈抗生和李恭飞。本书在编写过程中还得到有关工厂工程技术人员和兄弟学校教师的帮助，谨此表示衷心地感谢。

由于本书内容较为广泛，编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编者 1988年10月

目 录

绪论	1	§ 4-5 自由锻造	98
第一章 机械工程材料	3	§ 4-6 模型锻造	99
§ 1-1 机械工程材料的性能	3	§ 4-7 自由锻造工艺规程	100
§ 1-2 常用非金属材料	11	§ 4-8 锻压生产技术经济指标	103
§ 1-3 碳素钢	16	§ 4-9 板料冲压	105
§ 1-4 合金钢	20	第五章 焊接	110
§ 1-5 钢的型材和涂色标志	24	§ 5-1 概述	110
§ 1-6 铸铁	27	§ 5-2 手工电弧焊	110
§ 1-7 铜及铜合金	31	§ 5-3 埋弧焊、电渣焊和气体保护焊	115
§ 1-8 铝及铝合金	33	§ 5-4 气焊与气割	117
§ 1-9 轴承合金	36	§ 5-5 其它焊接方法	119
§ 1-10 粉末冶金材料	37	§ 5-6 常用金属材料的焊接性	121
第二章 钢的热处理	41	§ 5-7 焊接成本	122
§ 2-1 金属和合金的内部结构	41	第六章 公差配合与技术测量	124
§ 2-2 铁碳合金状态图	46	§ 6-1 互换性的基本概念	124
§ 2-3 钢在加热时的组织转变	53	§ 6-2 公差与配合的基本概念、术语及定义	125
§ 2-4 钢在冷却时的组织转变	55	§ 6-3 尺寸公差与圆柱结合的互换性	132
§ 2-5 钢的退火与正火	58	§ 6-4 表面形状及位置公差	149
§ 2-6 钢的淬火	60	§ 6-5 表面粗糙度	162
§ 2-7 回火	62	§ 6-6 测量技术基础	169
§ 2-8 钢的表面热处理	63	§ 6-7 常用量具	173
§ 2-9 钢的表面处理	66	第七章 液压传动	183
§ 2-10 热处理设备	67	§ 7-1 液压传动的工作原理及组成	183
§ 2-11 典型零件的选材及热处理	70	§ 7-2 液压传动基础	185
第三章 铸造	75	§ 7-3 液压泵和液压马达	193
§ 3-1 概述	75	§ 7-4 液压缸	201
§ 3-2 砂型铸造	76	§ 7-5 液压控制阀	205
§ 3-3 铸型制造	77	§ 7-6 辅助装置	221
§ 3-4 铸铁的熔炼	83	§ 7-7 液压基本回路	229
§ 3-5 浇注、清理和铸件常见的缺陷	84	§ 7-8 组合机床的液压传动系统	241
§ 3-6 特种铸造	86	§ 7-9 外圆磨床液压系统	246
§ 3-7 铸造生产技术经济指标	89	第八章 金属切削加工的基本知识	259
第四章 锻压	92	§ 8-1 切削运动与切削要素	259
§ 4-1 概述	92	§ 8-2 车刀的几何形状	262
§ 4-2 压力加工的基本原理	92	§ 8-3 刀具材料	265
§ 4-3 金属的加热	95	§ 8-4 金属切削过程的物理现象	268
§ 4-4 锻压用设备	96		

§ 8-5 提高表面质量与生产率的方法.....	280	§ 11-3 工艺规程制订的原则及方法	455
§ 8-6 金属切削机床的基础知识.....	290	§ 11-4 毛坯选择	456
第九章 金属切削加工方法	315	§ 11-5 基准及其选择	459
§ 9-1 车削加工.....	315	§ 11-6 工艺路线的拟定	463
§ 9-2 铣削加工.....	348	§ 11-7 加工余量的确定	471
§ 9-3 刨削、拉削加工.....	353	第十二章 典型零件加工工艺	479
§ 9-4 钻削、镗削加工.....	357	§ 12-1 轴类零件加工工艺	479
§ 9-5 磨削加工.....	364	§ 12-2 套筒类零件加工工艺	501
§ 9-6 齿轮加工.....	375	§ 12-3 圆柱齿轮加工工艺	519
第十章 机床夹具	385	§ 12-4 箱体零件的加工工艺	530
§ 10-1 概述	385	§ 12-5 机体零件的加工工艺	540
§ 10-2 工件的定位	387	第十三章 机械制造的新工艺和	
§ 10-3 工件的夹紧	405	新技术.....	550
§ 10-4 夹具体	425	§ 13-1 特种加工	550
§ 10-5 钻床夹具	427	§ 13-2 成组加工工艺	556
§ 10-6 铣床夹具	432	§ 13-3 数控加工技术	565
§ 10-7 车床夹具	435	第十四章 机械产品的装配	578
§ 10-8 磨床夹具	438	§ 14-1 装配工作的基本内容	578
§ 10-9 组合夹具	440	§ 14-2 装配方法	579
§ 10-10 成组夹具.....	444	§ 14-3 装配工艺规程的制订	581
第十一章 机械加工工艺的基本概念.....	447	§ 14-4 减速器的装配工艺	584
§ 11-1 基本概念	447	§ 14-5 普通车床总装配	588
§ 11-2 工艺文件	451		

绪 论

机械制造业是为国民经济各个部门包括工业、农业、交通运输业、商业以及国防、科学技术等各行各业提供技术装备的部门，国民经济各部门的技术进步，是通过先进的技术装备来实现的。很明显，机械制造业能否以适用的先进技术装备去武装国民经济各部门，将直接影响国民经济的技术改造和技术进步，进而影响整个国家的经济发展和四化建设的实现，因此机械制造业在我国的社会主义现代化建设中居于十分重要的地位。

