

高等学校工程专科金工系列教材

金属工艺学

丁德全 主编

机械工业出版社

高等学校工程专科金工系列教材

金 属 工 艺 学

主 编 丁德全
副主编 周 进 王纪安
主 审 常燕宾 董 芳



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据国家教委 1996 年印发的《高等学校工程专科金属工艺学课程基本要求（机械类适用）》并参考各院校专科专业教学改革的经验编写的。对金属工艺学传统课程内容作适当调整与增删。全书内容分为机械工程材料基础、热加工工艺基础和机械加工工艺基础三篇，其中增加了目前正在推广应用的非调质钢、塑料模具钢等新工程材料及工程材料表面处理、胶接、某些冷热加工新工艺新技术的内容。本书全面采用截止 1996 年颁布的国家标准和法定计量单位，介绍了我国新的钢分类标准和冷热加工的有关新工艺标准。

本书是高等学校工程专科机械制造类、机械维修类和热加工类专业的金属工艺学通用教材，对有关工程技术人员和企业管理人员也是一本很好的参考书。

金属工艺学

丁德全 主编

*

责任编辑：董连仁 版式设计：张世琴

封面设计：姚毅 责任校对：林去菲

责任印制：路琳

*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街 22 号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京市密云县印刷厂印刷

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 20·字数 487 千字

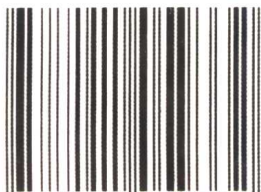
1998 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 0 001—8 000 定价：25.00 元

*

ISBN 7-111-05933-6

ISBN 7-111-05933-6/TG·1174（课）



9 787111 059332 >

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

本书是根据国家教委 1996 年印发的《高等学校工程专科金属工艺学课程基本要求（机械类适用）》，并参考各校专科教学改革的有益经验编写的金属工艺学系列教材之一，是高等学校工程专科机械类、近机类专业的通用教材，也可供职工大学、业余大学、函授大学、中等专业学校的师生及有关工程技术人员、企业管理人员选用或参考。

本书编写和使用中遵循以下原则：

1) 课程教学要服从培养生产第一线技术应用性人才的专业培养总目标，坚持基础理论教学以应用为目的，以必需够用为度，以掌握概念、强化应用为教学重点。

2) 为适应课内教学总时数削减的要求，将机械工程材料与金属工艺学合并，减少重复内容，根据各校专业教学改革经验，对原有课程理论内容适当削减。

3) 教材内容选取以生产第一线广泛使用的或近期能够推广使用的技术为主。与过去出版的金工教材相比，提高了对常用工程塑料和近年广泛应用的某些热加工工艺技术的教学要求，增加了工程材料表面处理、胶接和一些新工程材料等内容。

4) 为培养学生基本素质，教材适当引用技术经济分析和质量管理概念，贯彻环境保护和可持续发展的观点。

5) 本教材尽力贯彻最新国家标准中各种技术术语、符号、数表和法定计量单位，积极采用《钢分类》等近年颁布的一系列新标准，同时注意到由旧标准向新标准的过渡，故对习惯常用名词术语及分类方法与最新标准适当对照介绍。

6) 由于各学校各专业的专业性质、培养目标不同，讲授时对本教材的内容可有所侧重或取舍，本课程中与专业课程重复的内容可以不讲，要求学生结合金工实习进行自学。

7) 本教材第二、三篇应在相应项目金工实习之后讲授。与本书配套的教材有《金属工艺实习》（杨森主编、机械工业出版社出版）、《金属工艺学实验》（王纪安主编、机械工业出版社出版）、《金属工艺设计》（丁德全主编、高等教育出版社出版）。配套教材之间尽可能减少内容重复，凡是在金工实习教学中应熟悉和掌握的基本知识都已编入实习教材，本书不再重复介绍。

参加本书编写的有承德石油高等专科学校丁德全（绪论、第一、二章、第六章第一节、第九章第四节），安少云（第三章），柴增田（第十一章），王纪安（第十二章），苏海青（第十三章），李卫权（第十五章），杨森（第十六章、十七章），廊坊石油管道职工学院戚本明（第四章、第五章），重庆石油高等专科学校周进（第六、八、九章），华北航天工业学院刘江（第七章），庞国星（第十、十六章第八节），翟红雁（第十四章）。由丁德全担任主编并负责统稿，由周进、王纪安担任副主编，由常燕宾、董芳担任主审。

