

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材



工程材料成形与 机械制造基础

李爱菊 孙康宁 主编

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

工程材料成形与机械制造基础

主 编 李爱菊 孙康宁
参 编 于美杰 付 平 朱新德
白玉俊 王 美



机械工业出版社

本书根据教育部“高等学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”组织编写,内容上较传统金属工艺学更为丰富,力求体现工程材料成形与机械制造基础课程体系的完整性与系统性,按照不同工程材料的成形加工方法和加工工艺加以分类编写。

本书除绪论外,分为工程材料的应用基础、金属材料的成形工艺、非金属材料的成形工艺、切削加工、特种加工、先进制造技术以及制造业的环境保护共七章。各章后均有复习思考题。

本书可作为高等院校工科各专业的教材,也可作为从事材料科学与工程、机械工程、工业管理及相关专业的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料成形与机械制造基础/李爱菊,孙康宁主编. —北京:机械工业出版社,2012.6

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
ISBN 978-7-111-37931-7

I. ①工… II. ①李…②孙… III. ①工程材料—成型—高等学校—教材②机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TB3②TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 059629 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯 冯 铨

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:张 静 责任印制:杨 曦

北京富生印刷厂印刷

2012 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·390 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-37931-7

定价:33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面防伪标均为盗版

前 言

“工程材料成形与机械制造基础”课程是在原“金属工艺学”课程的基础上发展而来的，内容不仅涉及金属材料及其制造，也涉及到无机非金属材料、高分子材料、复合材料及其制造，是工科院校最重要的技术基础课之一，也是很多院校作为通识教育的重要选修课程之一，该课程具有知识面宽、受益面大，理论与实践密切结合，实践性、创新性强，要求会动手、能操作等特点，是工科学生素质培养、能力提高、衔接社会和实现宽口径专业教育的重要教学环节之一，也是非工科学生了解制造技术、加强通识教育和增强工程意识的重要途径。

“工程材料成形与机械制造基础”课程通常涉及工程材料、材料成形基础、机械制造工艺、机械制造实习四方面内容，为适应模块化教学，教材多为系列教材，理论部分教材多为上、下册，在相当长的一段时间内，这种系列化教材为模块化教学提供了方便。但近年来，随着工科教学计划调整，以及很多高校实施通识教育，总学分普遍压缩，加之不同专业、不同学校对该部分教学内容的需求不同，不少学校急需具有通识教育特性、内容充实、富有特性、编写精炼的少学时的《工程材料成形与机械制造基础》教材。基于上述要求，本书将工程材料、材料成形基础、机械制造工艺三大部分内容作了进一步的精炼与集成，避免了内容上的重复，在满足教育部机械基础教学指导分委员会工程材料与机械制造基础课程指导小组制定新的教学基本要求的前提下，专门针对某些工科专业和通识教育的特别要求编写而成。本书主要特点如下：

1) 本书对课程知识体系进行了优化，在保留制造技术发展简述的基础上，以够用为原则，适当减少了工程材料部分的相关内容，保留了材料成形与机械制造工艺的基础部分，增加了制造业的环境保护一章。在少而精的基础上尽可能地体现教学内容的系统完整和前瞻性。

2) 充分体现了材料、机械、控制、管理与环境保护等学科之间的交叉与融合。

3) 体现了从面向工科教学到面向多学科教学的转变。

4) 教材中新材料、新技术、新工艺内容有较大幅度的增加。

5) 本书尽可能体现出内容丰富、重点突出的风格，为学生预留出足够的自学与思考的空间，每章附有复习思考题。各个章节既相互联系，又相对独立，以适应培养复合型、创新型人才的需求并方便不同专业、不同学习背景、不同学时和不同层次的学生选用。

本书除绪论外，分为工程材料的应用基础、金属材料的成形工艺、非金属材料的成形工艺、切削加工、特种加工、先进加工技术和制造业的环境保护共七章。全书由山东大学李爱菊教授、孙康宁教授主编。其中绪论部分由山东大学孙康宁编写；第一章工程材料部分，由山东大学孙康宁、王美编写；第二章金属材料的成形部分，由山东大学李爱菊、于美杰编写；第三章非金属材料的成形，由山东大学李爱菊、白玉俊编写；第四章材料的切削加工部分，由山东大学李爱菊、孙康宁编写；第五章材料的特种加工，由

