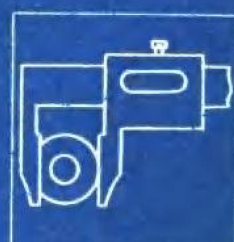
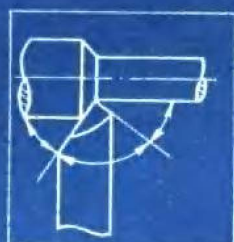
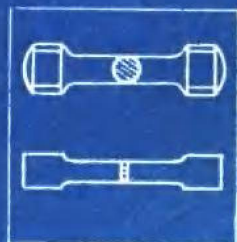
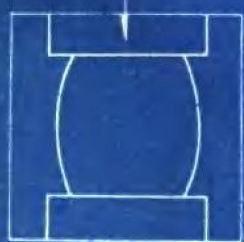


机械制造工程学

王祖诚 编 著



北京航空學院出版社

内 容 提 要

本书是一本按新体系编写的“机械制造工艺”类型教材。其主要特点是在机械制造全过程的三流程（材料流程、信息流程、能量流程）的基础上，系统连贯地叙述并综合分析了机械制造工艺中的技术-经济实质、方法及效益；同时也述及新工艺的发展，是一本系统性、理论性和概念性较强的机械制造工艺基础类型的综合教材。

本书共分四篇：

第Ⅰ篇 材料及其处理：黑色金属、有色金属、非金属材料；热处理；表面处理；塑料压制工艺等。

第Ⅱ篇 质量不变工艺 连接工艺：铸造；锻造；冲压；粉末冶金；焊接；粘接等。

第Ⅲ篇 互换性与测量技术基础：光滑圆柱体尺寸公差标准；形位公差标准；表面粗糙度标准；滚动轴承公差；角度、锥度公差；键公差；螺纹公差；圆柱齿轮公差；技术测量基础及误差处理等。

第Ⅳ篇 质量减少工艺 连接工艺：金属切削原理；切削刀具；基本切削工艺——车、钻、镗、扩、铰、拉、刨、铣、磨等；光整加工——研磨、珩磨、超精加工等；螺纹加工；齿轮加工；机床夹具；机械加工精度；工艺规程的制订；装配工艺；特种加工工艺；数控加工工艺；成组加工工艺；自动线加工工艺等；

本书内容全面、新颖，叙述简明，全部采用新国标，可供工程、管理、财务各专业大学、中专用作教科书（对大学机械制造专业需稍事补充），亦可供有关技术人员参考。

机 械 制 造 工 程 学

编 著 者 王祖诚

责任编辑 肖之中

北京航空学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

朝阳区科协印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张：39.25 字数：980千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷印数：2850册

ISBN 7-81012-041-7/TH·002

定价：6.40元

前 言

机械是工业的基础。机械制造在机械、仪器仪表、化工、轻工、电子、建筑……等工业部门以及其它诸如管理等领域内均广泛涉及。

编者们在多年教学实践经验及调查研究所得,深感非机械制造工程专业或管理专业等的学生亦必须具备必要的与机械制造有关的基本知识。目前机械制造类专业的这方面教材的系统、分类已基本成熟,但是非机械制造类的似仍嫌不足。“为学时所限,不得不砍掉与本学科系统有关的课程或章节,从而影响到本学科的系统完整性”以及“因单独设置与本学科有关的各门课程而出现的内容上大量重复,从而不必要地大量增加学时”的现象还依然存在。

为此,编者试图从“选用材料→毛坯工艺→加工质量规范→加工成零件成品→装配成整机成品”这一完整的机械制造过程的系统性和连贯性出发,结合与本学科有关各门课程的教学大纲以编写本教材。编者们的思路是:在保持本学科严谨的科学理论性、基本概念性和系统完整性、连贯性,亦即是在保持完整“骨架”的前提下,文字上力求简明扼要、浅显通顺,并齐备必要的插图。

本教材主要读者对象是高、中等工科院校非机械制造类专业和管理院校的学生。如在本教材“骨架”中按需要补充填入必要的“肉”(内容)后,亦宜作为机械制造类专业有关单门少学时专业课程的教材。本教材亦可作职大、业大、夜大等教材,也可供有关工程技术人员参考。基于本教材上述特点,尤宜于自学。

本教材学时总数为100~120学时。各篇自成系统,也可按具体情况选择或分别独立讲授。

本教材由王祖诚副教授主编,参加编写的还有李海沧、兰作良、杨邦太、简元金、微元、郭立、张剑云、王振辉、周培生、赵京、郭宇、吴永利、刘敏、骆文等同志。北京矿业学院、北京联大自动化工程学院张德高教授审阅了本教材,并提出不少宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平及时间有限,教材中难免存在缺点和错误,敬希读者提出宝贵意见和批评指正。