在编写过程中得到各位编者所在学校领导、老师的大力支持，并参考了有关文献资料，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有缺点错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

1997 年 6 月

目 录

前言	
绪论	1
第一篇 机械工程材料基础	4
第一章 金属的力学性能	4
第一节 拉伸试验及强度和塑性	4
一、拉伸试验及拉伸曲线	4
二、常用强度判据	5
三、塑性判据	6
第二节 硬度	7
一、布氏硬度	7
二、洛氏硬度	8
第三节 冲击吸收功	9
第四节 疲劳极限	10
第五节 断裂韧性	11
思考题与习题	12
第二章 金属的晶体结构与结晶	13
第一节 金属的晶体结构	13
一、金属是晶体	13
二、晶体结构的基本概念	13
三、三种典型的金属晶体结构	14
第二节 金属的实际晶体结构	16
一、单晶体和多晶体	16
二、晶体缺陷	16
第三节 纯金属的结晶与铸锭	18
一、结晶的基本概念	18
二、结晶时晶核的形成和长大过程	19
三、金属结晶后的晶粒大小	19
四、铸锭的组织	20
第四节 合金的相结构	21
一、概述	21
二、合金的相结构	21
三、合金的组织	23
第五节 二元合金相图	23
思考题与习题	25
第三章 金属的塑性变形与再结晶	26

第一节 金属的塑性变形	26
一、单晶体的塑性变形	26
二、多晶体的塑性变形	28
三、塑性变形后金属的组织与性能	29
第二节 变形金属在加热时组织和性能的变化	30
一、回复	30
二、再结晶	31
三、再结晶后的晶粒长大	31
第三节 金属的热变形加工	32
一、热变形加工与冷变形加工的区别	32
二、金属热变形加工时组织和性能的变化	32
思考题与习题	33
第四章 铁碳相图	34
第一节 铁碳合金的组元与基本相	34
一、纯铁的同素异构转变	34
二、铁碳合金的基本相及其性能	34
第二节 Fe-Fe ₃ C 相图分析	35
一、两条恒温转变线	36
二、相区及其主要特性点和特性线的分析	36
第三节 典型合金的结晶过程及组织	37
一、共析钢的结晶过程分析	37
二、亚共析钢的结晶过程分析	38
三、过共析钢的结晶过程分析	38
四、共晶白口铸铁的结晶过程分析	39
五、亚共晶白口铸铁的结晶过程分析	39
六、过共晶白口铸铁的结晶过程分析	40
第四节 含碳量与铁碳合金组织及性能的关系	41
一、铁碳合金含碳量与组织的关系	41
二、铁碳合金含碳量与力学性能的关系	41

第五节 铁碳相图的应用	42	第二节 杂质元素和合金元素在钢	
一、在选材方面的应用	42	中的作用	71
二、在铸造方面的应用	42	一、主要常存元素在非合金钢中	
三、在压力加工方面的应用	42	的作用	71
四、在焊接方面的应用	43	二、合金元素对钢基本相的影响	72
五、在热处理方面的应用	43	三、合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的	
思考题与习题	43	影响	72
第五章 钢的热处理	44	四、合金元素对钢热处理的影响	73
第一节 钢在加热时的转变	44	第三节 非合金钢	74
一、奥氏体的形成过程	44	一、碳素结构钢	75
二、奥氏体晶粒的长大及其影响		二、优质碳素结构钢	75
因素	45	三、碳素工具钢	75
第二节 钢在冷却时的转变	47	四、易切削结构钢	75
一、过冷奥氏体的等温转变	47	五、工程用铸造碳钢	78
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	50	第四节 低合金钢	79
三、连续冷却转变图与等温冷却转		一、低合金高强度结构钢	79
变图的比例和应用	52	二、低合金耐候钢	81
第三节 钢的普通热处理	52	三、低合金专业用钢	81
一、钢的退火	52	第五节 机械结构用合金钢	82
二、钢的正火	53	一、合金渗碳钢	82
三、钢的淬火	53	二、合金调质钢、非调质钢和低碳	
四、钢的淬透性	55	马氏体钢	83
五、回火	57	三、合金弹簧钢	84
第四节 钢的表面热处理和化学热		四、滚动轴承钢	85
处理	58	五、超高强度钢	85
一、表面淬火	58	第六节 合金工具钢和高速工具钢	86
二、化学热处理	59	一、合金工具钢	86
第五节 热处理新技术简介	60	二、高速工具钢	89
一、可控气氛热处理	60	第七节 特殊性能钢	90
二、真空热处理	61	一、不锈钢	90
三、形变热处理	61	二、耐热钢	91
四、化学热处理	61	三、耐磨钢	92
五、激光热处理和电子束表面		思考题与习题	93
淬火	61	第七章 铸铁	95
第六节 热处理工艺的应用	62	第一节 概述	95
一、热处理的技术条件	62	第二节 铸铁的石墨化	96
二、热处理工序位置的确定	62	一、铁碳合金双重相图	96
三、热处理零件结构的工艺性	64	二、石墨化过程	96
思考题与习题	65	三、影响石墨化的因素	97
第六章 工业用钢	66	第三节 一般工程应用铸铁	98
第一节 钢的分类和牌号	66	一、灰铸铁	98
一、钢的分类	66	二、球墨铸铁	99
二、我国工业用钢的牌号表示方法	70	三、可锻铸铁	100