山东大学李爱菊、朱新德编写；第六章先进制造技术及第七章制造业的环境保护，由青岛科技大学付平、山东大学朱新德编写。

本书在编写过程中，参阅与借鉴了诸多专家、学者的文献、资料，在此谨表深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免有欠妥之处，诚请各位读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第一章 工程材料的应用基础	8
第一节 工程材料的性能	8
第二节 材料学基础	14
第三节 钢的热处理	28
第四节 工程材料的分类、编号及用途	33
复习思考题	49
第二章 金属材料的成形工艺	50
第一节 金属材料的液态成形工艺	50
第二节 金属材料的塑性成形工艺	71
第三节 金属材料的连接工艺	88
第四节 粉末冶金成形工艺	114
复习思考题	122
第三章 非金属材料的成形工艺	125
第一节 陶瓷材料的成形工艺	125
第二节 高分子材料成形工艺	132
第三节 复合材料的成形工艺	141
复习思考题	151
第四章 切削加工	152
第一节 切削加工的基础知识	152
第二节 零件表面的常规加工方法	169
第三节 机械加工工艺流程基本概念	194
复习思考题	202
第五章 特种加工	205
第一节 电火花加工	205
第二节 电解加工	208
第三节 超声波加工	209
第四节 高能束加工	211
复习思考题	216
第六章 先进制造技术	217
第一节 数控加工技术	217
第二节 计算机辅助设计与制造技术	225
第三节 柔性制造技术	229

第四节 计算机集成制造系统	230
复习思考题	233
第七章 制造业的环境保护	234
第一节 机械制造业的环境污染	234
第二节 机械制造业的环境保护技术	235
复习思考题	244
参考文献	245

绪 论

工程材料成形与机械制造基础是一门研究工程材料及其成形与机械制造方法的综合性技术基础课。现代工业门类繁多,但概括起来可分为材料工业、能源工业、建筑业和制造业几种。其中材料工业与制造业密切相关。材料工业是将自然资源制备成具有各种性能或功能,能满足各种要求的材料;制造业则是将材料加工制造成各种产品,以满足人类生活、生产和社会的要求。本绪论部分仅简单介绍工程材料和制造技术的历史、现状和发展,旨在使读者对工程材料和制造技术的背景有一个比较完整的了解,以利于本课程和后续相关知识的学习。

一、工程材料概述

材料是人类用以制作有用物件的物质。历史证明,材料是人类社会进步的物质基础和先导。世界各国对材料的分类虽然不尽相同,但按照传统的方法可将其分为金属材料、无机非金属材料(陶瓷)、有机高分子材料和复合材料四大类。

(一) 金属材料的发展及其现状简述

金属材料主要是通过金属键结合而成,因此这类材料有比高分子材料高得多的模量,有比陶瓷材料高得多的韧性、可加工性、磁性和导电性。正是由于具备了上述特点,使得金属材料至今不仅难以被快速发展的其他材料体系所替代,而是仍在不断地推陈出新,在工程材料中占有十分重要的地位。

早在公元前 5000 年,人类就已发现并开始使用金属材料。青铜是最早发现和使用的材料之一,历史上称之为青铜器时代。公元前 1500 ~ 公元前 1200 年,铁器时代开始,以后随着铁和钢冶炼方法的不断发现和改进,人类社会生产力水平不断提高,社会不断进步,到了 18 世纪第一次工业革命期间,钢铁工业迅猛发展,成为工业革命的主要潮流和物质基础,其他金属材料也得到相应的快速发展,极大地满足了现代工业生产的需要。应该说金属材料的发展历史是悠久的,进入 19 世纪后高速发展,并不断推陈出新,向材料性能极限挑战。归结起来,金属材料近几十年来主要研究方向为:① 高纯材料;② 高强度及超高强度金属材料;③ 超易切削钢和超高易切削钢;④ 硬质合金与金属陶瓷;⑤ 高温合金与难熔合金;⑥ 纤维增强金属基复合材料;⑦ 共晶合金定向凝固材料;⑧ 快速凝固金属非晶及微晶材料;⑨ 有序金属间化合物;⑩ 纳米金属材料;⑪ 形状记忆合金;⑫ 贮氢合金等。

(二) 陶瓷(无机非金属材料)的发展简述

陶瓷有时也称为无机非金属材料。广义上讲,陶瓷是泛指一切经高温处理而获得的无机非金属材料。除先进(特种)陶瓷外,还包括玻璃、搪瓷、水泥和耐火材料等。从狭义上讲,用无机非金属化合物粉体,经高温烧结而成的,以多晶聚积体为主的固态物均称为陶瓷,显然该定义不含玻璃、搪瓷和金属陶瓷,主要是指先进陶瓷。先进陶瓷也称精细陶瓷、高技术陶瓷或特种陶瓷,其化学键是由共价键和离子键组成,具有优良的耐高温、耐磨、耐腐蚀的特点,且比传统陶瓷具有高的强度和韧性。

