

工程材料 及机械制造基础

曾晔昌 陈文明 李风昌 主编

机械工业出版社

工程材料及机械制造基础

曾晔昌 陈文明 李凤昌 主编



机械工业出版社

内 容 简 介

《工程材料及机械制造基础》内容由三篇构成。第一篇 工程材料：重点阐明常用金属材料的组织、性能、常用热处理工艺及材料应用；介绍常用非金属材料的分类、性能特点和应用。第二篇 热加工工艺基础：重点阐明铸造、压力加工和焊接的基本原理与常用工艺方法；介绍毛坯选择及质量检验问题。第三篇 机械加工工艺基础：重点阐明切削加工的基本原理、金属切削机床及其应用、表面加工及工艺过程的有关问题。

本教材适用于高等工业学校机械和近机类各本科专业，也可用于专科学校和成人高校，以及工程技术人员的参考书。

工程材料及机械制造基础

曾晔昌 陈文明 李凤昌 主编

责任编辑：董连仁、孙祥根

封面设计：李 芬

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市同兴印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本787×1092 1/16·印张35·字数258千字

1990年1月北京第一版·1990年1月北京第一次印刷

印数00,001—6000·定价·13.2元

ISBN 7-111-01984-9/TB·92 (X)

前 言

本教材依据高等工业学校《工程材料及机械制造基础》课程教学基本要求，以及有关院校机械类各专业的实际授课情况编写而成。

本书内容由：工程材料（第一至第六章）、热加工工艺基础（第七至第十章）、机械加工工艺基础（第十一至第十六章）三篇构成。研究常用机械零件在材料使用及其选择、毛坯制造和机械加工方面的基本原理、工艺方法及结构工艺等问题。在本书编写过程中，力求突出常用材料、基本成形和加工工艺的阐述。为加强能力的培养，编入了最基本的数据表格，供工艺设计时选用。此外，各章都列有复习思考题。书中的术语、单位、符号力求贯彻国家新颁标准。

本书由曾晔昌、陈文明、李凤昌任主编。执笔者有：吉飒（第一、二、十四、十五、十六章），陈文明（第三、十一、十二、十三章），鲍雪琳（第四、七章、§10-1），高殿玉（第五、六章），李凤昌（绪论、§8-2、第九章、§10-2）。王树敏提供了第八章等部分内容的初稿。

河北工学院王健安主审第一篇工程材料；晋学曾主审第二篇热加工工艺基础和第三篇机械加工工艺基础。尹国珍审阅了第二篇，马贵成审阅了第三篇。

在本书第一篇编写过程中，河北机电学院王万祥给予了有益的指导；张双杰参与了第八章的修改工作；金工教研室全体同志参加了文稿内容的讨论，谨表谢意。

在审订编写大纲期间，河北工学院、唐山工程技术学院、河北化工学院、华北石油职工大学、石油管道业余职工大学、河北广播电视大学等单位的有关老师，提出了不少宝贵意见。对此，表示衷心的感谢！

编者水平所限，书中缺点和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

1989年5月

于河北机电学院

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工程材料

第一章 工程材料的性质	3	二、固溶体	23
§ 1-1 机械零件的受力与变形	3	三、金属化合物	25
一、载荷	3	§ 2-5 二元合金相图	26
二、应力与变形	4	一、二元合金相图的建立	21
三、弹性变形与塑性变形	4	二、二元匀晶相图	27
§ 1-2 金属材料的机械性能	4	三、二元共晶相图	28
一、材料的强度指标	5	§ 2-6 铁碳合金相图	33
二、材料的刚度指标	6	一、纯铁	33
三、材料的塑性指标	7	二、铁碳合金的基本组织	34
四、冲击韧性	7	三、铁碳合金相图	35
五、硬度	8	四、Fe-Fe ₃ C相图的应用	43
六、疲劳强度	10	复习思考题	44
§ 1-3 金属材料的物理、化学 及工艺性能	11	第三章 钢的热处理	47
一、物理性能	11	§ 3-1 钢在加热时的组织转变	47
二、化学性能	11	一、奥氏体的形成	47
三、工艺性能	11	二、奥氏体晶粒的长大	49
复习思考题	12	§ 3-2 钢在冷却时的组织转变	50
第二章 金属和合金的结构		一、过冷奥氏体的等温转变	50
与结晶	13	二、奥氏体在连续冷却过程中 的转变	57
§ 2-1 金属的晶体结构	13	§ 3-3 钢的普通热处理	59
一、晶体与晶格	13	一、钢的退火	59
二、三种典型的晶格	14	二、钢的正火	61
三、晶面和晶向	16	三、钢的淬火和回火	61
§ 2-2 多晶体结构与晶体缺陷	18	§ 3-4 钢的表面热处理	67
一、多晶体结构	18	一、表面淬火	67
二、晶体缺陷	18	二、化学热处理	68
§ 2-3 金属的结晶与铸锭	19	三、表面热处理工艺的选用	72
一、结晶的概念	19	§ 3-5 热处理常用设备的结构、 型号及使用范围	72
二、结晶过程	20	一、箱式电炉	72
三、影响晶核形成和长大的因素	21	二、井式电阻炉	74
四、铸锭组织	21	三、盐浴炉	74
§ 2-4 合金的结构	22	四、连续式炉	77
一、合金中的相	23		