四、蠕墨铸铁	101	二、橡胶的组成	126
第四节 特殊性能铸铁	102	三、常用橡胶	126
一、耐磨铸铁	102	第四节 胶粘剂与胶接技术	127
二、耐热铸铁	103	一、胶粘剂的组成	127
三、耐蚀铸铁	103	二、胶粘剂的分类原则及表示方法	127
思考题与习题	103	三、胶粘剂的胶接机理	129
第八章 非铁金属材料	105	四、常用胶粘剂	129
第一节 铝及其合金	105	五、胶接的特点与应用	131
一、纯铝	105	六、胶接技术	132
二、铝合金的分类	106	第五节 陶瓷材料	134
三、铝合金的强化途径	106	一、陶瓷的分类	134
四、变形铝合金	107	二、陶瓷材料的制作工艺及组织 结构	134
五、铸造铝合金	108	三、陶瓷材料的性能特点	135
第二节 铜及其合金	110	四、常用工程结构陶瓷的种类、 性能和用途	135
一、纯铜	110	第六节 复合材料	136
二、黄铜	110	一、复合强化原理	136
三、青铜	111	二、复合结构材料的种类	136
第三节 滑动轴承合金	113	三、复合材料的性能特点	137
一、滑动轴承的工作条件及对轴承 合金的性能要求	113	思考题与习题	137
二、常用的轴承合金	114	第十章 工程材料的表面处理	138
第四节 硬质合金与粉末冶金	115	第一节 概述	138
一、粉末冶金工艺简介	115	一、材料表面处理的目的	138
二、粉末冶金的应用	116	二、表面处理方法分类	138
三、硬质合金	116	三、表面预处理	139
思考题与习题	116	第二节 气相沉积	140
第九章 非金属材料与复合材料	117	一、化学气相沉积	140
第一节 有机高分子材料基础知识	117	二、物理气相沉积	141
一、高聚物分子的组成	117	第三节 化学转化膜技术	142
二、高聚物的人工合成	117	一、氧化处理	142
三、高聚物分子的形态	118	二、钢铁的磷化处理	144
四、高聚物链的柔顺性	118	第四节 电镀和化学镀	145
五、高聚物分子间的结合状态	118	一、电镀的基本原理和镀层 功用	145
六、高聚物的力学状态	119	二、电镀金属	145
七、有机高分子材料的组成及 性能特点	120	三、塑料基体上的电镀	146
第二节 工程塑料	121	四、化学镀	146
一、塑料的组成	121	第五节 涂料与涂装工艺	146
二、塑料的分类	121	一、涂料	147
三、常用工程塑料的性能和用途	122	二、涂装工艺	149
四、塑料制品的成型方法	123	思考题与习题	150
第三节 合成橡胶	125	第二篇 热加工工艺基础	151
一、橡胶的特性和应用	125		