中国是陶瓷的发源地,不仅历史久远,而且成就辉煌。早在新石器时代,我国就有了陶器。陶器的发明和广泛应用是社会生产力的一个飞跃,同时大大地方便和丰富了人类的生

活。陶器的发展经历了漫长的过程,经过几千年的发展,在原料的选择和处理、成型技术、烧结工艺和器型的复杂性方面都获得了长足进步。陶瓷的第一次重大飞跃是人类掌握了通过鼓风提高燃烧温度的技术,进而利用粘土、石英、长石等矿物制成了瓷器。传统陶瓷,以日用瓷器、建筑陶瓷和卫生瓷器为典型代表。从传统陶瓷到先进陶瓷被称为陶瓷材料的第二次重大飞跃。先进陶瓷的发展始于19世纪末,20世纪70年代起,在世界范围内掀起了有关新型陶瓷材料研究与开发的热潮,人们希望能用高温高强度陶瓷材料代替耐热合金,制备具有高效率的燃气轮发电机和汽车发动机。到20世纪末,先进陶瓷的研究与应用已取得很大进展。先进陶瓷的研究领域包括:粉体、结构陶瓷、功能陶瓷、生物陶瓷、薄膜及喷涂以及陶瓷制备工艺等。其中结构陶瓷、功能陶瓷、生物陶瓷分属不同的应用领域,粉体及陶瓷制备工艺的研究则直接影响高技术陶瓷材料的性能、成本、应用和发展水平。作为结构陶瓷,在经历了几十年全球性的研究热潮后,目前正围绕陶瓷材料的弱点:脆性大;可靠性、均匀性、重复性差以及加工制造成本高等方面进行更细致的基础研究和应用研究。

(三) 高分子材料的发展简述

20世纪30年代,高分子结构与性能关系研究的兴起及理论的创立,推动了新型高分子材料的合成。塑料是高分子材料中的主要组成部分,工程塑料是塑料工业的重要分支。工程塑料是一个特定的名称,广义上是泛指具有高性能又可能代替金属材料的塑料,狭义上是指比通用塑料的强度与耐热性优异,可作为工业用的结构材料并具有功能作用的高性能塑料。与金属材料相比其优点是:①密度小,仅为 $1.0 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$,约为铁的 $1/6$;②加工性好,生产效率高;③耐水及各种化学药品腐蚀;④自润滑性好,摩擦因数小;⑤可以自由着色;⑥容易与玻璃纤维及各种填料复合;⑦优异的电绝缘性;⑧隔热性优良,热导率约为铁的 $1/100$;⑨可降低成本、节约资源和能源。其缺点是:①耐热性能差,软化点低;②机械强度低,抗拉强度一般约为钢的 $1/10$;③尺寸稳定性差,线胀系数约为钢的5倍;④耐候性差,长期受重力作用易产生疲劳,在室外长期受紫外线作用,易降低性能。

1931年,W. H. Carothers研制出聚酰胺,并申请了专利,工程塑料聚酰胺率先工业化,由杜邦公司于1939年进行工业化生产。随后的几十年中,工程塑料的品种不断增多,并且通过共混改性合金化,性能不断提高,应用领域不断扩大。工程塑料主要品种工业化时间及首家商品化的企业见表0-1。

表0-1 工程塑料主要品种工业化时间及首家商品化的企业

品种名称	工业化时间	首家商品化企业	品种名称	工业化时间	首家商品化企业
尼龙66	1939	美·杜邦	聚砜	1965	美·联合碳化物
尼龙6	1942	德·洁本	改性聚苯酸	1966	美·通用电气
聚四氟乙烯	1945	美·杜邦	尼龙12	1966	德·许尔斯
尼龙11	1955	法·阿托	聚苯硫醚	1968	美·菲利浦
聚甲醛(均聚)	1959	美·杜邦	聚对苯二甲酸丁二醇酯	1970	美·塞拉尼斯
聚碳酸酯(酯交换法)	1958	德·拜耳	聚酰胺酰亚胺	1971	美·阿莫科
聚碳酸酯(光气化法)	1960	美·通用电气	聚砜砜	1972	英·卜内门
聚甲醛(共聚)	1961	美·塞拉尼斯	聚醚醚酮	1980	英·卜内门
尼龙1010	1961	中·上海赛璐洛厂	聚醚亚胺	1981	美·通用电气
聚酰亚胺	1964	美·杜邦	间规聚苯乙烯	1999	美·陶氏/日·出光
聚苯醚	1964	美·通用电气			

工程塑料的快速发展源于 20 世纪 80 年代后, 在 高分子聚集态界面物理及化学研究不断取得新进展的理论指导下, 在双螺杆挤出设备及工艺不断创新, 提供了先进加工手段等的推动下, 极大地促进了工程塑料通过共混改性实现合金化的进程, 开发出更多的新品种, 满足了高新技术对工程塑料品种及性能越来越高的要求。