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第I篇 工程材料及其处理

第一章 材料的分类和性能	(3)
§1 材料的分类	(3)
§2 材料的性能	(4)
第二章 金属材料的内部组织结构	(16)
§1 纯金属内部组织结构	(16)
§2 合金内部组织结构	(17)
§3 金属结晶过程同素异晶转变	(18)
§4 金属材料的加工硬化、回复、再结晶	(20)
第三章 铁碳合金	(24)
§1 铁碳合金状态图	(24)
§2 碳钢	(28)
§3 铸铁	(30)
第四章 钢的热处理	(31)
§1 热处理原理	(31)
§2 钢的退火与正火	(37)
§3 钢的淬火	(39)
§4 钢的回火	(41)
§5 钢的冰冷处理	(43)
§6 钢的时效处理	(43)
§7 表面热处理与化学热处理	(43)
§8 热处理技术的新发展	(47)
第五章 钢的表面处理(保护)	(50)
§1 腐蚀概述	(50)
§2 化学膜层	(52)
§3 金属镀层(电镀)	(53)
第六章 合金钢	(56)
§1 合金元素在钢中的作用	(56)
§2 合金钢的分类和牌号	(59)
§3 合金结构钢	(60)
§4 特殊性能钢	(63)
§5 合金工具钢	(66)

第七章 有色金属及其合金	(68)
§ 1 铝及铝合金	(68)
§ 2 镁及镁合金	(74)
§ 3 铜及铜合金	(75)
§ 4 钛及钛合金	(79)
§ 5 轴承合金	(80)
第八章 精密合金	(82)
§ 1 磁性合金	(82)
§ 2 弹性合金	(88)
§ 3 热性合金简述	(89)
§ 4 电性合金简述	(89)
第九章 非金属材料 复合材料	(91)
§ 1 高分子概述	(91)
§ 2 塑料	(92)
§ 3 橡胶	(101)
§ 4 合成纤维	(102)
§ 5 复合材料	(103)

第Ⅱ篇 质量不变工艺 连接工艺

第一章 铸造工艺	(104)
§ 1 概述	(104)
§ 2 砂型铸造工艺、特点	(105)
§ 3 合金的铸造性	(110)
§ 4 常用铸造合金简介	(114)
§ 5 铸件的造型工艺性和结构工艺性	(119)
§ 6 金属型铸造	(123)
§ 7 压力铸造	(125)
§ 8 低压铸造	(127)
§ 9 熔模铸造	(127)
§ 10 离心铸造	(130)
§ 11 壳型铸造	(131)
§ 12 细孔铸造简介	(132)
第二章 锻造工艺	(133)
§ 1 概述	(133)
§ 2 金属的可锻性	(134)
§ 3 锻造方式分类	(137)
§ 4 自由锻造	(137)
§ 5 模型锻造	(139)
§ 6 锻件的结构工艺性	(141)

第三章 板料冲压 体积冲压	(143)
§ 1 概述	(143)
§ 2 分离工序	(144)
§ 3 弯曲	(146)
§ 4 拉深、旋压、成形、滚弯、翻边	(147)
§ 5 冲模的分类和构造	(150)
§ 6 冲压零件的结构工艺性	(151)
§ 7 挤压(冲挤)	(152)
第四章 粉末冶金工艺	(155)
§ 1 概述	(155)
§ 2 粉末冶金生产的工艺流程	(155)
§ 3 粉末冶金材料及其用途	(159)
§ 4 粉末冶金零件的结构工艺性	(162)
第五章 焊接工艺、粘接工艺	(164)
§ 1 概述	(164)
§ 2 熔化焊	(164)
§ 3 压力焊	(177)
§ 4 钎焊	(182)
§ 5 焊接缺陷、应力和变形简述	(185)
§ 6 金属的可焊性 常用焊接金属	(186)
§ 7 焊件结构工艺性	(189)
§ 8 粘接概述	(194)

第Ⅲ篇 互换性与加工质量规范

第一章 概述	(196)
第二章 光滑圆柱结合的公差与配合	(198)
§ 1 基本术语和定义	(198)
§ 2 标准公差系列	(204)
§ 3 基本偏差系列	(206)
§ 4 尺寸至500mm的一般、常用、优先轴、孔公差带和配合	(213)
§ 5 公差与配合的选用	(214)
§ 6 未注公差的极限偏差	(222)
第三章 形位公差	(223)
§ 1 概述	(223)
§ 2 形状公差	(225)
§ 3 位置公差	(229)
§ 4 公差原则	(243)
§ 5 形位公差标准及选用原则	(250)
第四章 表面粗糙度	(257)

§ 1 表面粗糙度对零件功能的影响	(257)
§ 2 表面粗糙度的评定标准	(258)
§ 3 表面粗糙度的选择	(265)
第五章 锥度、角度系列和公差	(266)
§ 1 圆锥的几何参数及标准系列	(266)
§ 2 圆锥公差	(267)
§ 3 角度和斜度的几何参数及其标准系列、公差	(271)
第六章 其它典型零件的公差与配合简介	(273)
§ 1 滚动轴承的公差与配合	(273)
§ 2 键、花键公差与配合简介	(275)
附 ISO14—1982简介	(278)
§ 3 圆柱螺纹的公差与配合简介	(279)
§ 4 渐开线圆柱齿轮、齿轮副的公差与配合简介	(287)
第七章 尺寸链	(299)
§ 1 概述	(299)
§ 2 尺寸链的计算	(301)
§ 3 极值法解尺寸链	(301)
§ 4 概率法解尺寸链	(305)
§ 5 装配尺寸链的其它解法	(308)
第八章 测量技术基础概述	(310)
§ 1 基本知识	(310)
§ 2 测量误差及数据处理	(314)
第九章 无损探伤概述	(323)
§ 1 射线探伤法	(323)
§ 2 超声波探伤法	(323)
§ 3 磁粉探伤法	(324)
§ 4 渗透探伤法	(324)
§ 5 涡流探伤法	(324)