五、高、中频感应加热装置	77	复习思考题	130
复习思考题	78	第五章 有色金属及其合金	132
第四章 钢铁材料	80	§5-1 铝及铝合金	132
§4-1 钢铁的生产	80	一、工业纯铝	132
一、生铁的冶炼	80	二、铝合金	132
二、钢的冶炼	83	§5-2 铜及铜合金	138
三、镇静钢、半镇静钢与沸腾钢	86	一、纯铜	138
四、钢的分类和命名	88	二、铜合金	138
§4-2 碳钢	89	§5-3 滑动轴承合金	143
一、碳钢中常存杂质元素对 钢性能的影响	89	一、对轴承合金性能的要求	143
二、碳钢的编号及用途	90	二、轴承合金的分类、牌号和 基本组织	144
§4-3 合金钢	93	三、锡基轴承合金	144
一、合金元素在钢中的作用	94	四、铅基轴承合金(铅基巴氏 合金)	145
二、合金结构钢	97	五、铜基轴承合金	145
三、合金工具钢	104	六、铝基轴承合金	145
四、特殊性能钢	108	复习思考题	146
§4-4 粉末冶金材料	112	第六章 非金属材料	147
一、粉末冶金工艺过程	113	§6-1 高分子合成材料	147
二、粉末冶金的应用	113	一、高分子合成材料的聚态结构	147
§4-5 铸铁	115	二、高分子化合物的基本性质	149
一、铸铁的成分、组织和性能 特点	115	三、几种常用的高分子合成材料	150
二、铸铁的石墨化过程	116	§6-2 陶瓷材料	158
三、普通灰铸铁	117	§6-3 复合材料	160
四、高强度灰铸铁	122	复习思考题	162
五、特殊性能铸铁	127		
§4-6 铸钢	129		

第二篇 热加工工艺基础

第七章 铸造	163	五、低压铸造	180
§7-1 概述	163	六、陶瓷型铸造	181
§7-2 砂型铸造	163	七、连续铸造	182
一、造型材料	164	八、铸造方法的选择	182
二、造型方法	166	§7-4 合金的铸造性能	183
三、制芯方法	171	一、合金的流动性	183
四、造型机和造芯机的型号	173	二、合金的收缩性	187
§7-3 特种铸造	174	三、铸件的铸造内应力、变形 与裂纹	192
一、熔模铸造	174	§7-5 常用铸造合金铸件的生产	196
二、金属型铸造	176	一、铸铁件的生产	196
三、压力铸造	178	二、铸钢件的生产	200
四、离心铸造	179		