(四) 复合材料的发展简述

复合材料是指由不同材料组合而成, 在新制成的材料中, 原来各材料的特性得到了充分的应用, 而且复合后可望获得单一材料不具备的新功能的材料。通常根据复合材料的基本体把复合材料分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料以及聚合物基复合材料, 根据分散相(增强相)尺寸的不同分为微米级复合材料、纳米级复合材料、杂化(原子或分子水平)材料以及宏观—微观复合为一体的各种新型复合材料。上述具有不同结构和不同性能的材料复合后, 可制得增强、增韧或功能化的各种新型复合材料, 不仅可克服单一材料的缺点, 而且可以出现原来单一材料本身所没有的新性能。因此它比单一材料具有更优良的综合性能, 还可以通过材料设计达到预定的使用性能, 以满足当代高技术发展对材料性能越来越高的要求。

复合材料的发展经历了古代—近代—先进复合材料的过程, 最原始的复合材料是在粘土泥浆中掺入稻草, 制成很好的土砖; 在灰泥中加入马鬃, 在石膏里加入纸浆, 或在磷酸水泥里加入石棉纤维等制成纤维增强复合材料。在古代, 最令人瞩目的成就应属我国的漆器, 它是以丝、麻等天然纤维作为增强材料, 用大漆作粘结剂制成的复合材料, 所以说复合材料对人类社会生活和社会进步起着重要作用。近代聚合物复合材料主要包括软质复合材料和硬质复合材料。把橡胶和纺织材料混合在一起使用, 即称软质复合材料或橡胶复合材料, 其增强体包括天然纤维、人造丝、尼龙、聚酯纤维、芳香族聚酰胺纤维、金属纤维等。硬质复合材料是由纤维增强合成树脂制成的复合材料。合成树脂包括热固性树脂(酚醛树脂、环氧树脂、不饱和树脂等)以及性能各异的热塑性树脂(聚苯乙烯、尼龙、聚氯乙烯、聚砜等)。增强体包括玻璃纤维、碳纤维、石墨纤维、硼纤维、碳化硅纤维、芳香族聚酰胺纤维等。就目前看, 热固性基体复合材料仍占统治地位, 其中玻璃纤维增强的热固性树脂复合材料——玻璃钢是最典型的代表。

20 世纪 60 年代以来, 随着航空、航天等尖端技术的迅猛发展, 对复合材料提出了三高一低的性能要求, 即高强度、高模量、耐高温、低密度。为此, 材料研究人员先后研究和生产出多种高性能的纤维增强材料, 如碳纤维(CF)、硼纤维(BF)、芳纶纤维(KF)、碳化硅纤维(SF)和氧化铝纤维等。这些高性能纤维的比强度和比模量分别在 $6.5 \times 10^6 \text{ cm}$ 和 $6.5 \times 10^8 \text{ cm}$ 以上。通常把比强度大于 $4 \times 10^6 \text{ cm}$, 比模量大于 $4 \times 10^8 \text{ cm}$ 的复合材料称为先进复合材料。先进复合材料的主要追求目标就是优质耐高温。

先进复合材料的使用温度和加工条件主要取决于基体的特征, 基体则采用各种耐高温的聚合物、金属和陶瓷等。由上述基体制成的聚合物基复合材料(PMC)、金属基复合材料(MMC)和陶瓷基复合材料(CMC), 其最高使用温度分别达到 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ 、 $350 \sim 1200^\circ\text{C}$ 和 $1200 \sim 2000^\circ\text{C}$ 及其以上。

先进复合材料除结构材料外, 还有功能复合材料、生物复合材料或结构与功能一体化复合材料。复合材料除使用纤维、晶须等增强体材料外, 还有颗粒等各种弥散分布的增强体材料。

二、产品制造过程简述

(一) 产品的制造过程

现代产品的制造过程包括：产品设计（概念设计、结构设计、外观设计）、零部件设计（形状设计、生产工艺设计）、材料选择、材料成形、加工与表面处理、检验与装配等。产品制造过程是一个系统工程，每一个环节的变化都关系到产品制造的成功与否。

(二) 产品与零部件设计

由于产品总成本的70%以上是由设计过程决定的，因此设计工作决定着产品的命运和前途。传统设计通常基于经验的积累，设计的中心围绕产品本身和成品的功能。而现代设计则基于丰富的知识，包括各种标准、规范、技术资料、工作经验、计算机辅助设计知识、市场信息、物理模型、样机试验以及现代制造技术等，设计中心则为顾客需求和产品全生命周期。

现代产品设计充分体现了对产品结构、制造、使用、报废、回收和降解等全过程负责终生的设计理念。即现代产品设计思想须考虑以下几点：① 产品功能能否保证；② 产品模型是否含有全部所需信息；③ 制造与装配工艺性能否经济、高效地生产出产品；④ 产品的可靠性如何保证，出现故障时是否便于维修；⑤ 通过测试能否随时显示产品的状态与故障；⑥ 产品在生产、运输、使用过程中是否安全；⑦ 产品损毁或报废时，是否能快速拆卸等。总之，产品在制造、装配、销售、使用、售后服务以及报废和回收中所存在的问题，在现代产品设计中必须加以考虑与解决，在设计阶段就要预见产品的整个生命周期。由于利用传统的串行设计方法难以同时解决上述诸多问题，目前有效的解决办法是采用“并行设计”或“并行工程”。图0-1所示为串行设计与并行设计的示意图。与串行设计相比，并行设计大量