第IV篇 质量减少工艺 装配工艺

第一章 金属切削加工的基本知识	(327)
§ 1 基本定义	(327)
§ 2 刀具材料	(337)
§ 3 金属切削过程	(340)
§ 4 机床代号简介	(367)
第二章 车削加工	(370)
§ 1 概述	(370)
§ 2 车床	(371)
第三章 孔加工	(396)

§ 1 钻削加工	(396)
§ 2 镗削加工	(407)
§ 3 扩孔和铰削	(411)
§ 4 铰孔	(411)
§ 5 拉削加工	(413)
第四章 刨削和铣削加工	(416)
§ 1 刨削和铣削的加工范围	(416)
§ 2 刨削加工	(418)
§ 3 铣削加工	(420)
第五章 磨削加工	(430)
§ 1 磨削的应用范围及运动方式	(430)
§ 2 磨床	(434)
§ 3 砂轮	(439)
§ 4 磨削过程总述	(444)
§ 5 几种高效和高光洁磨削法简介	(452)
第六章 精密加工和光整加工工艺简介	(454)
§ 1 精密加工工艺	(454)
§ 2 光整加工工艺	(455)
第七章 螺纹加工概述	(460)
§ 1 车削螺纹	(460)
§ 2 铣削螺纹	(460)
§ 3 滚压螺纹	(461)
§ 4 磨削螺纹	(462)
§ 5 板牙套丝和丝锥攻丝	(462)
第八章 圆柱齿轮加工概述	(463)
§ 1 铣齿法	(463)
§ 2 滚齿法和插齿法	(464)
§ 3 齿轮的精加工	(472)
第九章 典型零件表面的加工方案	(479)
§ 1 外圆面加工方案	(479)
§ 2 孔加工方案	(480)
§ 3 平面加工方案	(480)
第十章 机床夹具简介	(482)
§ 1 工件的定位	(482)
§ 2 工件的夹紧	(503)
§ 3 夹具的对定	(513)
§ 4 典型夹具实例分析	(514)
第十一章 机械加工精度	(517)
§ 1 影响加工精度的因素	(517)

§ 2 加工误差的统计 分析	(528)
§ 3 工艺系统的 振动	(539)
第十二章 机械加工工艺规程的制订	(554)
§ 1 工艺过程的组成 工艺 规程	(554)
§ 2 工艺规程的 制订	(556)
§ 3 制订工艺规程时应考虑的主要 问题	(558)
§ 4 时间定额和提高生产率的工艺 措施	(568)
第十三章 装配工艺概述	(570)
§ 1 装配 过程	(570)
§ 2 装配 精度	(571)
第十四章 机械结构工艺性	(581)
§ 1 零件的设计结构工 艺 性	(581)
§ 2 零件的机械加工结构工 艺 性	(586)
§ 3 零、部件的装配结构工 艺 性	(591)
第十五章 特种加工工艺	(594)
§ 1 电火花 加工	(594)
§ 2 电化学 加工	(598)
§ 3 电子束 加工	(601)
§ 4 超声波机械 加工	(601)
§ 5 激光 加工	(602)
第十六章 自动线、数控和成组加工工艺概述	(605)
§ 1 自动生产线加工 工 艺	(605)
§ 2 数控加工 工 艺	(606)
§ 3 成组加工 工 艺	(611)
参考资料	(616)

绪 论

任一机械、仪器（表）装置或控制系统的动作机构、支承结构等，都是由许多零件、合件、组件和部件按一定相互关系装配而成。

从原材料制造成诸零件，再经过检验、装配、调试等工序而获得整机产品的全过程，称为生产过程。生产过程包括生产工艺、加工计划和管理等诸方面内容。当前新兴学科之一的“生产系统工程”，就是将上述生产过程中各个组成环节，作为一“系统”来进行科学的全面安排管理，以期获得良好的技术-经济效果。

生产过程中直接改变原材料（或毛坯料）的形状、尺寸、性能而转变成成品零件，继而再装配成整机产品的全过程，称为工艺过程。它包括铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、特种工艺、热处理、表面处理，以及装配等诸过程。工艺过程可概括地定义为被加工对象几何形状尺寸、物理量（如硬度等）、化学量（如表面处理等）、状态信息量（如形状尺寸数据等）等性质的变化。为了产生其中任一性质变化，必须具备“材料”、“能量”、“信息”三要素。图0.0-1是其总的模型图。