建国40年来，我国机械制造业在党的领导下，有了很大的发展，取得了很大的成绩。已经形成了产品门类齐全，分布比较合理的机械制造业体系。机械工业产品（例如农业机械、运输机械、电工机械、重型机械、轴承、仪表、机床及工具等）的生产已具有相当的规模。早在50年代，我国就初步形成机械制造业体系，已能制造汽车、拖拉机、飞机和各种金属切削机床；60年代，我国制造了原子能设备、合成氨设备、12 000t水压机、 $125 \times 10^3 \text{ kW}$ 火力发电设备以及各种精密机床（如坐标镗床、齿轮磨床及螺纹磨床等）；70年代，我国发展了大型成套设备，如生产 $150 \times 10^4 \text{ t}$ 钢铁厂的成套设备、年产 $120 \times 10^4 \text{ t}$ 煤矿设备、年处理 $250 \times 10^4 \text{ t}$ 炼油设备、 $30 \times 10^4 \text{ kW}$ 水力、火力设备等，并制造了各种自动、半自动机床和生产自动线以及数控机床；80年代，我国研制了2 050mm热连轧机、 $60 \times 10^4 \text{ kW}$ 火力发电机组、年产千万吨级露天矿成套设备、海上石油钻探等大型成套设备。目前已逐步研制出一批具有世界先进水平的产品，不仅为国民经济建设提供了先进的设备，而且已开始进入国际市场。

我国机械制造业虽然取得了很大的成绩，但同工业发达的国家相比，仍然存在相当大的差距，因此，机械制造业要不断依靠技术进步，即通过技术开发、技术引进、技术推广和技术改造来提高技术水平，同时不断改善管理水平，通过提高产品质量、发展新品种和提高经济效益来适应国民经济发展的需要。

机械制造的全过程可以划分成生产准备、毛坯制造、零件的机械加工、装配试车和油漆包装等阶段。

生产准备阶段的工作包括：根据产品图纸和生产计划制订工艺文件；设计和制造专用工艺装备；组织材料及外购件等生产物资的供应；编制生产计划、组织车间生产。

毛坯制造阶段的工作包括：将铸锭、钢材、有色金属型材等原材料通过铸造、锻造、冲压、焊接等方法制造出零件的毛坯。

零件机械加工阶段的工作为：将毛坯进行机械加工，制成符合图纸要求的零件，有些零件还要经过热处理或表面处理等工序，才能成为合格的零件。

装配试车阶段的工作为：将各种零件和外购件按装配图要求有顺序地装配成各个组件、部件、再总装成整台产品，并经试车检验其性能。通过调试检验合格后的产品，再经油漆、包装、入库最后出厂。

同一种机械产品，其生产过程在各机械制造厂有所不同。制造厂对产品所选定的生产过程受该厂各种设备的客观生产条件所限制，也由该厂的技术水平和生产组织管理水平所决定。产品合理的生产过程应该是在保证产品品种、产量和质量的同时，通过降低消耗来获得最好

的经济效益。所以，制造厂不仅要做好大量的技术工作，还要做好一系列的组织和管理工作。以便使生产取得更大的技术经济效果。

本课程是管理类专业的技术基础课程，学习本课程的目的，一方面是为学习管理类专业课建立必要的生产技术基础，另一方面又使学生能够基本掌握研究一般生产技术问题的规律，具有一定分析和解决实际问题的能力。

本课程结合机械工业生产的特点，主要研究由原材料经过各种加工后制造完成机械产品的全过程。其内容包括：机械工程材料、钢的热处理、铸造、锻压、焊接、公差配合与技术测量、液压传动、金属切削加工的基本知识和加工方法、机床夹具、机械加工工艺的基本概念、典型零件加工工艺、机械制造的新工艺和新技术和机械产品的装配。

由于本课程内容的实践性和应用性都很强，为了保证教学的顺利进行，应在讲述各有关章节内容前，先进行必要的教学实习，使学生通过教学实习，获得一定的感性知识，熟悉各种主要加工方法及其所用设备和工具，对主要工种应具有一定的基本操作技能。在此实践基础上进行课堂教学，才能达到学习本课程的目的。

第一章 机械工程材料

机械工程材料是机器制造工业中所应用的材料的统称，其中应用最广的是金属材料，其次是非金属材料及复合材料。金属材料在现代工业、农业、国防、科学技术以及日常生活中都占有十分重要的地位。它之所以能获得如此广泛应用，是由于它有良好的机械性能、物理性能、化学性能及工艺性能，能采用较简便的工艺方法将其加工成所需的机械零件。

机器制造中所用的金属材料以合金为主，因为合金比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能，而且成本较低。

金属材料通常可分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属又分钢和铸铁两类，有色金属则包括铜、铝及其合金、轴承合金、硬质合金等。

常用的非金属材料有塑料、橡胶、陶瓷等，它们在机器制造工业中也占有一定的地位。特别是工程塑料的应用越来越广，在某些方面正在逐步取代金属材料。

为了能合理选用材料，充分发挥材料的作用，降低材料的成本，以及为了能正确制造铸造、压力加工、焊接、热处理和切削加工的工艺，都必须熟悉各种材料的性能、特点和应用

§1-1 机械工程材料的性能

机械工程材料的性能一般可分为使用性能和工艺性能两类。使用性能是指机械零件在正常工作情况下应具备的性能，包括机械性能和物理、化学性能。工艺性能是指机械零件在制造过程中，材料应具备的性能，包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能。

一、机械性能

机械性能是指机械工程材料（主要是金属材料）在各种形式的外力作用下所表现出来的性能。主要机械性能有：强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度。

1. 强度

金属材料在外力作用下，抵抗塑性变形和破坏的能力称为强度。按外力（载荷）的类型分有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等几种。外力类型不同，金属的强度指标也不同。测定金属材料拉伸强度时，最简单最普遍的方法是拉伸试验法。