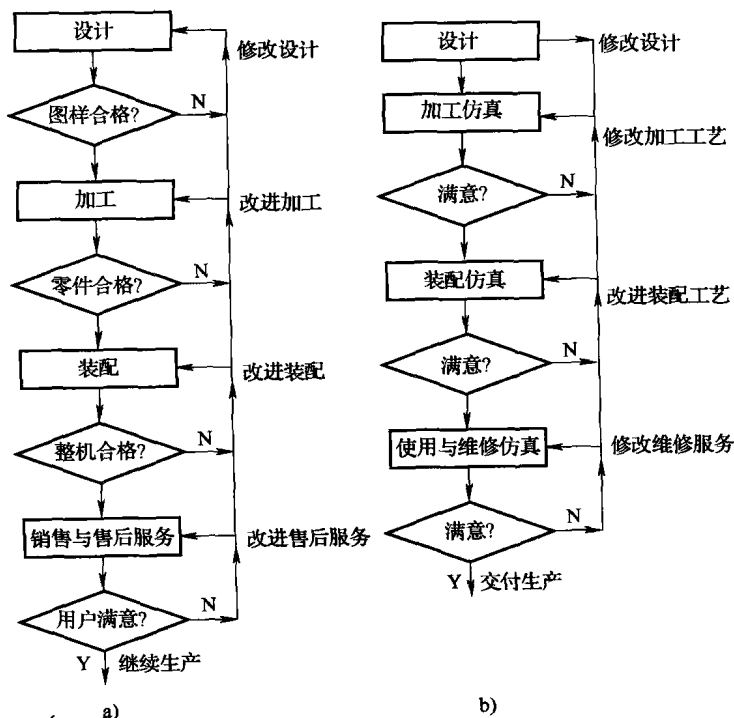


图0-1 串行设计与并行设计的示意图

a) 串行 b) 并行

采用加工仿真、装配仿真、使用与维修仿真等技术预测产品在加工、装配、使用和维修环节中可能出现的情况和问题，及时修改或优化设计。并行工程的核心是设计人员、采购人员、工艺人员、销售与售后服务人员并行、协同地工作，共同参与设计，共同对设计负责。但是并行工程绝不是设计工作与制造工作并行，与设计工作并行的绝不是真实的制造过程，而是一个虚拟的制造过程。它是虚拟现实技术在制造业中的应用，是在计算机里开工厂。以计算机仿真、智能推理和预测为基础，利用先进的传感技术和声像技术将一个看得见、摸不着的虚拟产品呈现给人的感官，以提供虚拟的消费过程、损耗过程和维修过程，为全生命周期设计服务。

随着计算机技术的发展，设计技术逐渐进入自动化。设计自动化主要包括以下三个方面：① CAD，它的功能主要用于辅助绘图、辅助优化设计和通过庞大的知识库和推理机来处理无法量化的经验性知识。② 计算机辅助工艺规划（CAPP），它能通过分析所涉及的零件特征，自动生成相应的工艺规程，甚至自动设计所需的刀具、夹具和量具。③ 数控自动编程（AP）。编程是一个非常复杂的工作，AP的特点是根据零件的设计特点及 CAPP 所生成的工艺规程自动形成数控加工程序，这将为设计自动化奠定重要基础。

（三）产品或零件的选材与制造

产品或零件设计完成后，通常要根据产品的各种要求进行选材。在选材时不仅对材料的性能有要求，对材料的成本和可加工性能等诸多方面也有要求。当已有材料难以同时满足上述要求时，还要根据产品的特殊要求研制所需的新材料，所以新产品的出现也是新材料发展的源泉之一。选材完成后，要采用不同的工艺技术将原材料转变成产品或零件。所谓工艺，是指将原材料转变成产品或零件的方法和技术。制造工艺技术很多，概括起来主要有以下几大类：① 成形工艺；② 切削与磨削工艺；③ 特种加工工艺；④ 生长成形工艺（快速成形工艺）。但是不管采用哪种工艺对所选材料实施加工，保证产品质量，降低加工成本，提高加工效率则是成熟工艺技术的基本标志。