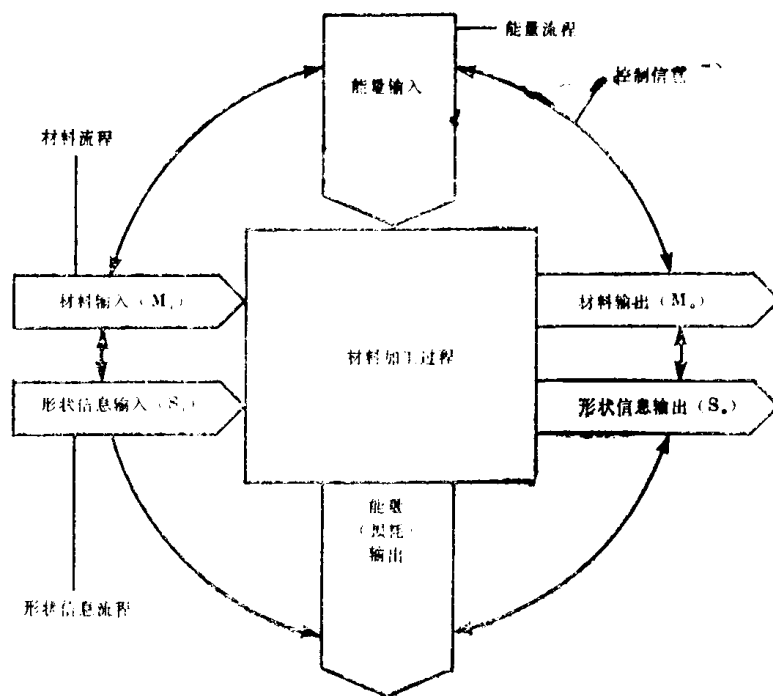


图0.0-1 工艺过程总的模型图

由图0.0-1可知，工艺过程包括材料加工、能量传输和信息变化三过程。它实质上是由材料流程、能量流程和信息流程三大流程所组成。

材料流程中，材料的质量和性能起变化。

质量变化可分为质量不变、质量减少、质量增加三种主要类型（图0.0-2）。质量不变类型中，材料受控而仅仅改变几何形状或性能，但质量不改变或基本不改变，即 $M_o = M_i$ 或 $M_o \approx M_i$ （图a）；质量减少类型中，通过去除部分输入材料而获得形状和尺寸改变，但此最终形状

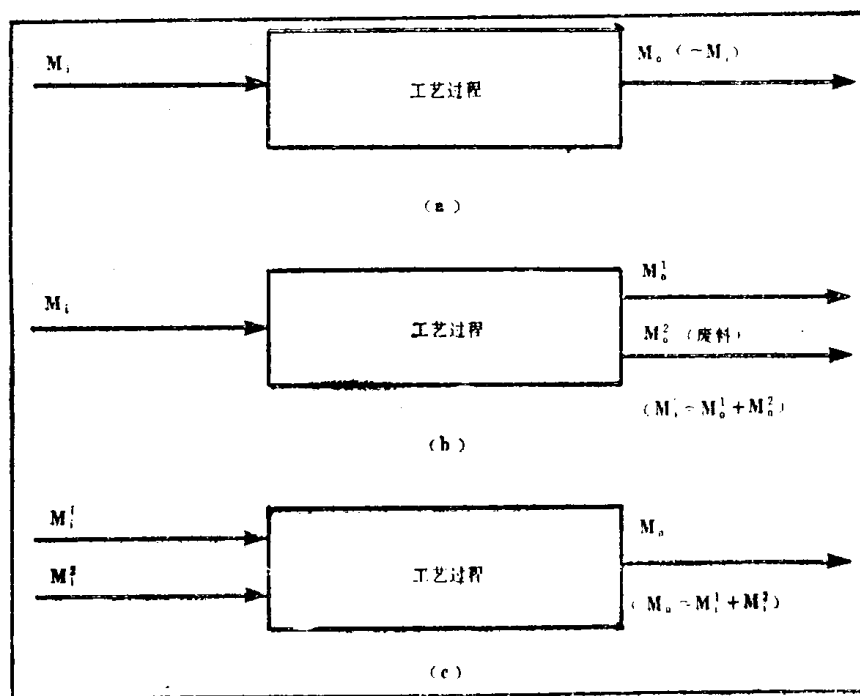


图0.0-2 材料流程三种主要类型

和尺寸必定局限于输入材料的原始几何形体内（图 b）；质量增加流程是把加工所得诸成品零件按一定相互关系要求进行装配或联接、从而获得最终所需的整机产品或部件（图c）。

性能变化可通过各种不同的处理方式（如热处理、冷处理、表面处理、时效处理等）或由工艺方式（如压力加工等）来产生。

能量流程可用“能源→能量传递→能量消耗”这一模式来表示。

信息流程包括形状信息流程和性能信息流程。其简明模式是：

材料初始信息 + 加工过程中施加的形状或性能变化信息 = 最终信息

在形状变化过程中，形状变化信息是由具有一定形状信息量的刀具或模具与被加工材料之间的相对运动而产生的，亦即借助于能量流程把相应于信息流程的形状变化信息加于材料流程的过程。

同样，性能变化信息是借助于能量流程把相应于信息流程的性能变化信息加于材料流程的过程。

三个基本流程在控制信息制约下按一定规律方式相互作用的结果，生产出符合预期要求的产品。

整机产品的质量，除与其本身的设计是否先进、原理结构等是否合理等诸因素有关外，还主要与其组成零件的材料及其处理方式是否选择得恰当，毛坯质量、加工质量的优劣等密切相关。因而从广义角度看，如把“材料及其处理方式”归入工艺过程体系中，则将更全面、完整、有系统地反映出整个工艺过程的实质。

本教材基于上述观点而编写。其内容主要是综合性论述和研究“从选择零件的材料和处理方式开始，经过一系列加工方式而成为成品，继而装配成整机产品”的整个工艺过程中的基本理论和实质性问题。为保持生产系统的完整性，本教材对生产方式、质量控制等诸方面内容亦作了必要的论述。

第 I 篇 工程材料及其处理

第一章 材料的分类和性能

§ 1 材料的分类

从工程技术角度看，通常将材料分为金属和非金属两大类。随着材料科学技术的发展，复合材料的出现已有自成一类的趋势（图1.1-1）。工程中广泛使用金属材料，这主要是由于金属材料基本上具备了工程材料所需要的各种性能。

