

绪 论

0.1 本课程的性质和内容

金属工艺学是机械类专业学生必修的一门技术基础课程,也是近机类和部分非机类专业普遍开设的一门课程。它主要介绍各种成形工艺方法及其在机械制造中的应用和相互联系;金属零件的加工工艺过程和结构工艺性;常用工程材料的性能、改性、应用及其对加工工艺的影响等内容。

金属工艺学是研究产品从原材料到合格零件或机器的制造工艺技术的科学。机器制造的概念是指将毛坯(或材料)和其他辅助材料作为原料,输入机器制造系统,经过存储、运输、加工、检验等环节,最后形成符合要求的零件或产品。概括地讲,机械制造就是将原材料转变为产品的各种劳动总和,其过程如图 0-1 所示。

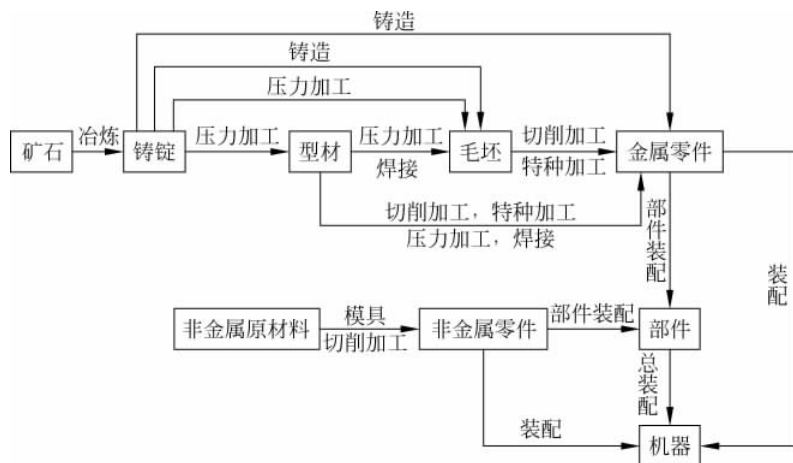


图 0-1 机械制造框图

从图 0-1 可以看出,多数零件是先用铸造、压力加工或焊接等方法制成毛坯,再用切削加工方法加工而成。为了改善材料的加工性能,在各工序中间常穿插各种不同的热处理。这就组成了本书的 5 篇:第 1 篇为“金属材料的基本知识”,主要讲述工程材料的性能、金属

的内部结构与结晶、热处理方法和常用工程材料的种类及其选择；第2、3、4篇分别为“铸造成形”“塑性成形”和“焊接成形”，分别讲述了各自的工艺基础、常用成形方法、特点和零件的结构设计；第5篇为“切削加工”，主要讲述零件加工方法的基础知识、常用加工方法、零件典型表面加工方法的选择、零件的结构设计等。

0.2 本课程的目的、任务和特点

0.2.1 本课程的目的

- (1) 提高三个能力，即选材能力、选毛坯和切削加工方法的能力以及工艺分析能力。
- (2) 做到两个了解，即了解各种主要加工方法所用设备与工具的组成、结构和工作原理，了解现代机械制造的新技术和发展方向。

0.2.2 本课程的主要任务

本课程的任务是使学生获得常用工程材料及机械零件加工工艺的基础知识，培养工艺实践的初步能力，为学习其他有关课程和以后从事涉及机械设计及加工制造方面的工作奠定必要的基础。

- (1) 掌握工程材料和材料热加工工艺与现代机械制造的完整概念，培养良好的工程意识。
- (2) 掌握金属材料的成分、组织、性能之间的关系，强化金属材料的基本途径。
- (3) 掌握各种热加工工艺方法的成形原理、工艺特点和应用场合，初步具有选用毛坯种类、成形方法和制定简单毛坯(零件)加工工艺过程的能力。
- (4) 掌握毛坯(零件)的结构工艺性，具有分析零件结构工艺性的基本能力，能够进行简单产品的结构设计和成形工艺设计，培养综合运用知识的能力。
- (5) 了解金属切削过程的物理现象和规律，掌握各种切削方法，正确地选择机械加工工艺过程。

0.2.3 本课程的主要特点

本课程系统地介绍了从工程材料到成形技术，包括铸造、压力加工、焊接、热处理等工艺在内的机械产品生产过程。它既具有高度浓缩的基础理论知识，也具有实践性很强的应用技术知识。这门课不像数学那样有严谨的逻辑性和绝对性，而是广泛存在着合理与不合理、先进与不先进、可行与不可行等需要因时因地适当选择的问题，而不是绝对的对与错。因此，学好这门课将有效地促进学生思维方法的转变，克服绝对化、片面性，使学生认识到事物的复杂性。这无疑对学生的成才颇有益处。