第十一章 铸造	151	思考题与习题	198
第一节 铸造工艺基础	151	第十三章 焊接	200
一、合金的铸造性能	151	第一节 概述	200
二、铸造缺陷分析与铸件质量 控制	154	第二节 熔焊冶金原理	201
第二节 砂型铸造工艺	160	一、熔焊的冶金过程	201
一、浇注位置与分型面的选择	160	二、焊接接头的组织和性能	202
二、工艺参数的选择	162	第三节 常用焊接方法	204
第三节 铸件的结构工艺性	165	一、埋弧自动焊	204
一、铸件质量对铸件结构的要求	165	二、气体保护焊	206
二、铸造工艺对零件结构的要求	166	三、电渣焊	208
三、不同铸造合金对铸件结构的 要求	168	四、电阻焊	209
第四节 特种铸造简介	169	五、钎焊	211
一、熔模铸造	169	六、常用焊接方法的比较和选用	212
二、金属型铸造	170	第四节 焊接应力与变形及其防止 措施	213
三、压力铸造	172	一、焊接变形的基本形式	213
四、低压铸造	173	二、预防焊接变形的工艺措施	214
五、离心铸造	174	三、焊接变形的矫正	215
六、各种铸造方法比较	174	第五节 常用金属材料的焊接	215
思考题与习题	175	一、金属材料的焊接性	215
第十二章 锻压	178	二、碳素结构钢和低合金高强度 结构钢的焊接	216
第一节 概述	178	三、不锈钢的焊接	218
一、锻压的基本生产方式	178	四、铸铁的焊补	218
二、金属的可锻性	179	五、非铁金属的焊接	219
三、锻造比	180	第六节 焊接结构工艺性	220
第二节 自由锻	180	一、焊接结构材料的选择	220
一、自由锻的基本工序	181	二、焊缝布置	220
二、自由锻工艺规程的制订	181	三、焊接接头设计	221
三、自由锻锻件结构工艺性	183	第七节 焊接质量检验	225
第三节 模锻	185	一、焊接检验过程	225
一、锤上模锻	185	二、焊接检验方法	225
二、胎模锻	190	第八节 焊接新技术简介	226
三、压力机上的模锻	191	一、等离子弧焊接和切割	227
第四节 板料冲压	192	二、真空电子束焊接	228
一、冲压模具	192	三、激光焊接与切割	229
二、板料冲压的基本工序	193	四、扩散焊接	230
三、板料冲压件的结构工艺性	195	五、摩擦焊	230
第五节 锻压新工艺简介	195	思考题与习题	231
一、高速高能成形	196	第十四章 机械零件材料和毛坯 的选择	233
二、精密模锻	197	第一节 机械零件的失效形式	233
三、液态成形	197		
四、超塑性成形	198		

一、变形失效	233	三、外圆表面加工方案	277
二、断裂失效	233	第二节 内圆表面加工	278
三、表面损伤失效	234	一、钻孔	279
第二节 零件材料及毛坯工艺技		二、扩孔	280
术选择	235	三、铰孔	280
一、零件选材的一般原则	235	四、镗孔	281
二、毛坯生产工艺技术的合理		五、孔的拉削加工	282
选择	238	六、孔的加工方案制订	282
第三节 典型零件的选材及工艺		第三节 平面加工	283
路线分析	241	一、刨削加工平面	283
一、齿轮类零件选材	241	二、铣削加工平面	284
二、轴类零件选材	243	三、磨削加工平面	285
思考题与习题	245	四、平面加工方案制订	285
第三篇 机械加工工艺基础	246	第四节 螺纹加工	285
第十五章 金属切削加工的基		一、车削螺纹	285
础知识	246	二、铣削螺纹	286
第一节 切削运动及切削要素	246	三、搓制螺纹(搓丝)	286
一、零件表面的形成	246	四、磨削螺纹	287
二、切削运动	246	第五节 齿轮齿形加工	287
三、切削要素	247	一、成形法加工	287
第二节 刀具材料及刀具几何形状	248	二、展成法加工	288
一、刀具材料	248	三、齿形加工工艺方案分析	290
二、刀具角度	251	第六节 光整加工	291
第三节 金属的切削过程	254	一、超精加工	291
一、切屑形成过程及切屑种类	254	二、镜面磨削	292
二、积屑瘤	254	三、研磨	292
三、切削力和切削功率	255	四、珩磨	293
四、切削热和切削温度	256	第七节 特种加工	293
五、刀具磨损和刀具耐用度	256	一、电火花加工	294
第四节 切削加工技术经济分析	257	二、线切割加工	294
一、切削加工主要技术经济指标	257	三、电解加工	294
二、选择切削用量的一般原则	260	四、激光加工	295
三、工件材料的切削加工性	260	五、超声波加工	295
第五节 金属切削机床的基础知识	261	第八节 零件的结构工艺性	296
一、金属切削机床的分类及型号	261	一、切削加工对零件结构工艺	
二、卧式车床的传动系统分析	263	性的要求	296
三、自动机床和数控机床简介	267	二、机械加工零件结构工艺性	
思考题与习题	269	实例	296
第十六章 各种表面的加工方法	271	思考题与习题	298
第一节 外圆表面加工	271	第十七章 机械加工工艺过程	
一、外圆表面的车削加工	271	基本知识	300
二、外圆表面的磨削加工	273	第一节 生产过程与工艺过程	300
		一、生产过程	300