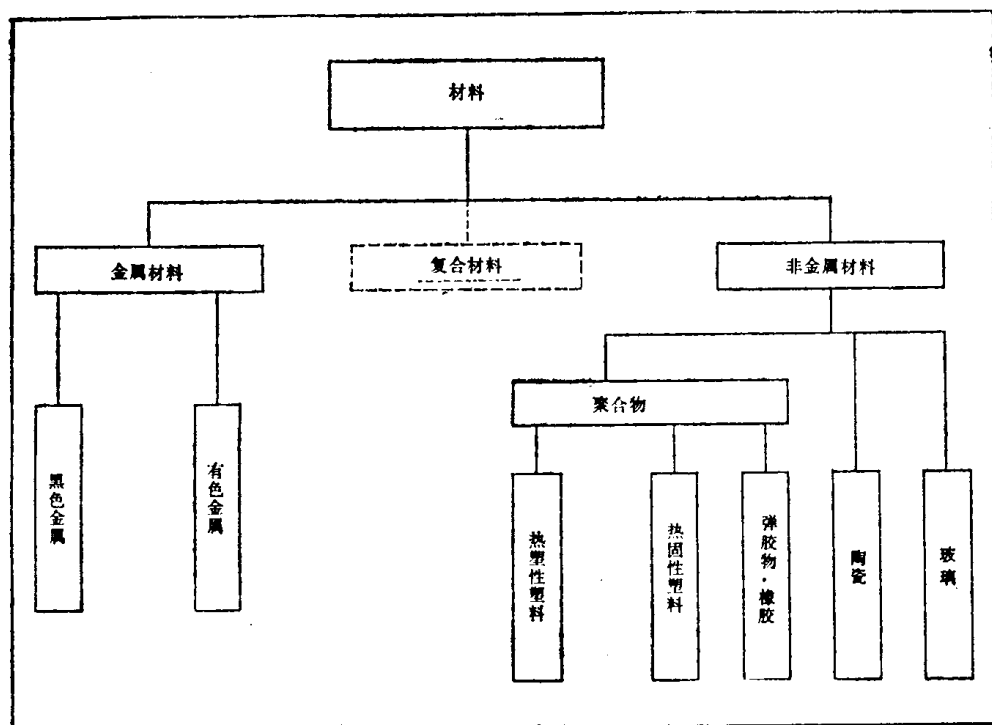


图1.1-1 工程材料的分类

金属材料是金属和合金的统称。工程中使用的金属材料以合金为主，纯金属使用很少。所谓合金，乃是以一种金属为基础（称为基体金属），加入其它金属或非金属元素或化合物，经过熔合而获得的具有金属特性的材料。合金一般比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能，而且相对来说成本较低。只有某些需要特殊性能（如物理性能、化学性能等）的零件才用纯金属制造。

金属材料又可分黑色金属（合金）和有色金属（合金）两大类。以铁为基体金属的铁碳合金称为黑色金属，这在工程中用得最广，常见的钢、铸铁即是其主要成员。除铁碳合金外的金属材料，一般统称为有色金属，其中较常用的是铜及铜合金、铝及铝合金等。

非金属材料包括高分子聚合物、陶瓷、玻璃、矿物质、皮革、木材等。早先，非金属材料

用得较少，一般仅限于制造绝缘零件或适于在某些特殊场合下工作的非承载性零件，如用夹布胶木制造的无声齿轮，电扇中的尼龙齿轮等。随着材料科学技术的迅速发展，非金属材料在工程中的应用已日益增多。

复合材料是近年来出现的新型材料。它实质上是两种或多种材料的组合物。某些复合材料，其刚度、强度、耐蚀性等诸方面都远远优于其组元材料或其它现有优良材料，是一类具有广阔发展前景的独特工程材料。

如何根据零件的技术功能要求来选用合适的材料及相应的处理方式，以满足设计上和工艺上的要求，这是首先要考虑的问题。为此，首先必须对材料的各项性能及其指标等有所了解。

§ 2 材料的性能

材料的性能可分为物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能四大项。

物理性能包括材料的比重、熔点、热胀性、绝缘性、导电性、导热性、导磁性等。

化学性能表现为材料在室温、高温下抵抗各种化学作用的性能，主要抵抗活泼化学介质的能力。如耐酸性、耐碱性、耐盐性、抗氧化性、抗有害气体性、抗水蒸汽性等。

工艺性能指的是材料接受某种工艺方式进行加工的难易程度。按工艺方法分，它包括铸造性、可锻性、可焊性、切削加工性等。

机械性能又称为力学性能，指的是材料承受外力（载荷）的性能，亦即材料在各种不同方式载荷作用下所表现出的抵抗能力。它是衡量工程材料极其重要的指标。它主要包括强度、刚度、硬度、冲击韧性、疲劳强度、弹性、塑性等项。下面仅就材料的机械性能作必要的叙述。

1. 弹性、塑性

材料在外力（载荷）作用下，或多或少地会产生变形。显然，外力越大，变形亦越大。

外力去除（卸荷）后，材料能完全回复到其原来形状的性能，称为弹性。这种随外力消失而消失的变形，称为弹性变形。显然，只有当外力较小时才可能仅产生弹性变形。弹性表征了材料在外力作用下产生弹性变形的能力。