拉伸试验在拉伸试验机上进行。试验前将被试验的金属材料制成一定形状和尺寸的标准试样。常用的试样断面为圆形，称为圆形拉伸试样，见图1-1a。图中试样的直径 d_0 ，单位为mm；标距长度 L_0 ，单位为mm。根据国家标准GB228-76规定，拉伸试样可分为长试样和短试样两种。

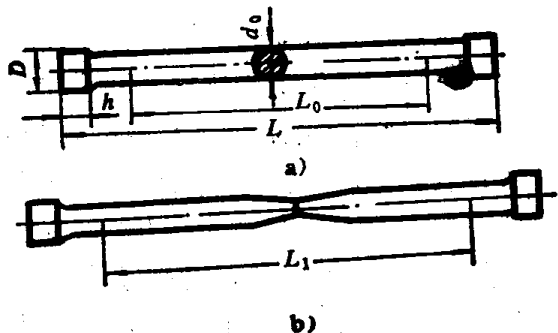


图1-1 圆形拉伸试样

长试样标距长度 $L_0=10d_0$ ；短试样标距长度 $L_0=5d_0$ 。

试验时，将拉伸试样固定在拉伸试验机上，缓慢加载，试样逐渐变形伸长，直到断裂为止。图1-2所示为低碳钢试样作拉伸试验时，所测出的拉力（载荷） F 和伸长量 ΔL 的关系曲线，通常称为拉伸曲线。

由拉伸曲线图可见，在开始的 OE 阶段，试样在外力作用下均匀伸长，伸长量与所加外力成正比关系，此时若去除外力，试样能完全恢复到原来形状，没有残余变形，即材料处于弹性变形阶段。超过 E 点之后，继续增大外力则试样除产生弹性变形外，开始产生塑性变形，当外力增大到 F_s 时，图上出现水平线段，即外力不再增加而试样继续伸长，这种现象称之为屈服现象， s 点称为屈服点。屈服现象以后，变形又随外力的增加而逐渐增大，当外力增大到 F_b 时，变形显著地集中在试样最薄弱的部分，试样出现局部直径变细，称为“缩颈现象”。由于试样缩颈处断面缩小，所受外力也逐渐降低，当到达 D 点时，试样就在缩颈处断裂。

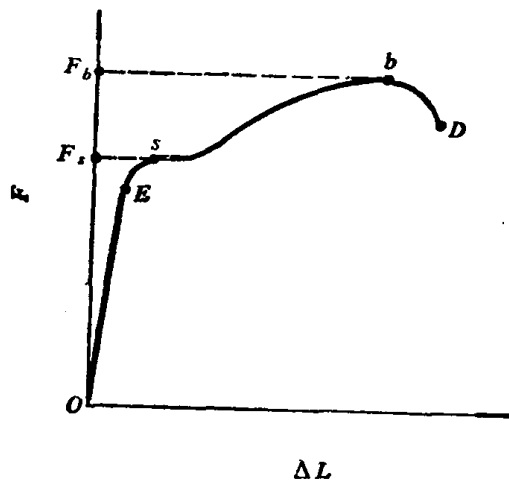


图1-2 低碳钢拉伸曲线图

金属材料在拉伸时的强度都是以应力来表示。所谓应力，就是指金属材料受到外力作用时，在材料内部会产生同样大小的抵抗力，这种单位横截面上的内力称为应力。

通过拉伸试验可以测得材料的强度指标有强度极限和屈服极限。

强度极限又称抗拉强度，是材料断裂前所能承受的最大应力，用符号 σ_b 表示，可按下式计算：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——拉断试样的最大外力；

A_0 ——试样原横截面积。

屈服极限是材料产生屈服现象时的应力，用符号 σ_s 表示，可按下式计算：

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

式中 F_s ——试样屈服时所受的外力；

A_0 ——试样原横截面积。

有些金属材料（如高碳钢）的拉伸曲线，没有明显的屈服现象，这些材料的屈服极限，通常规定以试样产生永久变形0.2%时的应力来计算，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服极限 σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 、强度极限 σ_b 都是金属材料的强度指标，是设计机械零件和检查材料性能的重要依据。材料的强度愈高，那么所设计的机械零件的尺寸就可以减小，使重量减轻，在过载情况下，不致发生过量的塑性变形而引起破坏。当设计机械零件时，以材料的屈服极限 σ_s 还是强度极限 σ_b 计算，需视零件的要求而定，如果只是要求零件在工作时不会损坏，就以该材料的强度极限 σ_b 来计算；如果零件在工作时发生少量塑性变形，会引起降低传动精度或影响其它零件的相对运动时，例如柴油机汽缸盖固定螺栓、汽轮机主轴等，必须以该材料的屈服极限 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 来计算尺寸。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形（永久变形）而不发生破坏的能力。

金属材料的塑性，也是通过对试样进行拉伸试验来测定的。塑性指标通常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

延伸率是指试样拉断后的伸长量与原来长度比值的百分率。

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

式中 L_0 ——试样原来标距的长度；

L_1 ——试样拉断后标距的长度。

由于对同一材料用不同长度的试样所测得的延伸率数值不同，因而，用长度与直径为一定比例的试样来测定它的延伸率。用长度为直径 5 倍的短试样，所测得的延伸率以 δ_5 表示；用长度为直径 10 倍的长试样，所测得的延伸率则以 δ_{10} 表示。延伸率 δ_{10} 通常写成 δ 。

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的收缩量与试样原来横截面积比值的百分率。

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

式中 A_0 ——试样原来横截面积；

A_1 ——试样断裂处的横截面积。

材料的延伸率 δ 或收缩率 ψ 值越大，其塑性就越好。当采用压力加工（如轧制、锻造、冲压等）工艺时，要求材料具有良好的塑性，以避免在加工过程中材料发生开裂而损坏。