二、工艺过程及其组成	300	三、基准	306
第二节 生产类型及其工艺特点	302	第四节 机械加工工艺规程的制订	308
一、生产纲领与生产类型	302	一、机械加工工艺流程	308
二、不同生产类型的工艺特点	302	二、制订工艺规程的原始资料及	
第三节 工件的定位、安装与基准	303	步骤	308
一、工件定位	303	思考题与习题	311
二、工件的安装	304	主要参考文献	312

绪 论

在一般机械制造过程中，对于那些将原材料变为产品的直接有关过程，如用铸造、压力加工或焊接等方法制造毛坯的过程、机械切削加工的过程、热处理和其他处理过程、装配和维修过程等都称为工艺过程。机械零件常规制造工艺流程如图 0-1 所示。

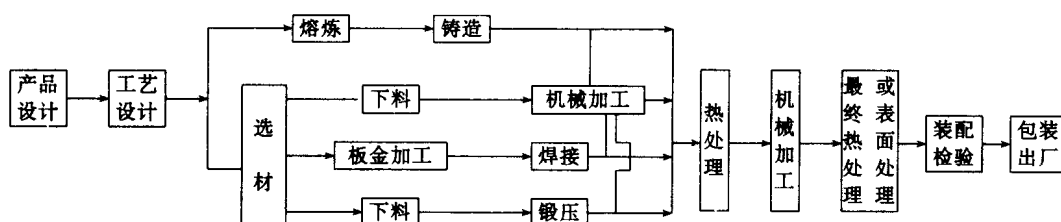


图 0-1 常规机械制造工艺流程示意图

研究机械零件的加工工艺过程和结构工艺性、各种材料的力学性能和工艺性能、各种工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用等是金属工艺学的主要内容。工程人员在设计和制造产品时，总是力图使产品质量高、性能好、成本低、寿命长。为了达到这些目的，必须从结构设计、材料选用、制造工艺及使用维护等多方面采取措施。金属工艺学就是在长期的机械产品生产实践中逐渐发展起来的。本课程知识是机械类专业人员所必须具备的，也是其他工科各专业和企业管理人员应了解的。

中华民族在金属材料和加工工艺技术方面，历史上有辉煌的成就。我国的青铜冶炼开始于夏代，到了距现在 3000 多年前的殷商、西周时期，技术已达当时世界高峰，用青铜制造的工具、食具、兵器和马饰，得到普遍的应用。河南安阳武官村发掘出来的重达 875kg、花纹精致的商代青铜“司母戊”大方鼎，陕西出土的西周康王时代的大孟鼎，湖北江陵楚墓中发现的埋藏 2000 多年仍金光闪闪的越王勾践宝剑，陕西临潼秦皇陵陪葬坑发现的工艺复杂、制作精美的铜车马等，都是中华民族具有光辉灿烂古代文明的历史见证。春秋战国时期，我国开始大量使用铁器，白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现。1953 年从兴隆地区发掘出来的战国铁器遗址中，就有浇铸农具用的铁模子，说明当时已掌握铁模铸造技术。随后出现了炼钢、锻造、钎焊和热处理技术。直到明朝之前的 2000 多年间，我国钢铁生产一直在世界上遥遥领先。我国的金属切削加工工艺发展可追溯到青铜器时代。在湖南衡阳出土的相当精致的东汉人字齿轮，说明在汉朝就有了金属机件。明朝出现了简单的切削加工设备。清初（1668 年）曾经用直径约 6.6m 的嵌齿铣刀，用牲畜带动旋转，用来铣削天文仪上的铜环。明朝宋应星所著《天工开物》，是举世公认的有关金属加工的最早的科学技术著作之一，书中记载了冶铁、铸造、锻造、淬火等各种金属加工的方法，其中记述关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺也与今日相差无几。古代中国还将胶接技术、表面处理技术用于器具、工艺品的制造。