材料成形技术历史悠久，但现代科学技术的发展使传统的材料成形技术日益受到现代制造技术的严峻挑战。同时，现代制造技术又要以传统的材料成形技术为基础。因此，本课程将以传统的材料成形工艺为主，以先进的材料成形技术为辅。传统的材料成形技术的使用在当今的工业规模生产中仍然占有相当大的比重。然而，现代制造技术在大中型制造类

企业的生产中所占的比例也在不断提高。因此,除了充分掌握传统材料成形技术的基本知识外,还要努力学习先进的材料成形工艺和制造技术。

0.3 机械制造技术的发展简史

机械制造是在生产实践中发展起来的一门既古老又充满活力的学科。几千年来,中国人民在本学科发展的历史上写下了许多光辉篇章。

早在商代,中国就有了冶铸青铜的技术,这一个阶段被称为青铜器时代(公元前 1562—前 1066 年)。1939 年在河南安阳出土了一个现存最大的商代青铜大鼎,长方形、四足、高 133cm、重 875kg,鼎腹内有铭文,是商王为祭祀其母后而制。该鼎现藏于中国历史博物馆。

春秋时期(公元前 770—前 476 年),中国就开始应用铸铁技术,这比欧洲要早 1500 年。如吴王阖闾制造铁兵器,命干将铸剑,得雌雄两剑,雄剑名干将,雌剑名莫邪(莫邪是干将之妻,助夫铸剑),后用以泛称宝剑。由传说中宝剑的锋利情况,可见当时的技术高度。

战国时期(公元前 475—前 221 年),中国发明了“自然钢”的冶炼法,从而有了更高的制剑技术,制剑长度达一米以上,这说明那时已有了冶铸、锻造、锻焊和热处理等技术。中国古代对钢铁的主要成形方法是锻,最重要的热处理方法是“淬”,即将已锻好的钢铁用高温烧红,放到水里一浸,使其质地坚硬。

中国铁器生产在西汉时期(公元前 206—公元 8 年)达到全盛时代。这时,农具及日用品多已用铁制造。到了公元 7 世纪的唐朝,应用了锡焊和银焊,而此项技术欧洲直到公元 17 世纪才出现。

明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属材料的加工方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代几乎一致,可以说《天工开物》是世界上阐述有关金属成形加工工艺内容最早的科学著作之一。

中国从商周、春秋战国到唐、宋、元、明,在冶炼技术和机械制造工艺方面,几千年来走在世界前列。只是鸦片战争以后,中国受到帝国主义列强的侵略和国内反动统治阶级的压迫,变成一个半殖民地、半封建社会,经济命脉为帝国主义所操纵,科学技术越来越落后。

中华人民共和国成立以来,中国的机械制造业有了飞跃进步。仅就机械制造而言,建立了飞机、汽车、巨轮等生产基地。例如汽车生产,旧中国年产不到 100 辆,而仅 2012 年中国生产汽车就超过 1900 万辆。

机械制造的近代史呈现如下的发展趋势:普通机床→自动化车床→自动生产线→数控机床→机械加工中心→柔性制造系统→计算机集成制造系统→多级计算机控制的全自动化无人工厂,且其发展迅猛。

目前,机械制造业正向着柔性化、敏捷化、智能化和信息化方向发展。**柔性化**是指使工艺装备与工艺路线能适应于生产各种产品的需要。**敏捷化**是指使生产力推向市场准备时间为最短,使工厂适应市场需求灵活转向。**智能化**是柔性自动化的重要组成部分,是柔性自动化的新发展和延伸。**信息化**是指机械制造业将不再由物质和能量借助于信息的力量生产出价值,而是由信息借助于物质和能量的力量生产出价值。因此,信息产业和智力产业将成为社会的主导产业,机械制造业也将是由信息主导的,并采用先进生产模式、先进制造系统、先