材料成形常常是产品制造工艺的第一步，它是将原材料加工成具有一定形状的毛坯或成品的办法。在传统的金属成形工艺中，主要包括铸造、锻压和焊接工艺。但是工程材料成形则包含了一个非常广泛的领域。例如在现代工程材料成形中，随着可供选择材料的增多，塑料成形工艺、粉末冶金成形工艺、生长成形工艺、陶瓷成形工艺和复合材料成形工艺等越来越重要，它们不仅可以使原材料成形为近净尺寸的毛坯，也可以直接获得所需要的成品。新的成形工艺可以使成形与精加工一体化，甚至使材料的制备与成形一体化。经成形加工后，如果不能达到零件所需要的尺寸和形状精度（被加工材料常称为毛坯或半成品），则通常要对毛坯进行切削或磨削加工。切削与磨削加工最重要的是刀具、机床和各种机床控制技术。

材料成形和切削或磨削工艺是本课程的重点内容，将在后续章节中详细介绍。当然现代产品的制造过程还包括特种加工与表面处理、检验与装配等过程与环节，这些内容可以在后续相关章节的学习中加以了解。

三、制造（工艺）技术发展简述

制造技术是围绕工程材料进行的。制造技术是指制造业为日常生活和国民经济建设生产各种必需物质所使用的一切生产技术的总称。

制造业以及制造技术的发展已有漫长的历史，但其真正形成与发展则只有近 200 年，最

近 10 余年才提出先进制造技术。制造技术的发展大约经历了以下六个阶段：

1) 从 18 世纪后半叶开始，蒸汽机与工具机的发明导致近代产业革命发生，揭开了近代工业发展的历史，制造企业的雏形产生，其特征是工场式生产的出现。

2) 19 世纪电气技术得到快速发展，导致电气技术与制造技术的融合，开创了电气化的新时代，促进了制造业的飞速发展，使制造技术实现了批量化生产和工业化生产的新局面。

3) 20 世纪初，内燃机这项重大发明引发了制造业的一场科技革命。流水生产线和泰勒式工作制得到了广泛应用，特别是受第二次世界大战的影响，使以降低成本为中心的刚性、大批量制造技术和科学管理方式得到了空前发展。

4) 制造技术发展的第四个阶段出现在第二次世界大战以后，随着计算机、微电子、信息和自动化技术的快速发展，制造技术开始向高质量生产和柔性化生产方向发展。使生产模式由中、小批量生产向小批量自动化生产转变。

5) 如果说前四个发展阶段是由于技术推动造成的，从 20 世纪 80 年代以来，制造技术的发展则是由市场牵动的。柔性制造单元 (FMC) 引发了制造工程中组织结构和运行模式的革命性飞跃。

6) 20 世纪 90 年代后，制造技术的重要特征是与信息技术、人工智能技术融为一体，随着人工智能 (专家系统)、人工神经网络、模糊逻辑等计算机智能的应用，制造知识的获取、表示、存储和推理已成为可能。

随着经济全球化，要求制造企业对市场反应更加敏捷化。随着知识经济的到来，制造业将走向高技术化。随着经济水平的不断发展和居民生活水平的提高，制造业的产品将日益多样化。今后，先进制造技术的发展趋势将具有以下明显特征：

1) 信息技术正在向制造技术注入和融合，促进着制造技术的不断发展。

2) 设计技术在不断现代化的同时，设计过程也由单纯考虑技术因素转向综合考虑技术、经济和社会因素。设计不仅只是单纯追求某项性能指标的先进和高低，而是注意考虑市场、价格、安全、美学、资源和环境等方面的影响。

3) 成形及改进制造技术向精密、精确、少能耗和无污染方向发展，比如成形技术正在从制造工件的毛坯、接近零件的形状，向直接制造工件即精密成形或净成形的方向发展。

4) 加工制造技术则向着超精密加工技术、超高速切削以及发展新一代制造装备的方向发展。

5) 工艺将由技艺发展为工程科学。使工艺设计由经验判断走向定量分析，工艺模拟将广泛应用于金属切削和产品设计过程。使产品设计完成时，成形制造的准备工作中也同时完成。

6) 随着先进制造技术的不断进步，冷热加工之间，加工、检测、物流和装配过程之间，设计、材料应用和加工制造之间，其界限将逐渐淡化，并逐渐走向一体化。

四、课程性质、任务和学习要求

1. 课程性质

传统的工程材料及机械制造基础课程是研究机器零件常用材料和加工方法，即从选择材料、制造毛坯直到加工出零件的综合性课程。随着科学技术的快速发展，知识更新的加快，学科大幅度的调整，本课程性质也在逐渐发生变化，为充分体现各学科的交叉、融合，全面拓宽课程知识体系，使理论、实践和创新结合在一起，本课程内容已不仅局限于机械制造，

而是更充分地体现了先进制造技术、材料科学与工程、材料及制造技术发展史、现代信息技术等跨学科之间的密切交叉与融合。本课程是一门以各种制造方法为载体，涉及多学科知识渗透与交叉，从常用工程材料的选择、成形、加工和制造直到加工出零件或器件的综合性技术基础课程，它将给学习者提供一个全新的、完整的机械制造过程的概念。