材料经拉伸试验后，在拉伸试验机上可自动记录出该材料的拉伸曲线图，再根据上述公式，计算出屈服极限、强度极限、延伸率和断面收缩率。现举例计算如下：

例 有一钢试样原来标距长度为 100mm，直径为 10mm，在拉伸试验机上进行拉伸试验，当拉伸载荷增加到 21 980N 时，就开始塑性变形产生屈服现象；载荷达到 36 110N 时，产生缩颈现象，随后试样被拉断。结果测得拉断后试样标距长度为 123mm，断裂处收缩细颈的直径为 7.07mm。试求此钢试样的屈服极限、强度极限、延伸率和断面收缩率？

解

(1) 试样原来的截面积 A_0 ：

$$A_0 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2 \text{mm}^2}{4} = 78.5 \text{mm}^2$$

(2) 屈服极限 σ_s ：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} = \frac{21\,980 \text{N}}{78.5 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 280 \text{MPa}$$

(3) 强度极限 σ_b ：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} = \frac{36\,110 \text{N}}{78.5 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 460 \text{MPa}$$

(4) 延伸率 δ ：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{123 - 100}{100} \times 100\% = 23\%$$

(5) 断面收缩率 ψ ：

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{\pi(D_0^2 - D_1^2)}{\pi D_0^2} \times 100\% = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \times 100\% \\ &= \frac{(10)^2 - (7.07)^2}{(10)^2} \times 100\% = 50\% \end{aligned}$$

3. 硬度

金属材料抵抗其它更硬物体压入表面的能力称为硬度。也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力。

机械制造中所用的量具、刀具、模具等都应具备足够的硬度,才能保证使用性能和寿命;机械零件则根据工件条件的不同,也常要求具有一定的硬度,以保证有足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此,硬度是金属材料的一项重要机械性能指标。

材料的硬度可以采用各种硬度试验机来测定。由于硬度试验机操作简便、迅速,不需要制成专用的试样,可以在工件上直接测定,又不损坏被测工件,所以在生产中应用十分广泛。

常用的硬度指标有:布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度:布氏硬度的测定方法是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球加上一定的压力 F ,使其压入被测金属材料的表面(见图1-3),并保持一定的时间,然后去除压力,再测量压痕的直径,计算出压痕的面积,求出其单位面积上所受压力的大小,即表示被测材料的布氏硬度值,用符号HB表示。

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

式中 F ——所加压力;
 A ——压痕球面积;
 D ——标准钢球直径;
 d ——压痕直径。

在实际测定中,用带尺寸刻线的放大镜测得压痕直径 d 后,可以直接查表求得硬度值。此值一般只标出其数值而不标单位。

进行布氏硬度试验时,应根据金属材料的种类、工件的硬度范围和厚度的不同,选择相应的球体直径 D 、试验载荷 F 和保持的时间 t 。常用的球体直径有 1、2、2.5、5 和 10mm 五种;试验载荷可从 1kgf~3000kgf 范围内变化。载荷保持时间:黑色金属为 10~15s,有色金属为 30s,布氏硬度值小于 35 时,载荷保持时间为 60s。

布氏硬度用 HBS 和 HBW 两种符号表示。压头为淬火钢球时用布氏硬度 HBS 表示,一般适用于测量软钢、灰铸铁、有色金属等布氏硬度值在 450 以下的材料;压头为硬质合金时,则用布氏硬度 HBW 表示,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值,符号后面用数字表示试验条件(其中载荷保持时间为 10~15s 时不标注)。

例如:120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球在 1000kgf 试验载荷作用下保持 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 750kgf 试验载荷作用下保持 10~15s 测得布氏硬度值为 500。

(2) 洛氏硬度:洛氏硬度所用的压印头其锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球。以一定的压力使其压入被测金属材料的表面,测量压痕深度来确定金属材料的硬度。压痕愈深表示材料愈软;反之,则材料愈硬。图1-4为洛氏硬度试验原理

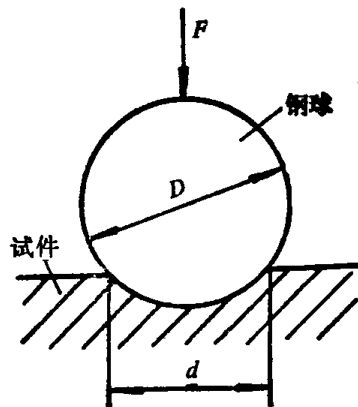


图1-3 布氏硬度试验原理简图

示意图。测试时，被测材料的硬度可直接在硬度机的指针所指示的刻度值读出。

洛氏硬度常用的有三种，分别以符号HRA、HRB和HRC表示，其试验条件和应用举例列于表1-1。

以上三种洛氏硬度中，以硬度HRC应用最多，一般经淬火处理的钢制零件或工具的硬度都用它表示。常用工具和钢材的一般硬度见表1-2。

洛氏硬度HRC与布氏硬度HB有一定的关系，大约为1:10。例如：洛氏硬度HRC40相当于布氏硬度400HBS左右；洛氏硬度HRC25相当于布氏硬度250HBS左右。

(3) 维氏硬度：维氏硬度是用锥面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体作为压印头(图1-5)，在一定的压力下压入试件表面，以单位压痕表面积所受的压力作为维氏硬度值，用符号HV表示。

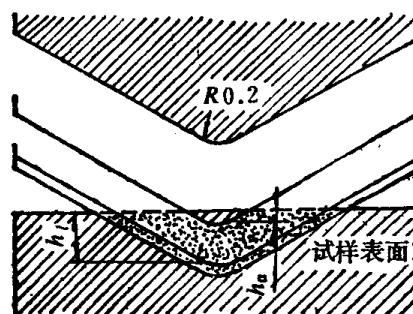


图1-4 洛氏硬度试验原理示意图

表1-1 洛氏硬度符号、试验条件应用举例

硬度符号	压印头类型	总压力/kgf	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥	1500	HRC20~67 (相当225HBS以上)	淬火钢件
HRB	φY1/16"钢球	1000	HRB25~100 (相当60~230HBS)	软钢、退火钢、铜合金
HRA	120°金刚石圆锥	600	HRA>70 (相当360HBS以上)	硬质合金、表面淬火钢