三、铸造铝及铜合金铸件的生产	201	二、零件的轧制	279
§7-6 砂型铸造工艺设计	203	复习思考题	282
一、铸造工艺设计的依据	204	第九章 金属的焊接	286
二、铸造工艺设计的内容和编制程序	204	§9-1 概述	286
三、铸造工艺图的绘制	205	§9-2 熔焊的基本概念	287
§7-7 铸件的结构工艺性	209	一、熔焊焊缝的形成	288
一、铸件结构工艺性的概念	209	二、焊接接头金属的组织与性能	289
二、砂型铸件的结构设计	210	三 焊接电弧	292
复习思考题	216	四、焊接电源	294
第八章 金属压力加工	219	五、电焊条	295
§8-1 概述	219	六、焊接应力与变形	298
一、型材生产	219	§9-3 熔焊工艺	308
二、机械零件毛坯及成品生产	221	一、手工电弧焊	308
§8-2 金属的塑性变形	221	二、埋弧自动焊	310
一、金属塑性变形的基本概念	221	三、气体保护焊	312
二、金属的冷变形、热变形和温变形	225	四、等离子弧焊接与切割	315
三、金属材料的可锻性	226	五、电渣焊	316
四、锻比	228	六、真空电子束焊接	317
五、金属的加热和锻造温度范围	230	七、激光焊接	318
六、锻件的冷却与热处理	232	八、气焊与气割	319
§8-3 加热及锻压设备简介	233	§9-4 压焊与钎焊	322
一、加热设备	233	一、电阻焊	322
二、锻压设备	235	二、摩擦焊	324
§8-4 锻压生产用原材料及其准备工作	243	三、钎焊	324
一、锻压用原材料	243	§9-5 常用金属材料的焊接	326
二、锻压生产的准备工作	243	一、金属材料的焊接性	326
§8-5 锻件的生产	246	二、碳钢的焊接	328
一、自由锻	246	三、低合金高强度钢的焊接	329
二、锤上模锻	253	四、铸铁的焊补	330
三、胎模锻	258	五、铝、铜及其合金的焊接	332
§8-6 板料冲压	262	§9-6 焊接结构设计	333
一、冲压加工的特点	262	一、焊接结构材料的选择	333
二、板料冲压的基本工序	262	二、焊接方法的选择	334
三、冲模	270	三、焊接接头型式设计	334
§8-7 压力加工零件的结构工艺性	272	四、焊接结构工艺性	335
一、自由锻件的结构工艺性	272	五、焊接结构工艺设计举例	336
二、模锻件的结构工艺性	272	复习思考题	337
三、冲压件的结构工艺性	274	第十章 常用机械零件的材料及毛坯的选择与质量检验	341
§8-8 压力加工新工艺简介	278	§10-1 常用机械零件的材料及毛坯的选择	341
一、精密模锻	278	一、机械零件材料及毛坯选择	

的一般原则	341
二、齿轮类零件的选材	343
三、轴类零件的选材	345
四、箱体类零件的选材	346

§10-2 毛坯质量检验	347
一、检验的分类	347
二、常用的检验方法	347

第三篇 机械加工工艺基础

第十一章 金属切削机床及其应用

其应用	349
§11-1 机械加工概述	349
一、金属切削加工的实质和分类	349
二、零件的加工质量	349
三、金属切削加工的发展	353
§11-2 金属切削机床的分类及编号	354
一、金属切削机床的分类	354
二、金属切削机床型号的编制方法简介	355
§11-3 金属切削机床的运动和传动	359
一、金属切削机床的运动	359
二、金属切削机床的传动	359
§11-4 车床	365
一、普通车床	365
二、其他车床的性能和用途	369
§11-5 其他通用机床	372
一、钻床和镗床的性能及用途	372
二、铣床	373
三、刨床和拉床的性能及用途	381
四、磨床的性能及用途	385
§11-6 机床的自动化简介	388
一、六角自动车床	388
二、液压仿形车床	388
三、数控机床	390
四、微型计算机控制机床	390
§11-7 组合机床	392
复习思考题	394

第十二章 金属切削加工的基础

知识	395
§12-1 切削运动和切削要素	395
一、切削运动	395
二、切削要素	395
三、铣削要素	396
§12-2 刀具	398

一、刀具的种类	398
二、刀具的几何角度	403
§12-3 金属的切削过程	416
一、切屑的形成过程及切屑的种类	416
二、积屑瘤	418
三、已加工表面的加工硬化	419
§12-4 切削力和切削功率	419
一、切削力	419
二、切削功率	422
三、铣削力	422
§12-5 切削热和切削温度	423
一、切削热的来源和传出	423
二、切削温度及其影响因素	424
三、切削液	425
§12-6 刀具的磨损和耐用度	425
一、刀具磨损的形式	425
二、刀具的磨损过程	426
三、刀具磨损的原因	426
四、刀具耐用度的评价方法	427
五、影响刀具寿命的因素	427
§12-7 生产率和提高生产率的途径及工件材料的切削加工性	428
一、生产率	428
二、提高生产率的途径	429
三、工件材料的切削加工性	430
复习思考题	430

第十三章 各种加工方法综述

§13-1 外圆表面的加工	433
一、外圆表面的加工方法和特点	433
二、外圆表面加工方法的选用	438
§13-2 内圆表面的加工	439
一、孔的加工方法和特点	440
二、孔加工方法的选用	448
§13-3 平面加工	450
一、平面加工方法和特点	450