进制造技术和先进管理方式的全新的机械制造业。

21 世纪初,机械制造业的重要特征表现在它的全球化、网络化、虚拟化及环保协调的绿色制造等方面。人类不仅要摆脱繁重的体力劳动,而且要从烦琐的计算分析等脑力劳动中解放出来,以便有更多的精力去从事更高层次的创造性劳动。智能化促进柔性化,它使生产系统具有更完善的判断与适应能力。一些发达工业国家,例如美国、德国、瑞士等国统计表明,1995—1998 年机械零件的种类增加了 50%;80% 的工作人员不直接与材料打交道,而与信息打交道;85% 的活动不直接增加产品的附加值;产品、工艺过程、组织管理日益复杂化;设计、工艺准备等占去为完成用户订货所花费总时间的 65% 以上。

机械制造业是所有与机械制造有关的企业机构的总体。机械制造业是国民经济的基础产业。在国民经济的各条战线上,乃至人民生活中广泛使用的大量机器设备、仪器、工具及家电产品都是由机械制造业提供的。因此,机械制造业不仅对提高人民生活水平起着重要保障作用,而且对科学技术发展,尤其对现代高新技术的发展起着更为积极的推动作用。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,将直接影响工业、农业、交通、科研和国防等各部门的生产技术和整体水平,进而影响一个国家的综合生产实力。“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争。”可见,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科技水平的重要标志之一。

第1篇

金属材料的基本知识

工程材料可分为金属材料和非金属材料两大类。尽管近几十年来非金属材料的用量正以数倍于金属材料的速度增长,但在今后相当长的时间内,机械制造中应用最广泛的仍然将是金属材料。例如,载重汽车钢件约占自重的 70%,铸铁件约占 15%;一般机床铸铁件约占 70%,钢件约占 20%。

金属材料之所以获得如此广泛的应用,除因冶炼铸铁和钢的铁矿石在地壳中储量丰富外,主要是由于它具有制造机器所需要的使用性能(力学、物理、化学性能等),并且还可用适当的工艺方法加工成机器零件,亦即具有所需的工艺性能。

机械制造中所用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属,原因是合金比纯金属具有更好的力学性能和工艺性能,且价格低廉。合金是以一种金属为基础,加入其他金属或非金属,经过熔炼或烧结制成的具有金属特性的材料。最常用的合金是以铁为基础的铁-碳合金,如碳素钢、合金钢、灰铸铁等,还有以铜为基础的黄铜、青铜,以铝为基础的铝-硅合金等。

用来制造机械设备的金属及合金,应具有所需的力学性能和工艺性能、较好的化学稳定性和适合的物理性能。因此,学习本篇时,必须首先熟悉金属及合金的各种主要性能,以便依据零件的技术要求合理地选用金属材料。

本篇主要介绍金属材料的主要性能,金属材料的成分、组织、性能之间的关系,使读者了解热处理工艺及常用钢铁材料的类别和牌号等,为学习本课程中铸造、塑性加工、焊接和机械加工工艺奠定必要的基础。

金属材料的主要性能

金属材料的性能直接关系到机械零件产品的质量、使用寿命和加工成本,是产品选材和拟定加工工艺方案的重要依据。金属材料的性能包含使用性能和工艺性能两方面。

使用性能是指材料为保证零件能正常工作和有一定工作寿命而应具备的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料为保证零件的加工过程能顺利进行而应具备的性能,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能又称机械性能,是指材料在各种外力作用下所表现出来的性能。零件的受力情况有静载荷、动载荷和交变载荷之分。用于衡量在静载荷作用之下的力学性能指标有强度、塑性、刚度和硬度等;在动载荷作用下的力学性能指标有冲击韧度等;在交变载荷作用下的力学性能指标有疲劳强度等。

金属材料的力学性能指标可以通过各种标准试验进行测定。

1.1.1 强度与塑性

金属材料的强度和塑性是通过拉伸试验测定的。

目前金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T 228—2002 新标准。由于目前原有的金属材料力学性能数据是采用旧标准进行测定和标注的,所以,原有旧标准 GB/T 228—1987 仍然沿用。本教材为叙述方便采用旧标准。关于金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照见表 1-1-1。

金属材料受外力作用时产生变形,当外力去除后能恢复其原来形状的性能,称为弹性。随外力消失而消失的变形,称为弹性变形,其大小与外力成正比。

金属材料在外力作用下,产生永久变形而不致引起断裂的性能,称为塑性。在外力去除后保留下来的这部分不能恢复的变形,称为塑性变形,其大小与外力不成正比。

将金属材料制成如图 1-1-1 所示的标准试样,在拉伸试验机上,使试样承受轴向拉力 P 并使试样缓慢拉伸,直至试样断裂。将拉力 P 除以试样的原始截面积 S_0 为纵坐标(即拉应力 σ),试样沿轴向产生的伸长量 $\Delta l(l_1 - l_0)$ 除以试样原始长度 l_0 为横坐标(即应变 ϵ),则可画出应力-应变曲线。图 1-1-2 为低碳钢应力-应变曲线。