表1-2 常用工具和钢材的硬度

名 称	一 般 硬 度	名 称	一 般 硬 度
金属切削刀具 (如车刀、铣刀、钻头、铰刀等)	HRC60~65	菜刀、剪刀、斧头等刃口处	HRC50~55
钳工榔头	HRC52~56	扳手、螺丝刀工作部分、弹簧钢片	HRC43~48
钳工錾子	HRC50~52	钢材(材料供应状态)	120~230HBS10/3 000 (相当HRC20以下)
冷冲模	HRC58~62	一般螺钉、螺帽(经调质处理)	HRC28~32
量规(塞规卡规、螺纹量规等)	HRC56~58	硬质合金刀具(车刀、铣刀等)	HRA85以上 (相当HRC72以上)

$$HV = \frac{F}{A}$$

式中 F ——压力；

A ——压痕表面积。

当四棱锥体压入试件时，其压痕表面积为：

$$A = \frac{d^2}{2\sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

$$HV = \frac{F}{A} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中 d ——压痕两对角线的平均长度。

维氏硬度试验时所加压力小 (常用压力为5kgf及10kgf)，压入深度浅，适用于测量零件

表面镀层、薄片金属以及化学热处理后（如氮化）的表面硬度。

各种硬度试验法测得的硬度值不能直接比较，必须通过硬度换算表换算成同一种硬度值后，方能比较其大小。表1-3为布氏、洛氏、维氏硬度换算表。

在一般情况下，金属材料的硬度高时，其耐磨性也较好，而且硬度和强度之间也有一定的关系。根据材料的硬度可以大致估计其强度极限。低碳钢的强度极限 $\sigma_s \approx 0.36 \text{ HBS}$ ；高碳钢的强度极限 $\sigma_s \approx 0.34 \text{ HBS}$ ；调质合金钢的强度极限 $\sigma_s \approx 0.325 \text{ HBS}$ ；灰铸铁的强度极限 $\sigma_s \approx 0.1 \text{ HBS}$ 。

4. 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，如内燃机活塞连杆、锻锤锤头、冲床冲头、冲模等。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。

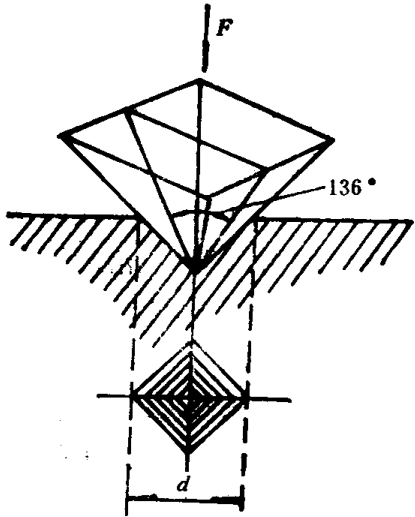


图1-5 维氏硬度试验原理示意图

表1-3 布氏、洛氏、维氏硬度换算表

布氏硬度 HBS(或 HBW)	洛氏硬度		维氏硬度 HV	布氏硬度 HBS	洛氏硬度		维氏硬度 HV
	HRC	HRA			HRC	HRA	
	70.0	86.6	1037	391	42.0	71.6	399
	69.5	86.3	1017	385	41.5	71.3	393
	69.0	86.1	997	380	41.0	71.1	388
	68.5	85.8	978	375	40.5	70.8	382
	68.0	85.5	959	370	40.0	70.5	377
	67.5	85.2	941	365	39.5	70.3	372
	67.0	85.0	923	360	39.0	70.0	367
	66.5	84.7	906	355	38.5	69.7	362
	66.0	84.4	889	350	38.0	69.5	357
	65.5	84.1	872	345	37.5	69.2	352
	65.0	83.9	856	341	37.0	69.0	347
	64.5	83.6	840	336	36.5	68.7	342
	64.0	83.3	825	332	36.0	68.4	338
	63.5	83.1	810	327	35.5	68.2	333
	63.0	82.8	795	323	35.0	67.9	329
	62.5	82.5	780	318	34.5	67.7	324
	62.0	82.2	766	314	34.0	67.4	320
	61.5	82.0	752	310	33.5	67.1	316
	61.0	81.7	739	306	33.0	66.9	312
	60.5	81.4	726	302	32.5	66.6	308
	60.0	81.2	713	298	32.0	66.4	304
	59.5	80.9	700	294	31.5	66.1	300
	59.0	80.6	688	291	31.0	65.8	296
	58.5	80.3	676	287	30.5	65.6	292
	58.0	80.1	664	283	30.0	65.3	289
	57.5	79.8	653	280	29.5	65.1	285

⊖ 单位为kgf/mm²。

(续)

布氏硬度 HBS(或 HBW)	洛氏硬度		维氏硬度 HV	布氏硬度 HBS	洛氏硬度		维氏硬度 HV
	HRC	HRA			HRC	HRA	
	57.0	79.5	642	276	29.0	64.8	281
	56.5	79.3	631	273	28.5	64.6	278
	56.0	79.0	620	269	28.0	64.3	274
	55.5	78.7	609	266	27.5	64.0	271
	55.0	78.5	599	263	27.0	63.8	268
	54.5	78.2	589	260	26.5	63.5	264
	54.0	77.9	579	257	26.0	63.3	261
	53.5	77.7	570	254	25.5	63.0	258
	53.0	77.4	561	251	25.0	62.8	255
	52.5	77.1	551	248	24.5	62.5	252
	52.0	76.9	543	245	24.0	62.2	249
	51.5	76.6	534	242	23.5	62.0	246
	51.0	76.3	525	240	23.0	61.7	243
	50.5	76.1	517	237	22.5	61.5	240
	50.0	75.8	509	234	22.0	61.2	237
	49.5	75.5	501	232	21.5	61.0	234
	49.0	75.3	493	229	21.0	60.7	231
	48.5	75.0	485	227	20.5	60.4	229
	48.0	74.7	478	225	20.0	60.2	226
	47.5	74.5	470	222	19.5	59.9	223
449	47.0	74.2	463	220	19.0	59.7	221
442	46.5	73.9	456	218	18.5	59.4	218
436	46.0	73.7	449	216	18.0	59.2	216
430	45.5	73.4	443	214	17.5	58.9	214
424	45.0	73.2	436	211	17.0	58.6	211
418	44.5	72.9	429	209	16.5	58.4	209
413	44.0	72.6	423		16.0	58.1	
407	43.5	72.4	417		15.5	57.9	
401	43.0	72.1	411		15.0	57.6	
396	42.5	71.8	405				