二、平面加工方法的选用	456	§15-3 夹具	499
§13-4 其它形状表面的加工	457	一、机床夹具的分类	499
一、锥面加工	457	二、夹具的结构	500
二、螺纹加工	461	§15-4 典型零件机械加工工艺	
三、回转成形面的加工	465	过程举例	501
四、铣螺旋槽	465	一、轴类零件	501
五、凸轮表面的加工	467	二、盘套类零件	504
复习思考题	470	三、箱体零件	508
第十四章 齿轮加工	473	复习思考题	512
§14-1 渐开线的性质	473	第十六章 机械加工零件的结	
一、渐开线	473	构工艺性	514
二、渐开面及渐开线螺旋面	474	§16-1 零件结构工艺性的基本	
§14-2 圆柱齿轮	474	概念	514
一、直齿圆柱齿轮与齿条	475	§16-2 切削加工对零件结构工	
二、斜齿圆柱齿轮	477	艺性的要求	515
§14-3 圆柱齿轮的精度	478	一、零件结构应使加工方便	515
一、精度等级	478	二、零件结构应便于提高切削效率	518
二、齿轮副侧隙	478	三、减少切削加工量	520
§14-4 齿轮加工工艺	479	§16-3 切削加工零件结构工艺	
一、齿坯的加工	479	性举例	521
二、用仿形法加工齿轮	479	一、轴类零件	521
三、用展成法加工齿轮	480	二、箱体零件	522
§14-5 齿轮的精加工	482	复习思考题	525
一、剃齿	482	附表	529
二、珩齿	483	附表 1 几种合金的铸造收缩率	529
三、磨齿	483	附表 2 一级精度灰铸铁件的机械加工	
§14-6 少切削和无切削齿轮		余量(JZ67-62)	530
加工	484	附表 3 二级精度灰铸铁件的机械加工	
一、精密模锻锥齿轮	484	余量	530
二、冷锻齿轮	484	附表 4 三级精度灰铸铁件的机械加工	
三、粉末冶金锻造齿轮	484	余量	531
复习思考题	485	附表 5 一级精度灰铸铁件的尺寸	
第十五章 切削加工生产过程	486	偏差	532
§15-1 工艺过程的基本概念	486	附表 6 二级精度灰铸铁件的尺寸	
一、生产过程及工艺过程	486	偏差	532
二、生产类型	486	附表 7 三级精度灰铸铁件的尺寸	
三、工序	487	偏差	532
§15-2 零件的安装定位	489	附表 8 铸件模样的拔模斜度	533
一、基准的概念	489	附表 9 垂直芯头高度 h 和 h_1	534
二、粗基准的选择	492	附表 10 垂直芯头的斜度 α	535
三、精基准的选择	493	附表 11 垂直芯头与芯座之间的间隙 s	535
四、定位的基本原则(六点原则)	496	附表 12 水平芯头的长度 l	535
五、夹紧的基本要求	497	附表 13 水平芯头的斜度及间隙	536

附表14	压环、防压环和集砂槽尺寸	536	肩齿轮及凸肩法兰盘类锻件	544	
附表15	铸造内圆角	537	附表23	锤上模锻件机械加工余量 与公差	545
附表16	铸造外圆角	538	附表24	锤上模锻件长宽尺寸公差	545
附表17	台阶和凹档自由锻造锻出 条件	538	附表25	按锻锤吨位确定的模锻件余量 与公差	545
附表18	自由锻 端部法兰或中间法兰 的最小锻出宽度	540	附表26	铸铁件及铸钢件机械加工余量 (金属模)	546
附表19	自由锻 机械加工余量与公差 光圆轴类锻件	541	附表27	热轧钢轴类外圆的机械加工 余量	546
附表20	自由锻 机械加工余量与公差 单台阶轴类锻件	542	附表28	轴切断余量	547
附表21	自由锻 机械加工余量与公差 多台阶轴类锻件	543	附表29	轴在粗车外圆后、精车外圆的 加工余量	547
附表22	自由锻 机械加工余量与公差凸		附表30	轴磨削的加工余量	548
			参考资料		549

绪 论

《工程材料及机械制造基础》是高等工业学校机械类专业必修的综合性技术基础课程。

本课程由：工程材料、热加工工艺基础、机械加工工艺基础三部分内容构成，实质上是因教学改革需要而形成的三门课程的有机组合，涉及专业面宽且与生产实际有着密切的联系。它不仅为学习后继课程奠定必要的技术基础，而且为学生毕业后从事技术（或管理）工作，提供了较为广泛的解决生产实际问题的潜在能力和起步点。

工程材料（第一篇）部分：重点阐明了常用金属材料的组织、性能、热处理工艺方法和应用范围，由此达到合理选用金属材料及其相应的热处理工艺的目的；此外，对于常用非金属材料（工程塑料、橡胶和陶瓷）的分类、性能特点及应用也做了必要的介绍。