表 1-1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照

GB/T 228—2002 新标准		GB/T 228—1987 旧标准	
名 词	符 号	名 词	符 号
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
断后伸长率	A 和 A_{13}	断后伸长率	δ_5 和 δ_{10}
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余伸长强度	R_r , 如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r , 如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b

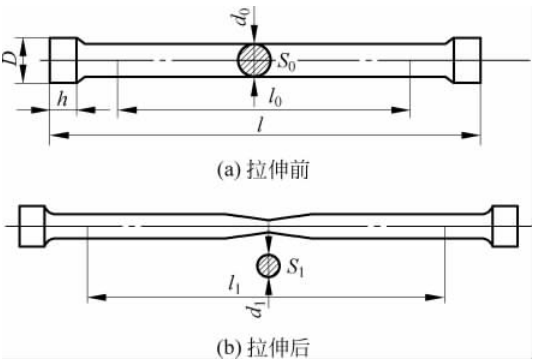


图 1-1-1 拉伸试样

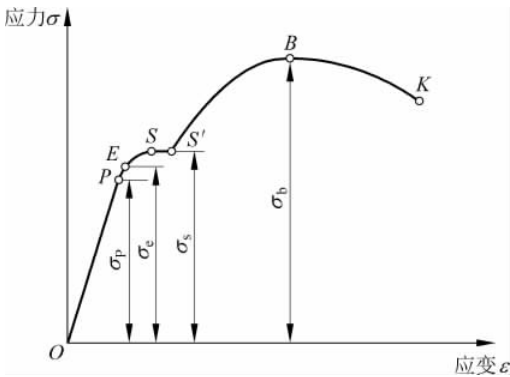


图 1-1-2 低碳钢应力-应变曲线

由图 1-1-2 可知,当载荷未达到 E 点以前,试样只产生弹性变形,故 σ_e 是材料所能承受的、不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。当载荷超过 E 点时,试样开始产生塑性变形,当载荷继续增加到 S 点时,试样承受的载荷虽不再增加,仍继续产生塑性变形,图上出现水平线段,这种现象称为屈服, S 点称为屈服点,此时的应力值 σ_s 称为屈服强度,它是金属材料从弹性状态转向塑性状态的标志。当载荷增加至 B 点时,试样截面局部出现缩颈现象,因为截面缩小,载荷也就下降,至 K 点时试样被拉断。

金属材料的塑性一般用断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

试样拉断后,标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率,用符号 δ 表示,其计算公式如下:

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

式中, δ 为伸长率(%); l_1 为试样拉断后的标距(mm); l_0 为试样的原始标距(mm)。

试样拉断后,缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,用符号 ψ 表示,其计算公式如下:

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

式中, ψ 为断面收缩率(%); S_0 为试样原始横截面积(mm^2); S_1 为试样拉断后缩颈处的横

截面积(mm^2)。

用 ψ 表示塑性比 δ 更接近材料的真实应变,因为断面收缩率与试样长度无关。伸长率 δ 的值随试样原始长度的增加而减小。所以,同一材料的短试样($l_0=5d_0$, d_0 为试样原始直径)比长试样($l_0=10d_0$)的伸长率大20%左右。用短试样和长试样测得的伸长率分别用 δ_5 和 δ_{10} 表示。

金属材料的伸长率和断面收缩率数值越大,表示材料的塑性越好。良好的塑性是金属材料进行轧制、锻造、冲压、焊接的必要条件,而且在使用时万一超载,由于产生塑性变形,也能够避免突然断裂。

1.1.2 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。在弹性变形范围内,应力 σ 与应变 ϵ 的比值称为弹性模量,用符号 E 表示,即 $E=\sigma/\epsilon$ 。弹性模量越大,表示在一定应力作用下,能发生的弹性变形越小,也就是刚度越大。

弹性模量的大小主要决定于材料内部原子的结合力,因此,同一种材料的弹性模量差别不大,并且热处理、微量合金化以及塑性变形对它的影响较小。但当温度升高时,原子间距加大,金属材料的 E 值会有所降低。相同材料的两个不同零件,弹性模量虽然相同,但截面尺寸大的不易发生弹性变形,而截面小的则容易发生弹性变形。因此,考虑一个零件的刚度问题,不仅要注意材料的弹性模量,还要注意零件的形状和尺寸大小。