金属材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。它是采用标准试样在冲击试验机上进行测定的。标准试样如图1-6所示。

试验时把试样2放在试验机的两个支承3上，试样缺口背向摆锤冲击方向。将重力为G的摆锤1安放到规定的高度 h_1 见图1-7，然后下落将试样击断，并摆过支承点升到高度 h_2 。根据摆锤重量和摆锤冲击前后的高度差，可算出击断试样所消耗的功，称为冲击功，其值为：

$$Gh_1 - Gh_2 = G(h_1 - h_2)$$

实际上冲击功值可由冲击试验机的刻度盘上直接读出，不需要计算。用试样缺口处的横截面积A去除冲击功，即得冲击值，用

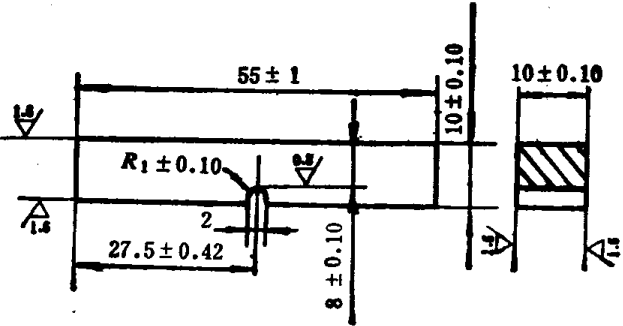


图1-6 冲击试验的标准试样

符号 a_k 表示, 其单位为 J/cm^2 。

$$a_k = \frac{G(h_1 - h_2)}{A}$$

式中 A ——试样缺口处的横截面积。

5. 疲劳强度

许多机械零件如轴、连杆、弹簧、齿轮等, 它们是在重复或交变应力作用下工作的。所谓重复或交变应力, 是指应力的 大小或大小和方向随时间周期性变化 。例如轴类零件在旋转时, 其横截上, 一面产生拉应力; 另一面产生压应力, 转过半周后, 应力正好相反。轴在不断旋转时, 所受到的就是这种大小和方向周期改变的交变载荷。在这种交变载荷作用下, 金属发生破坏时产生的应力比拉伸试验的屈服极限 σ_s 还低, 这种现象称为金属的疲劳。

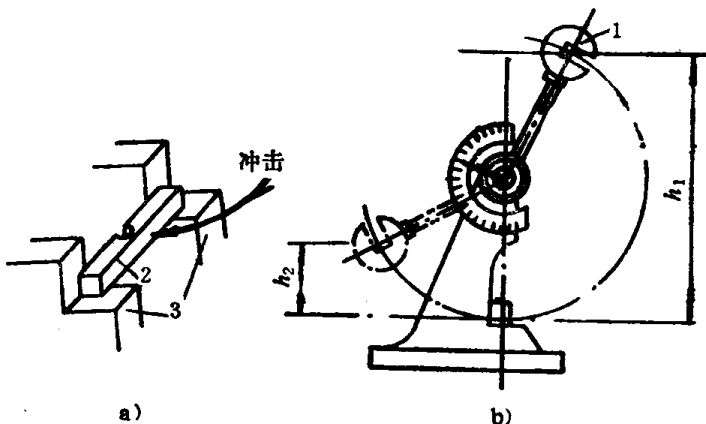


图1-7 冲击试验简图

金属材料在无数次重复的交变载荷作用下, 而不致破裂的最大应力, 称为疲劳强度, 或称疲劳极限。

实际工作中并不可能做无限次交变载荷试验, 所以一般试验时规定, 经受交变载荷作用钢在 $10^6 \sim 10^7$ 次、有色金属在 $10^7 \sim 10^8$ 次时不产生破裂的最大应力称为疲劳强度, 其代表符号是 σ_{-1} 。

金属材料的疲劳强度与强度极限之间存在着近似的比例关系: 碳素钢的疲劳强度 $\sigma_{-1} \approx (0.4 \sim 0.55)\sigma_b$; 灰口铸铁的疲劳强度 $\sigma_{-1} \approx 0.4\sigma_b$; 有色金属的疲劳强度 $\sigma_{-1} \approx (0.3 \sim 0.4)\sigma_b$ 。

金属材料的疲劳强度与很多因素有关, 如合金的成分、表面质量、组织结构、夹杂物的多少与分布状况等。如果对零件表面进行强化处理, 如表面喷丸、表面淬火、冷挤压等, 或进行精密加工减少零件的表面粗糙度等, 都能提高零件的疲劳强度。

二、物理、化学性能

机械工程材料的物理、化学性能有: 密度、导电性、导热性、热膨胀性、耐热性、耐腐蚀性等。

由于机械零件的用途不同, 对材料的物理、化学性能也有所不同。例如, 飞机上的一些零部件要采用密度小的材料, 如铝合金、钛合金来制造; 精密量具、高精度机床的主要零件(如主轴)需用热膨胀系数较小的合金钢来制造, 以保持其精确度; 工业锅炉、汽轮机、喷气发动机等在高温下工作的零件需用耐热性较好的耐热钢或耐热合金来制造; 在化工机械中, 机械零件经常在腐蚀性介质中工作, 需用耐酸碱能力强的不锈钢制造。