热加工工艺基础（第二篇）部分：基本内容由铸造、压力加工、焊接三大块组成。三类工艺方法当中，各自分别以砂型铸造、自由锻造和手工电弧焊为重点（或主线），阐明其基本原理、工艺性能和影响产品质量的因素。以期初步解决：选择毛坯材料及其成形方法；制订简单件的铸造工艺图和锻件图；合理地考虑铸件、锻件和焊接结构设计中的结构工艺问题。本篇在结束前还集中叙述了材料的毛坯选择的有关原则，做为前两篇与此有关内容的综合。

机械加工工艺基础（第三篇）部分：通过切削加工基本原理、切削机床及其应用、各种表面加工、机械加工工艺过程基本概念等主要内容的叙述，在熟悉常用刀具结构、特点、应用和主要设备的工作原理的基础上，突出解决：合理选用加工方法；制订较简单零件的机械加工工艺过程；初步分析判断机械加工零件的结构工艺性和生产经济性等问题。

除上述重点内容以外，本教材对于其它的一般工艺方法，对于新工艺、新技术、特种加工的基本原理、特点和应用也做了一定程度的介绍。

本教材力图适应在教学过程中，既突出重点内容，又兼顾知识面的介绍，而对于先进技术发展水平也有所体现的指导思想。

本课程实践性强，必须在进行过全面的“金工实习”的前提下进行。教学过程中，通过辅以影视教学或典型工厂参观来扩展工艺知识面，通过充实和完善教学实验，安排课堂讨论和典型作业来保证重点内容的教学质量。

根据历年来毕业生的反馈信息，以及社会上对于人材的需求，拓宽专业面已经成为一种趋势。保证和提高包括工程材料，铸造、压力加工、焊接和切削加工五个专业领域基本内容的《工程材料及机械制造基础》课程的教学质量，实质上是在很大程度上满足着这种需求。在不少院校已列为多种专业实施工程教育的重点课程。为此，概括来说要抓住本课程的两方面内容：一是各篇中属于基本原理的内容，用以建立起明确而清晰的基本概念；二是突出三个能力，即选择材料和毛坯的初步能力、选择工艺方法和进行一定“工艺设计”的初步能力和“结构设计”合理性的初步分析判断能力，以构成学习本课程落脚点。对于不同的工艺方法和众多的零件结构，可贵的是获得具备上述能力的正确思路与原则。实践证明，利用典型作业去定量地解决一些问题，确是强化能力培养的手段之一，例如：同学自己利用本教材后面的有关附表完成铸造工艺图或制定机械加工工艺过程，无疑是类似于实际工作的预演；进

行适当的课堂讨论，是解决课程难点、确立基本概念、形成正确思路的有效方法，例如：铁-碳平衡图的理解，铸造工艺及结构分析，焊接结构及工艺设计等有关内容。

针对机械类不同的专业，使用本教材时在内容上要有所取舍，例如：对于某些管理专业，材料、铸、压、焊、切五部分内容都属于结束课程，应按“教学基本要求”分配学时；对于材料专业，工程材料部分应压缩至满足本课程后部分内容的基本需要为限，而相应加强铸、压、焊、切的教学内容；对于切削加工工艺类专业则应加强材料及毛坯制造部分的内容。如此等等。

追溯历史，我国曾取得光辉灿烂的冶金与机械制造成就，也有过因闭关锁国以及三座大山压迫而导致长期停滞不前的痛苦经历。解放以后，自制万吨水压机的问世，人造卫星的上天，核潜艇水下发射运载火箭试验成功等等，标志着我国材料与机械制造业、高科技领域的若干方面取得了显著的进展。高楼不可能建立在沙滩之上，知识需要循序渐进地去积累。在当今科学技术飞速发展的时代，任何新的成就都是科学技术综合应用的结果。仅仅掌握本专业知识而不熟悉与其有关的其它专业领域的一定内容，很难做好本职工作。因此，对于正在接受工程教育以及已经从事工程技术工作的读者，本课程将会提供必要的技术基础，而使诸位感到有所收益。

第一篇 工程材料

第一章 工程材料的性能

§ 1-1 机械零件的受力与变形

一、载荷

机器以及其中每个零件在工作中都要传递一定的力,也就是说他们都要承受一定的载荷。例如,机车牵引装满货物的车箱,螺栓拧紧后所受的拉力,机床所承受的切削力等。因此,制造零件所用的材料应具备承受载荷而不破坏的能力。