1.1.3 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力,按外力作用的性质不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗扭强度等。工程上表示金属材料强度的指标主要是指屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

屈服强度 σ_s 是金属材料发生屈服现象时的屈服极限,即表示材料抵抗微量塑性变形的能力。它可按下式计算:

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

式中, σ_s 为试样产生屈服时的应力(MPa); P_s 为试样屈服时所对应的载荷(N); S_0 为试样原始截面积(mm^2)。

脆性材料的拉伸曲线上没有水平线段,难以确定屈服点 S ,因此,规定试样产生0.2%残余塑性变形时的应力值为该材料的条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度 σ_b 是金属材料在拉断前所能承受的最大应力,它可按下式计算:

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

式中, σ_b 为试样拉断前所能承受的最大应力(MPa); P_b 为试样拉断前所能承受的最大载荷(N); S_0 为试样原始截面积(mm^2)。

σ_s 与 σ_b 的比值称为屈强比,其值一般为0.65~0.75。屈强比越小,工程构件的可靠性越高,万一超载也不会马上断裂;屈强比越大,材料的强度利用率越高,但可靠性降低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 σ_s 和 σ_b 均有很大的影响。

在评定金属材料及设计机械零件时,屈服强度 σ_s 与抗拉强度 σ_b 具有重要意义,由于机械零件或金属构件工作时,通常不允许发生塑性变形,因此多以 σ_s 作为强度设计的依据。但对于脆性材料(如灰铸铁),因断裂前基本不发生塑性变形,故无屈服点可言,在设计强度时则以 σ_b 为依据。

1.1.4 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是抵抗塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度不是一个单纯的物理量,而是弹性、塑性、强度、韧性等一系列不同物理量的综合性能指标。

硬度试验需要的设备简单,操作方便,不需要破坏试样便能根据硬度值估算出强度和耐磨性。因此,工业上常常采用硬度试验法来估算工件的性能。硬度测定的方法很多,一般分为刻划法和压入法两大类,生产中以压入法较常用,有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

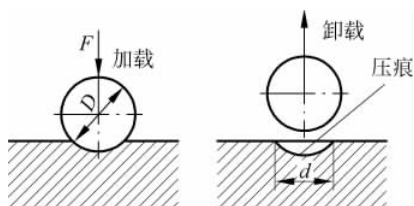


图 1-1-3 布氏硬度试验原理

1. 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1-1-3 所示。使用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球以压力 F 压入被测材料的表面,保持一定时间后卸去载荷,此时被测表面将出现直径为 d 的压痕。将试验载荷 F 除以压痕表面积 S 所得之值即为布氏硬度,以 HB 表示。显然,材料越软,压痕直径越大,布氏硬度值越低;反之,布氏硬度值越高。

当试验压力的单位为牛顿(N)时,布氏硬度值按下式计算:

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

压头为淬火钢球时,布氏硬度用符号 HBS 表示,适用于测量退火、正火、调质钢及铸铁、非铁合金等布氏硬度小于 450 的软金属;压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适用于测量布氏硬度值在 650 以下的材料。实际测试时,硬度值不需上式计算,而根据载荷 F 及测出压痕直径后查表,即可得硬度值。

标注布氏硬度值时,代表其布氏硬度值的数字置于 HBS 或 HBW 符号前面,符号后面按球体直径、试验力、试验力保持的时间(10~15s,不标注)的顺序用数字表示试验条件。例如,260HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的淬火钢球在 9087N(1000kgf)试验力的作用下,保持 30s,测得布氏硬度值为 260。做布氏硬度试验时,压头球体的直径、试验力及试验力保持的时间,应根据被测金属材料的种类、硬度值的范围及金属的厚度进行选择。

布氏硬度试验的优点是压痕面积大,因此能较准确地反映出金属材料的平均性能。另外,由于布氏硬度与其他力学性能(如抗拉强度)之间存在着一定的近似关系,因而在工程上得到了广泛的应用。但因压痕面积较大,不宜测试成品或薄片金属的硬度;测试过程较繁,不宜大批量检验;此外还不宜测量硬度较高材料。布氏硬度试验法主要用于测定铸铁,有色金属及其合金,低合金结构钢,各种退火、正火及调质钢材的硬度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理如图 1-1-4 所示。将一个顶角为 120° 的金刚石锥体(用于硬的材