如当外力增加到一定数值后卸荷，则此时材料虽仍具有回复其原来形状的趋势，但只能部分回复（弹性变形），而仍留下一部分不可回复的变形，称为塑性（永久）变形。材料在外力作用下产生塑性变形而自身不致引起破坏的性能，称为塑性。塑性表征了材料在外力作用下产生塑性变形的能力。

为了测定材料的塑性、弹性以及其它一些机械性能，常将被测材料制成图1.1-2所示圆形试样进行静拉伸试验，以取得试样在拉伸变形过程中的拉力-变形伸长量关系曲线——拉伸曲

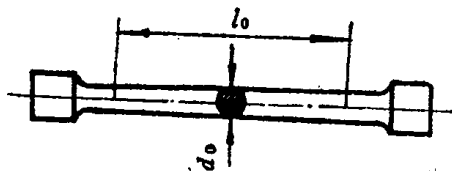


图1.1-2 圆形拉伸试样

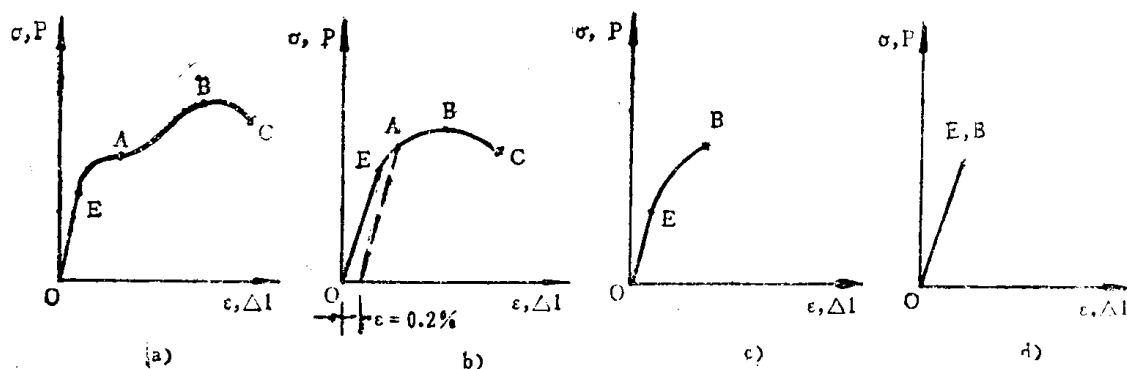


图1.1-3 不同材料的 $P-\Delta l$ 曲线或 $\sigma-\epsilon$ 曲线

a) b) 塑性材料

c) d) 脆性材料

线 ($P-\Delta l$ 曲线)。根据材料性质的不同,可能出现图1.1-3所示四种曲线形式。图a)、b)是塑性材料的拉伸曲线,在拉伸过程中发生较大量塑性变形,并在发生缩颈(曲线最高点B)后拉断(图1.1-4)。其中a)有一段曲线近乎水平,即有明显屈服现象,低碳钢拉伸曲线是其典型例子;b)无明显屈服现象,一般塑性材料的拉伸曲线均呈这种形式,如铝合金、铜合金等。c)、d)均属脆性材料的拉伸曲线形式,断裂前只产生很小量塑性变形(图c)或根本不发生任何塑性变形(图d),即产生所谓脆性断裂(脆断),同时并不产生缩颈。

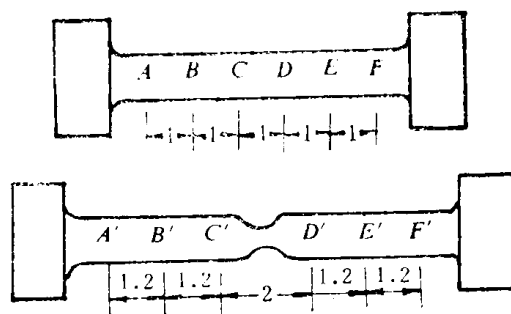


图1.1-4 试样局部出现缩颈及其处局部集中延伸

显然, $P-\Delta l$ 曲线既与试样材料的力学性能有关、又与试样尺寸的粗细长短有关。因而 $P-\Delta l$ 曲线双重地表征了试样材料的力学性能因素和尺寸因素。为消除其尺寸因素的影响而使其能仅仅表征材料力学性能因素,可分别以名义正应力(简称应力) $\sigma (=P/A_0, A_0$ 为试样原始截面积,其值等于 $\pi d_0^2/4$)和应变 $\epsilon (= \Delta l/l_0, \Delta l = l - l_0)$ 来取代拉力 P 和变形伸长量 Δl 。假设试样材料具有连续性、均匀性和各向同性,则 P 与 σ 、 Δl 与 ϵ 显然都存在线性关系。故 $\sigma-\epsilon$ 曲线(应力-应变曲线)与 $P-\Delta l$ 曲线形式相同,仅单位不同而已(图1.1-3)。经此转换, $\sigma-\epsilon$ 曲线排除了材料的尺寸因素而可达到仅仅表征材料力学性能的目的。