图1-1示出不同的机件、构件所承受的载荷。可以看出,载荷是各种各样的。按照载荷作用的性质可将其分为静载荷和动载荷。

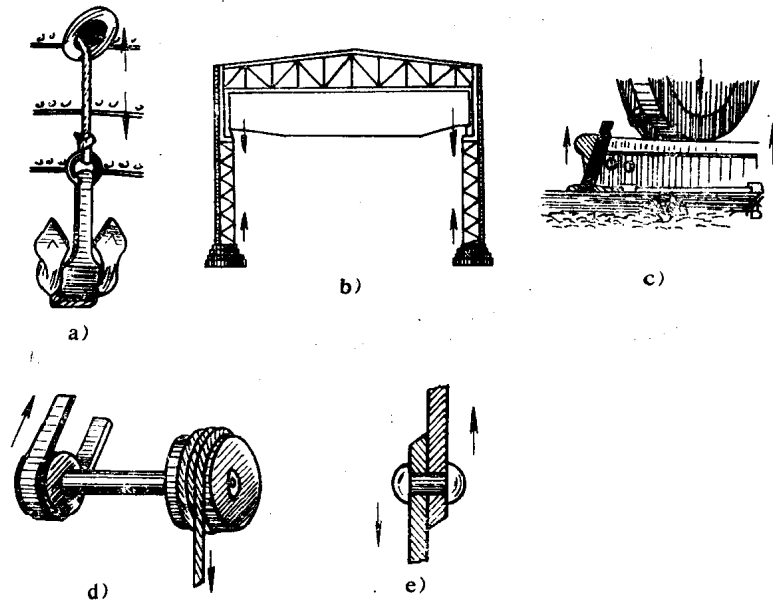


图 1-1 常见机件(构件)所承受的载荷

a) 拉力 b) 压力 c) 弯矩 d) 扭矩 e) 剪切力

(一) 静载荷

静载荷是逐渐地、缓慢地作用在零件上的力。例如,床头箱、尾架等对机床床身的压力,悬挂的重物对悬挂绳索的拉力等。

作用在机器上的静载荷,有拉力、压力、弯矩、扭矩和剪切力等,如图1-2所示。

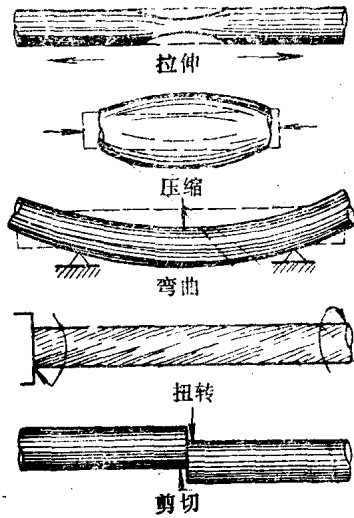


图 1-2 作用在零件上的各种静载荷

(二) 动载荷

动载荷大致可分为两类，一类是冲击载荷，例如，空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷，这类载荷是在一瞬间加上去或在一瞬间消失的；另一类是交变载荷，这种载荷为不恒定，而随时间变化，由小而渐大，由大而渐小，如此多次反复。在机械中有许多零件，如曲轴，机床主轴、齿轮、连杆、弹簧等，都是在交变载荷作用下工作的。在这种载荷作用下，金属零件很容易破坏。

二、应力与应变

机械零件（或结构元件）是由一定形状的材料所构成。无论何种材料，其原子之间通常具有相互平衡的原子力相互作用，以保持其固定的形状。当受到外力作用时，原来的平衡受到破坏，材料中任何一个小的单元和邻近的各个小单元之间，诱发了新的力

（内力）。材料单位截面上的这种力（内力）称为应力，用 σ 表示。

应力的产生破坏了原来原子间的平衡，建立了新的平衡，使材料的形状发生相应的变化，材料单位长度的变形量称为应变，用 ϵ 表示。

三、弹性变形与塑性变形

金属材料在外力作用下都会或多或少地产生变形。在使用金属材料时，除了变形的程度外，更值得注意的是当外力去掉后，变形能否恢复原状和恢复原状的程度，这两者反映了金属材料的弹性和塑性。

金属材料受外力作用时会产生变形，当外力去掉后能恢复其原来形状的性能，叫做弹性。这种随着外力消失而消失的变形，叫做弹性变形。

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不致引起破坏的性能，叫做塑性。在外力消失后留下来的这部分不可恢复的变形，叫做塑性变形。

弹性变形和塑性变形，在机械制造中都是材料性能的重要指标。对已成形的机械零件，应在弹性变形范围内工作，不允许产生塑性变形。相反，在原材料或零件的加工成形过程中，如轧制钢材、锻制金属毛坯、注塑工程塑料、混炼橡胶制品时，均需在材料的塑性变形范围内进行。

§ 1-2 金属材料的机械性能

金属是现代工业中最重要的材料，广泛应用于工农业生产和国防工业等部门。由于绝大多数的机械设备选用材料时，是以材料机械性能指标作主要依据，因此，我们必须了解金属材料的机械性能。