三、工艺性能

工艺性能是对金属材料进行加工时所要求的性能。包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。这些性能将在以后各章中分别叙述。

§1-2 常用非金属材料

在机械工程方面除了大量使用金属及其合金外，还使用很多非金属材料。由于非金属材料的原料来源广泛，成型工艺简单，一般不需进行切削加工，还具有某些金属材料无法达到的特殊性能。因而，其应用日益广泛，在某些方面还有逐渐取代金属材料的趋势。

非金属材料种类繁多，其性能和用途各不相同。本节仅介绍机械工程方面常用的三种非金属材料：工程塑料、橡胶和陶瓷材料。

一、工程塑料

工程塑料是以合成树脂为主要成分的高分子有机化合物。它具有较高的强度、韧性和耐磨性，可以代替金属材料制造机械零件或结构件。工程塑料有良好的成型加工性能，在适当的温度与压力下，可用注射、挤压、压铸、吹塑、喷涂、焊接及机械切削等方法进行加工，制成各种零件和制品。

1. 塑料的特性

(1) 密度小、比强度高：塑料的密度一般在 $0.9\sim 2.2\text{t/m}^3$ 之间，只有钢铁的 $1/8\sim 1/4$ ，铝的 $1/2$ 左右。泡沫塑料更轻，密度在 $0.02\sim 0.2\text{t/m}^3$ 之间。而比强度却很高，有些玻璃钢的比强度超过了普通钢。所以在车辆、船舶和航空等交通运输工具方面，广泛采用了塑料制品，不仅减轻了自身重量，还能提高运行速度和节省燃料，有重要的经济性。

(2) 优良的减摩、耐磨性：大多数塑料摩擦系数很小，并且耐磨性好。用塑料制造的摩擦零件，可以在各种液体、半干摩擦和干摩擦等条件下有效地工作。因此可以制作各种轴承、齿轮、密封圈和机床导轨等。

(3) 良好的耐蚀性：塑料制品不象钢铁那样容易生锈，并且对酸、碱等化学物品具有良好的耐蚀性。特别是号称“塑料王”的聚四氟乙烯，不但能耐各种酸、碱的侵蚀，甚至在使黄金都能溶解的“王水”中煮沸，仍保持其性能。因此，塑料在有腐蚀情况下和化工设备方面应用广泛，如管道、容器、泵和阀门等都采用塑料制造，可以节省大量昂贵的不锈钢和有色金属。

(4) 优良的绝缘性能：几乎所有的塑料都是非导体，有优良的电绝缘性。广泛用于电机、电器和电子工业，作为结构材料与绝缘材料。从一般的电器零件（旋钮、手柄、支架、接线板、插头、插座等）到大型壳体（电视机外壳、雷达天线罩等）都可用塑料来制造。

(5) 能消音吸振：装有塑料轴承和齿轮的机械，在高速运转时，可以平稳无声的运转，能减少噪音、吸收振动。

此外，塑料一般不使用切削加工方法，而是用挤压、压铸、压制等成型方法将其制成各种制品，同时成型工艺简单，生产率高。

塑料也存在某些缺点，例如：强度较差，耐热性也差，一般只能在 100°C 左右长期工作，导热性很差约为金属的 $1/500$ ，热膨胀系数很大约为金属的 10 倍左右。此外，塑料易老化、易燃烧。为了克服这些缺点，正在不断发展新型的、耐热的和高强度塑料。

2. 塑料的分类、性能及用途

塑料的种类很多，有不同的分类方法。通常按塑料的受热性质分为热固性塑料和热塑性塑料两大类。

(1) 热固性塑料：是指塑料受热后，先软化并有部分熔融，然后变为不熔性固体的一种塑料。这种塑料制成型后不因再度受热而软化（如果温度过高就会分解破坏），所以只能塑制一次，故称热固性塑料，属于这一类的塑料有：

1) 酚醛塑料：是以可溶性酚醛树脂为基体，加入填充剂（木屑或石棉等）、润滑剂、增塑剂等压制或压铸而成。俗称“电木”。具有优良的耐热、绝缘和耐蚀性，缺点是较脆。用酚醛塑料粉（电木粉）加热模压成型，可制作电器零件，如开关壳、插座壳等。用布片、纸浸渍酚醛塑料，可经层迭合成为层压塑料（胶木），用于制作轴承、齿轮、印刷线路板及电工绝缘件等。

2) 氨基塑料：有优良的电绝缘性、耐电弧性、硬度高、耐磨、耐油脂及熔剂、着色力强、保色耐光性好。由于色泽鲜艳，可用于汽车、飞机作为装饰材料，也用来制造一般机械零件和绝缘件。

3) 环氧树脂塑料：是应用广泛的一种高强度热固性工程塑料。在环氧树脂中加入固化剂和各种金属或非金属填料，于室温或加热条件下即可硬化成为坚硬的固体。环氧树脂强度高、电绝缘性能优良、化学稳定性好，对许多材料的胶粘力强。主要用来制作塑料模、电气、电子元件、线圈的灌封和固定以及修复机件时作为粘结材料。

(2) 热塑性塑料：这种塑料受热后软化、熔融、冷却后固结成型，再加热又可重新塑制，可以反复多次使用。属于这一类的塑料有：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚酰胺等。它们的代号、特性、适用范围与应用列于表1-4。