塑性材料的 $\sigma-\epsilon$ 曲线(图1.1-3a, b)经E、A、B、C诸点后断裂。E点相应的 σ 值称为材料的弹性极限,以 σ_e 表之,此表示 σ 值不超过 σ_e 值时,材料处在弹性范围内,此时如卸荷,则理论上试样将沿EO线回复到原长,不产生任何塑性变形。过E点开始产生小量的塑性变形。到A点后塑性变形剧增。A点相应的 σ 值称为材料的屈服极限,以 σ_s (或 σ_y)表之;此意味着 σ 值超过 σ_e 值后,材料开始产生塑性变形,而 σ 值增大到 σ_s 值时,材料似乎已失去变形抵抗力而处于理想塑性状态,发生屈服,产生大量塑性变形;如在E点后任一点卸荷,则试样将回复不到原长而产生塑性变形(一般沿平行于EO线回来)。对屈服现象不明显的塑性材料,则取卸荷后将产生塑性应变为0.2%的曲线上那一点作为A点(图1.1-3b),此点相应的值以 $\sigma_{0.2}$ 表之(即相当于 σ_s)。B点相应的 σ 值称为材料的断裂极限,以 σ_b 表之;此说明 σ 值增大到 σ_b 值时,试样将在局部出现缩颈而被拉断(图1.1-4)。

脆性材料经弹性变形阶段后,或是经很小量塑性变形阶段(图1.1-3c)、或是不经塑

性变形阶段（图1.1-3d），拉到B点断裂。

材料的塑性通常用延伸率 δ 或断面收缩率 ψ 来表示。

延伸率 δ 是试样拉断后的伸长量 Δl_f 与原始长度 l_0 之比。即

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

式中 l_f 试样拉断后的长度。

标准试样有不同的 l_0 值（图1.1-2），因此延伸率也有 δ_{10} （长试样 $l_0 = 10d_0$ ）与 δ_5 （短试样 $l_0 = 5d_0$ ）之分。由于缩颈处会出现材料局部集中延伸，而缩颈又仅仅出现于试样的局部，故同一材料的 δ_5 值总比 δ_{10} 值大。如图1.1-4所示，如将未拉伸前的试样作A、B、C、D、E、F五个等距标记，拉断后标记各为A'、B'、C'、D'、E'、F'，测量发现，A'B'、B'C'、D'E'、E'F'、诸段各发生均匀增长，设其延伸率均为20%；唯独C'D'段因出现缩颈而出现局部集中延伸，设其延伸率达到100%，其中20%为均匀延伸，80%为局部集中延伸。

设选取试样标距为AF，则试样延伸率将为

$$\delta = \frac{6.8 - 5}{5} \times 100\% = 36\%$$

设选取试样标距为BE，则试样延伸率将为

$$\delta = \frac{4.4 - 3}{3} \times 100\% = 47\%$$

由此可见，同一材料长试样的延伸率总较短试样的要小。标准试样的 δ_{10} 当然比 δ_5 小。

断面收缩率 ψ 是试样缩颈处断面收缩量与原始截面积 A_0 之比。即

$$\psi = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\% = \frac{d_0^2 - d_f^2}{d_0^2} \times 100\%$$

式中 A_f 试样缩颈截面积

d_0 试样原始直径

d_f 试样缩颈处直径

显然， δ 或 ψ 值越大，塑性越高。

工程材料常按塑性指标值大小分为塑性材料和脆性材料两大类。一般 $\delta \geq 5\%$ 称为塑性材料， $\delta < 5\%$ 称为脆性材料。良好的塑性是材料进行塑性变形加工的必要条件。

材料弹性指标的涉及范围较广。从机械性能角度看，弹性极限 σ_e 值和疲劳强度 σ_{-1} 值（见2.6）越大，弹性模量 E 值（见2.3）越小，则弹性越高。

2. 强度

强度是材料在外力作用下抵抗变形和断裂的性能，亦即抵抗外力而不致失效的能力。它表征材料的承载能力。

一般所称的强度，指的是材料承受静载荷或平稳载荷的能力而言。

按载荷作用方式的不同，强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗扭、抗剪五种。工程上常用的强度指标是屈服强度、抗拉强度或抗压强度、抗弯强度。

由于塑性材料都存在屈服现象，故常以屈服强度作为其强度指标。

对某些在拉伸曲线中存在明显屈服现象的塑性材料（图1.1-3a），以A点的 σ_s 作为其强度指标；不存在明显屈服现象时（图1.1-3b），上已述及，以试样产生0.2%塑性应变时的应力值 $\sigma_{0.2}$ 作为其强度指标。

对某些高精零件，有以 $\sigma_{0.01}$ 、 $\sigma_{0.001}$ 、甚至以 σ_e 作为其强度指标的。

脆性材料由于塑性很低、甚至根本无塑性而只能以断裂极限 σ_b 作为其强度指标。但需要指出的是，脆性材料的抗压强度比抗拉强度要大得多，即抗压不抗拉，铸铁是其典型例子。

显然， σ_s 、 $\sigma_{0.2}$ 或 σ_b 值越大，则强度越高。强度单位是MPa（兆帕），即N/mm²

图1.1-3b是塑性材料 σ - ϵ （名义应力-名义应变）曲线的典型形式。如果将其坐标分别以真应力和真应变表示时，则得出的 σ - ϵ 曲线如图1.1-5的上部曲线所示。真应力-应变曲线的特点是应力随着应变量的增加而升高，这说明材料在变形过程中的加工硬化现象，它能更正确地反映出材料的物理本质。曲线（屈服点以上）的陡度反映了该材料的加工硬化程度（倾向）的强弱。这一曲线可用下式表之