金属材料的机械性能，是指金属材料受到各种不同性质的载荷作用时，所反映出来的性

能。它是衡量材料的极其重要的标志。金属的机械性能主要有：强度、刚度、塑性、硬度、韧性、抗疲劳性能、蠕变性能等。

一、材料的强度指标

强度是指金属材料在外力作用下，抵抗塑性变形和断裂的能力。强度愈高的材料，所能承受的外力也愈大。按照外力作用性质的不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。工程上常用来表示金属材料强度的指标有弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

为了测定金属材料的强度，广泛地采用拉伸试验。

拉伸试验是将按国家标准规定的形状和尺寸制作的试样，如图1-3a所示，装卡在材料试验机上，对其两端施加轴向静拉力，试样受力后开始变形，并随着静拉力的增加变形量增大直至把试样拉断。在试验过程中，试验机自动记录每一瞬间作用在试样上的拉力 F （载荷）和与其相对应的变形量 Δl ，并绘制出它们之间的关系曲线，即通常所称的拉伸曲线（或拉伸图）。由于不同材料的性质不同，拉伸曲线的形式也有差异。图1-4为不同材料的拉伸曲线示意图。

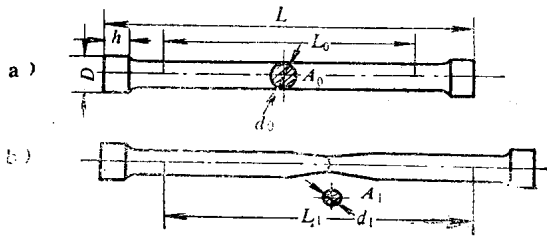


图 1-3 拉伸试样
a) 标准拉伸试样 b) 拉断后

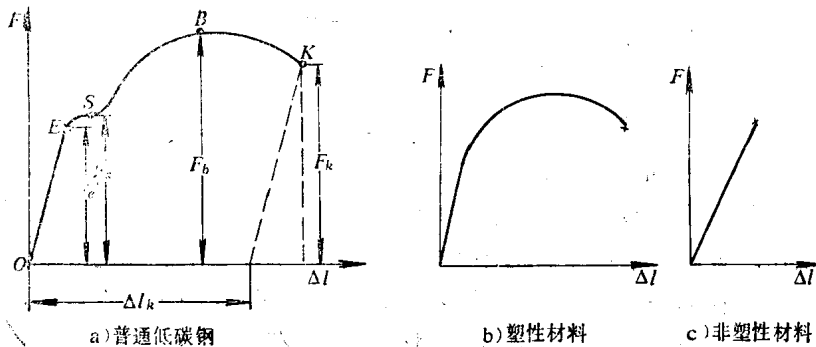


图 1-4 不同材料的拉伸曲线

图1-4a为低碳钢拉伸曲线。拉伸曲线说明了当载荷由零开始逐渐增加时，材料的变形过程和规律。由图可以看到，当载荷小于 F_e 时拉伸曲线 OE 段是一直线，即变形与外力成正比。在此阶段，试样受力后只产生弹性变形，外力去掉，试样就恢复到原始长度；当载荷超过 F_e （过 E 点）时，即使将外力去掉，试样也不能恢复到原始长度，而保留一部分残余变形，即产生了塑性变形，所以 F_e 称为弹性极限载荷。当载荷继续增大到 F_s 时，拉伸曲线出现了平台，即表示载荷不增加而变形量继续增加，这种现象称为屈服。引起试样产生屈服的最小载荷 F_s 叫做屈服载荷。屈服以前，试样上任何一个截面都是相等的，因为在外力作用下，试样的各处伸长同样的长度，各处截面也都缩小同样的数值。屈服以后，金属开始产生明显的塑性变形，载荷再继续增加时，变形量急剧增加，当载荷增加到最大值 F_b 后，试样的某一横截

面开始急剧缩小，出现了“缩颈”。由于缩颈处试样横截面的缩小，继续变形所需的载荷下降，但变形仍继续增加，试样很快被拉断，如图1-3b所示。综上所述，金属材料在外力作用下的变形过程一般可分为三个阶段：即弹性变形、弹塑性变形和断裂。