上述事实，生动地说明了中华民族在材料及其加工工艺方面对世界文明和人类进步作出的卓越贡献。但是到了18世纪以后，由于长期的封建统治和闭关自守，严重地束缚我国生产力的发展，使我国科学技术处于停滞落后状态。

新中国成立后，特别是改革开放以来，我国的材料工业和机械制造业无论是在生产规模方面，还是在产品的品种、数量、质量方面，都得到迅速发展。1996年，我国钢的年产量已超过1亿吨，非铁金属材料、陶瓷材料、高分子合成材料、复合材料在机械制造工程中发挥越来越重要的作用。机械制造加工的新技术、新工艺和计算机技术已应用于生产过程中，使企业的面貌得到迅速改变，许多机械制造企业正在向生产过程自动化逐步发展。但是，也应看到当今世界科学技术的飞速发展：具有各种特殊性能的新材料不断涌现；各种特种加工和特种处理工艺方法日益繁多；传统的机械制造工艺过程发生变化，铸造、压力加工、焊接、热处理、胶接、切削加工、表面处理等生产环节采用高效专用设备和先进工艺，普遍实现工艺专业化和机械生产自动化；适应产品更新换代周期短、品种规格多样化的需要，高效柔性加工系统获得较快发展；计算机集成制造系统把计算机辅助设计（CAD）系统、计算机辅助制造（CAM）和生产管理信息系统（MIS）综合成一个有机整体，实现机械制造过程高度自动化，极大地提高了劳动生产率和社会经济效益。在这些方面，我国与工业先进国家相比还存在明显差距。因此，我们要奋发图强，努力学习，不断掌握先进的制造工艺技术。

先进的制造工艺技术包含着多学科的最新成果。任何学科要发展，就要吸收和运用其他学科的成果、技术方法，也就是说要进行某种程度的综合。这就为高等工程教育提出要求：①培养工程技术人才要打好较宽的工程技术基础，要改变目前普遍存在的学机不懂电、学电不懂机、学热加工的不懂冷加工的“技术上狭窄的工程教育”，以及工科学生不懂成本、经营、管理的“狭窄于技术的工程教育”状态；②工程教育要重视工程实践；③重视工艺技术学习中自学和创新能力的培养。高等工程专科教育培养目标是生产第一线高等工程技术应用性人才，更应该重视这些要求。

金属工艺学是一门实践性很强的综合性技术基础课。通过本课程的学习，使学生获得常用机械工程材料、热处理、毛坯生产和零件加工工艺的基础知识，为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作及企业管理工作奠定必要的基础。本课程教学以金工实习为基础，教学内容与生产实际紧密结合，强调工艺实践和工程意识训练。因此，金属工艺学作为培养学生综合工程素质和技术应用能力是十分重要的工程教育必修课，受到工程教育界的普遍重视。

学习本课程应达到的基本要求是：

- 1) 掌握工程材料和热处理基本知识，了解工程材料常用的表面处理方法，具有合理选用常用机械工程材料和处理方法的初步能力。
- 2) 掌握热加工工艺与机械加工工艺的基本知识，具有选用毛坯种类、成形方法和确定零件加工方法、制定简单零件（毛坯）加工工艺规程的初步能力。
- 3) 具有综合运用工艺知识，分析毛坯或零件结构工艺性的初步能力，以及建立质量和经济观念。
- 4) 了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术及其发展概况。

本课程教学要求学生应具有一定的实践基础，为达到课程教学基本要求，学习本教材第二篇、第三篇之前必须进行金工实习。实验和课程设计是金工教学的重要环节，应予以合理

安排。根据教学内容，应安排适量的课堂讨论和课后作业题，以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。

在高等工程专科教育改革中，金属工艺学教学应在提高学生的综合素质，特别是在培养创造能力和工程实践能力方面积极进行探索，发挥重要作用。

第一篇 机械工程材料基础

材料是人类文明生活的物质基础，人类历史的所谓石器时代、青铜器时代和铁器时代就是按生产活动中起主要作用的工具材料划分的。现代社会中，材料对机械、矿冶、能源、交通、建筑、化工、轻工、宇航、信息等各工业和科技领域的发展都起着举足轻重的作用。