2. 学习要求

通过本课程的学习，结合现代工程训练或金工实习环节，要求学习者了解材料及制造技术发展史，获得常用工程材料、各种制造技术的基础知识以及零件或器件的加工工艺知识，培养工艺分析的初步能力，为学习其他有关课程及以后从事机械设计和加工制造工作奠定必要的基础，并为复合型人才的培养奠定现代制造技术的基础。

3. 课程任务

- 1) 了解材料及制造技术发展史。
- 2) 了解常用工程材料的种类、成分、组织、性能和改性方法，具有选用工程材料的初步能力。
- 3) 掌握主要工程材料或器件的成形与加工方法的基本原理和工艺特点，具有选择毛坯、零件加工方法及工艺分析的初步能力。
- 4) 具有综合运用工艺知识、分析零件结构工艺性的初步能力。
- 5) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术相互交叉渗透的特点及其发展趋势。

第一章 工程材料的应用基础

工程材料能否应用于所需零件或产品，不仅取决于材料的力学性能，也取决于材料的可加工性能和成本等因素。由于材料的宏观性能与微观组织结构密切相关，因此初步了解材料学的基本知识，掌握选材的方法，将是合理选用材料与制定材料加工工艺的重要前提。本章将重点介绍工程材料的性能、材料学的部分基础知识、材料的分类编号及用途，以便为选材和制定后续制造工艺奠定基础。

第一节 工程材料的性能

一、工程材料的力学性能

力学性能是指材料受外加载荷作用时，所反映出来的固有性能。工程材料的力学性能主要有强度、硬度、塑性、冲击韧度和疲劳强度等。

(一) 强度

强度是指材料抵抗由外力载荷所引起的应变或断裂的能力，外力载荷方式不同，描述强度的指标也不同，常用的指标有抗拉强度、抗压强度和抗弯强度等。值得注意的是，由于材料种类和性质不同，常用的强度衡量指标也有所不同。

1. 抗拉强度

塑性较好的金属或高分子材料常用抗拉强度衡量其抵抗破坏的能力，它是利用标准试样在拉伸试验机上通过拉伸试验测出来的。

(1) 金属材料抗拉强度 图 1-1 所示为低碳钢拉伸试样的形状和尺寸示意图。试样标距为 L_0 ，试样的横截面积为 A_0 。在拉伸试验中，试样被装夹在拉伸试验机上，当对试样两端缓慢施加载荷时，试样的受力方向与其轴向平行。此时试样随载荷的增加被逐渐拉长，直至断裂。在整个拉伸过程中，拉伸试验机自动记录每一瞬间的载荷 F 及相应的试样伸长量 ΔL ，并给出拉伸曲线，如图 1-2 所示。

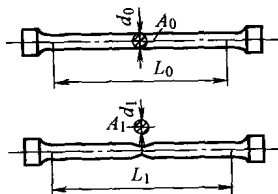


图 1-1 低碳钢拉伸试样示意图

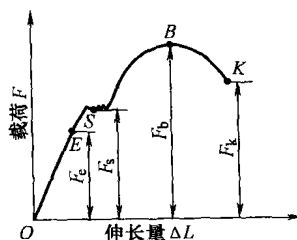


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线图

由图 1-2 可以看出，当载荷较小时，试样的拉伸量 ΔL 与载荷成比例增加，拉伸曲线在 OE 段为直线，并遵循胡克定律。若在此阶段卸载，试样会恢复到原始状态，这种变形称为弹性变形， E 点对应最大弹性变形载荷为 F_e 。继续增加载荷达到 F_s 时，拉伸曲线将出现锯齿

齿型平台，即载荷在基本保持不变的情况下，试样继续产生塑性伸长，这种现象称为屈服，S点称为屈服点，若在此时载荷卸载，试样不能完全恢复到初始状态而产生永久性变形，即塑性变形。屈服产生以后，继续增加载荷，试样将继续伸长，当载荷增加到 F_b 时，试样标距内的某局部截面将开始缩小，产生缩颈现象，此时的载荷 F_b 是试样所能承受的最大载荷。缩颈产生后，金属材料仍继续变形，所需的载荷将下降，载荷达到 F_k 时，试样在缩颈处断裂。

由拉伸过程可知，在不同阶段，材料抵抗变形与破坏的能力是不同的，对应于不同阶段的最大抵抗能力，又可细分为弹性极限、屈服强度、抗拉强度等。为便于相互比较，常用材料单位面积所能承受载荷的最大能力（即应力）表示强度。拉伸曲线也可用应力-应变（单位长度的伸长量）曲线表示，这种表示排除了材料的尺寸因素，可达到表征材料力学性能的目的，而且曲线形状相似。