3. 塑料的成型方法

表1-4 常用热塑性塑料的代号、特性与应用

塑料名称	特 性	适用范围与应用实例
聚乙烯 (PE)	具有优良的耐蚀性，电绝缘性和高频绝缘性。注射成型工艺性好，成型温度范围宽。可用喷镀法涂于金属表面，作为耐磨、减摩及防腐蚀涂层	高压聚乙烯的柔软性、透明性较好，一般制作薄膜。低压聚乙烯强度较高，制作罩壳、手柄、机床导轨、滚柱框、化工贮槽、管道泵等涂层或内衬
聚丙烯 (PP)	强度、硬度比低压聚乙烯高，耐热性好，可在100℃下工作，耐蚀性、高频绝缘性好，但低温时发脆，不耐磨易老化。可与乙烯、聚乙烯共聚改性，还可掺玻璃纤维增强	可制作一般机械零件，如齿轮、接头等，耐蚀件如泵叶轮、化工管道、容器、绝缘件如表面涂层、录音带等
聚氯乙烯 (PVC)	具有优良的耐蚀性和电绝缘性。硬聚氯乙烯强度高，可在-50℃低温下使用；软聚氯乙烯延伸率高，强度低；泡沫聚氯乙烯质轻，能隔热、隔音起防振作用	硬聚氯乙烯可制造耐蚀性机械零件和一般化工机械零件。如输油管、酸、碱泵的泵体容器；软聚氯乙烯可制成薄膜、电缆绝缘层；泡沫聚乙烯可制成各种包装衬垫
聚苯乙烯 (PS)	无色透明，其透光率仅次于有机玻璃，具有优良的电绝缘性和高频绝缘性，着色性好，质脆，不耐苯、汽油等溶剂。泡沫聚苯乙烯质轻，能隔热、隔音和起防振作用	可制作各种仪表外壳，骨架绝缘体和透明件。泡沫聚苯乙烯可用于包装、铸造模型和管道保温材料
聚甲基丙烯酸甲酯 (有机玻璃) (PMMA)	透明度高，着色性好，质轻（密度为玻璃的一半），硬度较低，易擦伤，耐热性差。经苯乙烯改性后，适于注射成型，冲击强度较高	用于透明件和装饰件。如机床护罩、油标、设备铭牌、飞机、汽车上的座窗

(续)

塑料名称	特 性	适用范围与应用实例
聚酰胺 (尼龙) (PA)	高强度、坚韧、耐磨、耐疲劳、耐油。但吸水性大，尺寸稳定性差	制造轴承、齿轮、蜗轮、导轨贴合面。尼龙粉末可用于热喷镀
聚四氟 乙 烯 (F-4)	有优良的耐老化性及电绝缘性，摩擦系数很低，几乎不吸水。耐腐蚀性突出，有“塑料王”之称。可在-180~-250℃下长期使用，但强度较低	制造各种无油润滑活塞环、密封圈及高温条件下工作的各种化工设备零件
聚 苯 (PSF)	具有优良的耐热、耐寒性及尺寸稳定性，能耐酸、碱和高温蒸汽，电绝缘性能好，可在-65~+150℃下长期使用	制造高强度、耐热、减摩、耐磨零件及传动件，如齿轮、凸轮、接触器及绝缘件等

塑料的成型工艺简便，形式多样。可根据塑料的性能和对塑料制品的要求，用模压、挤塑、注射和浇铸等主要成型方法。还可和金属材料一样，用车、铣、刨、磨及抛光等机械加工方法进行加工。此外，还可采用喷涂、浸渍、粘结等方法将塑料覆盖在金属表面，或在塑料表面镀金属，以获得既有塑料优点，又有金属特性的制品。

(1) 模压法：又称压胶法。将粉末塑料倒入具有一定温度的模具中，上下模具合拢封闭并加压，使塑料在模具中成型并硬化（见图1-8）。模压法常用于热固性塑料，如酚醛塑料、氨基塑料等。

模压法的优点是可以利用多槽模同时压制许多零件以提高生产率，还可压制较大的部件，如收音机外壳、电器开关等。缺点是不能压制形状复杂和尺寸要求很精确的制品。

(2) 挤塑法：又称挤胶法。也常用于热固性塑料成型。将塑料先在加料腔内加热到可塑状态，在压力作用下，通过浇道挤入闭合模具型腔内成型。如图1-9所示。此法可压制尺寸准确、形状复杂、壁薄和带金属嵌件的塑料制品。

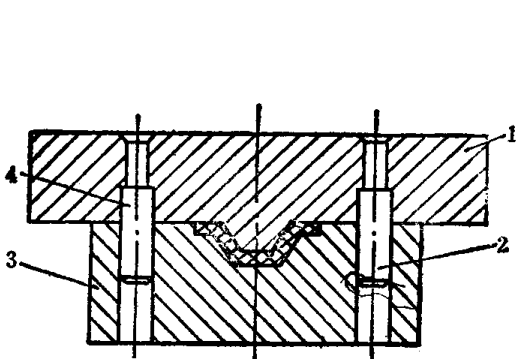


图1-8 模压成型示意图

1、3—上、下模 2、4—导柱

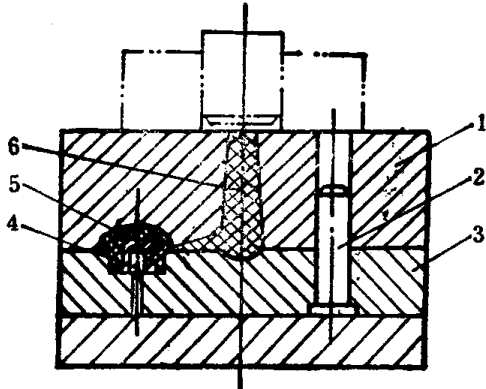


图1-9 挤塑法示意图

1、3—上、下模 2—导柱 4—定位销 5—制品 6—浇道

(3) 注射法：是在专门的塑料注射机上进行，见图1-10。将颗粒或粉末状塑料置于注射机料筒内加热熔融，以推杆或旋转螺杆施加压力，使熔融状塑料自料筒末端的喷嘴注入闭合的模具型腔中，然后冷却脱模，即可得到所需形状的塑料制品。注射成型法主要用于压制热塑性塑料，近年来也出现了热固性塑料的注射成型法。此法生产率高，能实现自动化生产，制品尺寸精确，可制造形状复杂、壁薄和带金属嵌件的塑料制品。适用于大批、大量生产。