根据拉伸曲线可以求出强度指标。为了进行比较，强度指标通常是以应力的形式来表示。

1. 弹性极限 σ_e 是指材料能保持弹性变形时的最大应力，它可按式计算

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——弹性极限载荷；
 A_0 ——试样原始截面积。

2. 屈服强度（屈服极限） σ_s 是指材料开始产生屈服时的应力，它可按式计算。

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

式中 F_s ——屈服载荷；
 A_0 ——试样原始截面积。

屈服强度是压力加工时，材料最重要的实际特性之一。因此，必须确定各种材料的屈服极限。但有些材料，如铜、铝、锌、黄铜、铸铁等，在拉伸图中没有明显的水平线段，它们的屈服强度很难测定。通常规定产生0.2%塑性变形时的应力作为条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

3. 抗拉强度（强度极限） σ_b 是指材料在拉断前所能承受的最大应力，它可按式计算

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

式中 F_b ——最大载荷（强度极限载荷）
 A_0 ——试样原始截面积。

屈服强度和抗拉强度是设计机械、选用材料的重要依据。因为机械零件不能在超过其材料 σ_s 的条件下工作，否则会引起零件的塑性变形；机器零件更不能在超过其材料 σ_b 的条件下工作，否则将导致零件的破坏。例如，为了保证气缸体和缸盖的密封性，紧固螺栓是不允许出现塑性变形的，即要求螺栓必须在小于材料 σ_s 的条件下工作。

二、材料的刚度指标

金属材料在受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度，即材料弹性变形的难易程度。在弹性变形阶段，在相同的外力作用下，材料的刚度大则变形小，刚度小则变形大。

刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变的比值 E 来表示。 E 称为材料的弹性模量，它表示材料产生单位应变 ε 所需要的应力 σ 。

即
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E 愈大，表示材料在一定的应力作用下产生的弹性变形愈小，反映材料的刚度愈大。

一般机器零件在使用过程中均处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件，如柴油机曲轴、精密机床的主轴等，应选用刚度较大的材料，即弹性模量 E 大的材料。但是， E 只反映材料的刚度，对于具体的一个零件的刚度，除决定于材料的 E 外，还与该零件的断面形

状和尺寸有关。例如，用同一种材料的两个零件， E 是相同的，断面尺寸大的不易发生弹性变形，断面尺寸小的则易发生弹性变形。

三、材料的塑性指标

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性。

金属材料的塑性通常用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

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

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

式中 L_0 ——试棒的原始长度；

L_1 ——试棒拉断后的长度；

A_0 ——试棒原始截面积；

A_1 ——试棒拉断后断口处的截面积。

δ 或 ψ 愈大，表示材料的塑性愈好。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件；机器零件也必须具备一定的塑性。

四、冲击韧性

材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。

许多机器零件是在冲击载荷下工作的，例如火车挂钩、锻锤的锤杆、锤头、冲床的连杆和曲轴、内燃机的活塞杆等。冲击载荷比静载荷的破坏能力大得多，因而，对这些承受冲击载荷的零件，不仅应具有较高的强度和一定的硬度，还必须具有足够的冲击韧性。

冲击韧性是以材料受冲击破坏时的单位面积上所消耗的能量来表示。目前工程上通常用摆锤冲击试验来测定金属材料的冲击韧性。

摆锤冲击试验原理如图1-5所示。

图1-6a示出标准冲击试样，图1-6b为试样安放示意图。

试验时，将标准试样安放在冲击试验机的支座上，试样的缺口背向摆锤。将具有一个重量 G 的摆锤抬到 H_1 的高度，使其获得位能 GH_1 ，然后使摆锤下落冲断试样。试样冲断后，摆锤继续向前升高到 H_2 的高度，此时摆锤的剩余能量为 GH_2 。摆锤冲断试样所消耗的能量，即其所做的冲击功 $A_K = G(H_1 - H_2)$ ，单位名称为焦耳，符号为J。

A_K 值除以试样缺口处的截面积 A ，单位为 (cm^2) ，即得冲击韧性值 a_K ，单位为 $(\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$ 。

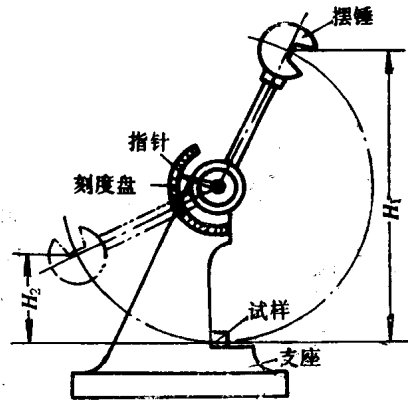


图 1-5 摆锤冲击试验原理图

$$a_K = \frac{A_K}{A}$$

冲击韧性 a_K 值愈大，表明材料的韧性愈好，受到冲击时不易断裂。 a_K 值的大小与很多因素有关，不仅受试样的形状、表面光洁程度、内部组织等因素的影响，还与试验时的温度有