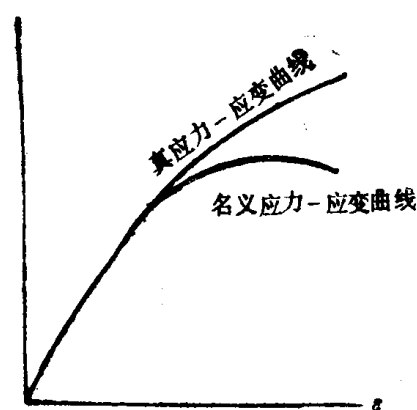


图1.1-5 真应力-应变曲线与名义应力-应变曲线的对比

$$\sigma = K \epsilon^n$$

式中 σ 真应力

ϵ 真应变

n 应变硬化（加工硬化）系数

K 材料常数

应变硬化系数 n 的大小，反映了材料抵抗进一步发生塑性变形的能力。在极限情况下，当 $n = 1$ 时，说明材料处于理想弹性状态； $n = 0$ 时，表示材料处于理想塑性状态。一般材料的 n 值均介于0与1之间。表1.1-1为几种常见工程材料的应变硬化系数值。表中可见，不锈钢的应变硬化系数较大，合金的 n 值一般比纯金属大，纯金属中面心立方晶格的金属比体心立方晶格的要大。 n 值越大，表明在同样的应变值下，材料的强度升高得更快，加工硬化倾向越大。

在某些场合下，例如航空上，要求零件强度高而重量轻，此时应考虑其比强度值。比强度就是单位重量材料所具有的强度值，即材料强度 σ_b 与其比重 γ 之比值（ σ_b/γ ）。

3. 刚度

材料在外力作用下抵抗产生弹性变形的能力，称为刚度。一般设计承载零件时，除考虑强度外，还应考虑其刚度。因为零件承载时过大的弹性变形亦会导致功能的失效。

由图1.1-3可知，在弹性变形范围（OE）内， σ 与 ϵ 成正比，即 $\sigma \propto \epsilon$ ， $\sigma = E \epsilon$ 。E称为材料的拉伸弹性模量，或简称弹性模量单位为MPa。

表1.1-1 几种材料的应变硬化系数

材 料	应变硬化系数 n
不锈钢	0.45~0.55
黄 铜	0.35~0.40
铜	0.30~0.35
铝	0.15~0.25
铁	0.05~0.15

材料的刚度视 E 值大小而定。 E 值越大，刚度越大。因此常将材料的弹性模量值作为衡量其刚度的指标。

常用各类钢的 E 值大致相等，高达 $2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

与比强度类似，比刚度就是单位重量材料所具有的弹性模量值，亦即是材料的弹性模量 E 对其比重 γ 之比值（ E/γ ）。

4. 硬度

材料抵抗比其自身更硬的物体压入其表面的能力，称为硬度。它表征材料在一个小体积范围内抵抗弹性变形、塑性变形、断裂破坏的能力，是材料性能的一个综合物理量。

一般而言是硬度越高，耐磨性越好。故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。

测定硬度常用布氏法和洛氏法，较少用维氏法和肖氏法。

(1) 布氏硬度HB

在布氏硬度计上进行，原理是压入法。用一定直径 D 的淬火钢球作压头，在一定压力 P 下，将钢球垂直地压入被测材料的表面，保持一定时间后卸荷。此时被测表面将出现直径为 d 的压痕（图1.1-6）。

布氏硬度值即是压痕表面所承受的平均应力值。即

$$HB = \frac{0.102P}{(\pi D/2) [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

式中 HB 布氏硬度值；

P 所加外力，N（牛顿）；

D 压球直径，mm；

d 压痕直径，mm；

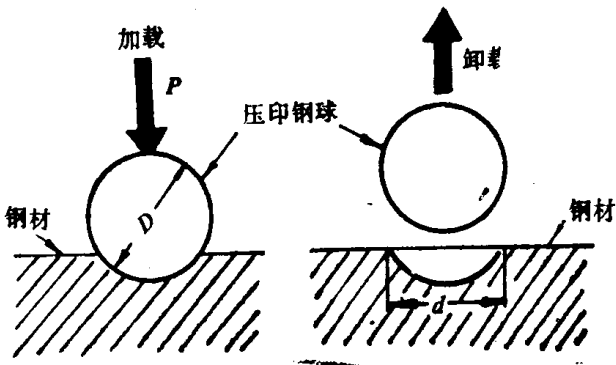


图1.1-6 布氏硬度测定法原理示意图

表1.1-2 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度范围值 (HB)	试样厚度 (mm)	载荷 P 与钢球直径 D 的关系	钢球直径 D (mm)	载荷 P (N)	载荷保持时间(s)
黑色金属	140~450	6~3	$P = 294D^2$	10.0	29400	10
		4~2		5.0	7350	
		<2		2.5	1837.5	
	<140	>6	$P = 98D^2$	10.0	9800	10
		6~3		5.0	2450	
		<3		2.5	612.5	
有色金属	>130	6~3	$P = 294D^2$	10.0	29400	30
		4~2		5.0	7350	
		<2		2.5	1837.5	
	36~130	9~7	$P = 98D^2$	10.0	9800	30
		6~3		5.0	2450	
		<3		2.5	612.5	
	8~35	>6	$P = 24.5D^2$	10.0	2450	60
		6~3		5.0	612.5	
		<3		2.5	153	