弹性极限是材料在外力作用下保持弹性变形时单位面积所对应的最大拉伸力，用 σ_e 表示，单位为MPa：

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (1-1)$$

式中， F_e 为试样产生线弹性变形的最大拉力（N）； A_0 为试样的原始截面积（ m^2 ）。

屈服强度是工程材料在外力作用下开始产生屈服时单位面积所能承受的最大拉伸力，用 σ_s 表示，单位为MPa：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-2)$$

式中， F_s 为试样产生屈服时的对应载荷（N）。

抗拉强度是表示材料在拉伸过程中单位面积所能承受的最大拉伸力，用 σ_b 表示，单位为MPa：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-3)$$

式中， F_b 为试样拉伸时的最大拉力（N）。

以上讨论的是典型低碳钢材料的拉伸曲线。对于高碳钢、奥氏体钢和其他脆性金属材料，其拉伸曲线上不出现明显的屈服平台，为表示该类材料的屈服强度，规定该类材料产生0.2%残余应变时对应的应力值为其屈服极限，称为条件屈服极限或名义屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(2) 高分子材料抗拉强度 高分子材料的性能不同于金属材料，因此其抗拉伸特征也不同。在不同温度下，聚合物结构与性能有很大的差异，在较低温度时为玻璃态，相应临界温度为 T_g ，较高温度时为粘流态，相应临界温度为 T_m （或 T_f ）， $T_g \sim T_m$ 之间则为高弹态。图1-3所示为高分子材料在不同温度范围时的拉伸曲线（应力—应变关系）。

2. 抗弯强度

对工程陶瓷等脆性材料，由于其塑性几乎为

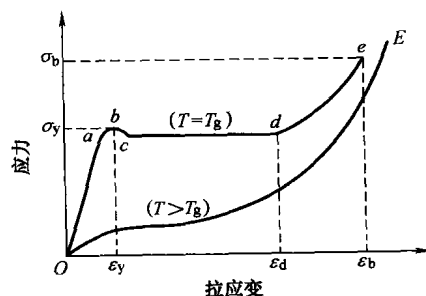


图1-3 高分子材料在不同温度范围时的拉伸曲线

零, 用抗拉强度已难以准确描述其抵抗变形与破坏的能力, 因此常用抗弯强度表示。在进行弯曲试验时, 可采用三点弯曲的加载方式, 也可以采用四点弯曲的加载方式, 图 1-4 所示为弯曲加载示意图, 对应弯曲断裂载荷 F , 此时的强度为抗弯强度 σ_f , 单位为 MPa, 计算公式为:

$$\text{三点弯曲:} \quad \sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1-4)$$

$$\text{四点弯曲:} \quad \sigma_f = \frac{3F(L-l)}{2bh^2} \quad (1-5)$$

式中, F 为弯曲断裂载荷 (N), L 为下支点间跨距 (mm), b 为试样的宽度 (mm), h 为试样的厚度 (mm), l 为上支点跨距 (mm) (四点弯曲)。

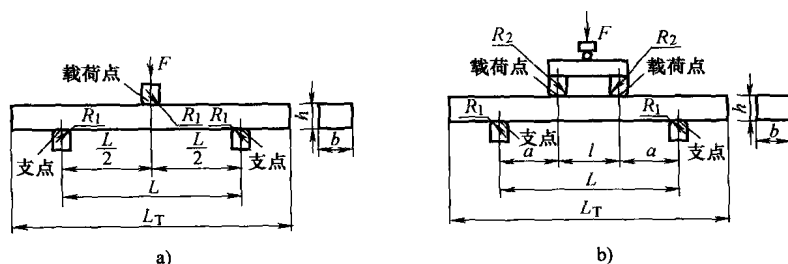


图 1-4 抗弯强度加载示意图

a) 三点弯曲 b) 四点弯曲

(二) 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。金属的塑性常用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示, 即:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, L_0 为试样标距的原始长度 (mm); L_1 为试样拉断瞬间标距的实际长度 (mm); A_0 为试样原始截面积 (mm^2); A_1 为试样断口处的截面积 (mm^2)。

δ 或 ψ 越大, 材料的塑性越好。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件, 但 δ 或 ψ 只是材料塑性的标志, 一般不作为设计零件的直接依据。

(三) 硬度

硬度是指硬的外来物体作用于固体材料上时, 固体材料抵抗塑性变形、压入或压痕的能力。硬度也是工程材料重要的力学性能指标。硬度高低对工程材料的切削加工性、零件的耐磨性和使用寿命影响显著。一般来说, 硬度越高, 材料耐磨性越好, 使用寿命越高, 但也会给切削加工带来困难。

对于金属材料, 主要使用布氏硬度和洛氏硬度测量其硬度。对工程陶瓷则常用维氏硬度和洛氏硬度。对于高分子材料, 一般用肖氏硬度。下面分别介绍其测量方法与原理。

1. 布氏硬度 (HBW)

布氏硬度的测试原理为: 按 GB/T 231.1—2009 的规定, 用规定载荷为 F 的力把直径为