各种材料，按其性能的不同，可以用于结构、机件、工具或物理功能器件等。工程人员选用材料时，首先要掌握材料的使用性能，同时要考虑材料的工艺性能和成本。材料的使用性能包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、磁性等）、化学性能（如耐蚀性、抗氧化性、化学稳定性等）、力学性能（如强度、塑性、韧性、硬度等）。材料的工艺性能是指材料的加工性能，如金属材料的铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。用于制作机械工程结构、机件、工具的工程材料通常分为金属材料和非金属材料两大类。

金属材料之所以广泛用来制造机械结构、设备和生产工具，是由于它具有良好的力学性能，即具有很高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性；此外还可以利用某些金属材料所具有的耐高温、耐腐蚀及各种特殊的物理性能制造各类产品，以满足石油化工、航天航海、电力电子等工业发展的需要。

非金属材料是指金属材料以外的材料。作为工程结构和机械零件使用的，有高分子材料、陶瓷材料和复合材料三大类，其中高分子材料中的工程塑料具有一些优良特性，可以替代某些金属，已在工业中占有很重要的地位。

第一章 金属的力学性能

金属的力学性能是指在力作用下，所显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能，常用的有强度、塑性、硬度、冲击吸收功、疲劳极限和断裂韧性等。

第一节 拉伸试验及强度和塑性

一、拉伸试验及拉伸曲线

静载荷拉伸试验是工业上最常用的力学性能试验方法之一。试验时在试样两端缓慢地施加试验力，使试样的标距部分受轴向拉力，沿轴向伸长，直至试样拉断为止。测定试样对外加试验力的抗力，求出材料的强度值；测定试样在破断后塑性变形的大小，求出材料的塑性值。

试验前，将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样（见 GB6397—86）。图 1-1 为常用的圆形拉伸试样。若将试样从开始加载直到断裂前所受的拉力 F ，与其所对应的试样原始标距长度 L_0

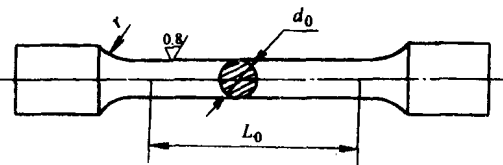


图 1-1 标准拉伸试样

的伸长量 ΔL 绘成曲线, 便得到拉伸曲线。图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线。用试样原始面积 S_0 去除拉力 F 得到应力 σ 。以试样原始标距 L_0 去除绝对伸长 ΔL , 得到应变 ϵ , 即 $\sigma = F/S_0$, $\epsilon = \Delta L/L_0$, 则力-伸长 ($F-\Delta L$) 曲线就成了工程应力-应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线。

从图 1-2 拉伸曲线可看出, 低碳钢在拉伸过程中明显地表现出不同的变形阶段, 所以通常将低碳钢的应力-应变 ($\sigma-\epsilon$) 曲线当作典型情况来说明材料的力学性能。整个曲线可分为弹性变形、屈服、均匀塑性变形、局部塑性变形及断裂几个阶段。在弹性变形阶段 (oe 段) 中, 若卸除试验力, 试样能完全恢复到原来的形状和尺寸。其中在 op 阶段, 应力与应变呈正比关系, 即符合虎克定律。当应力超过 σ_e , 进入屈服阶段 (es 段), 应力应变曲线出现平台或锯齿, 应力不增加或只有微小增加, 试样却继续伸长。屈服之后材料进入均匀塑性变形阶段 (sb 段), 均匀变形的原因是冷变形强化 (加工硬化) 所致, 变形与硬化交替进行, 变形量越大, 为使材料变形所需的应力越大。当试样变形达到最高点 b 时, 形变强化跟不上变形的变化, 不能再使变形转移, 致使某处截面开始减小。在局部塑性变形阶段 (bk 段), 应力增加, 变形加剧, 形成缩颈。此时, 施加于试样的力减小, 而变形继续增加, 直至断裂 (k 点)。

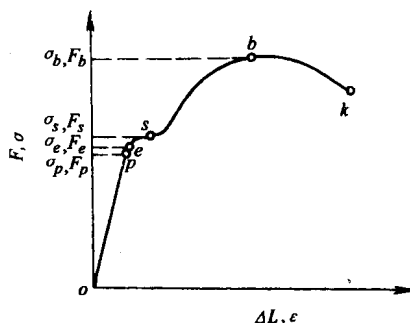


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

二、常用强度判据

强度是材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用的静拉伸强度判据有规定非比例伸长应力、屈服点或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

(一) 规定非比例伸长应力

金属材料符合虎克定律的最大应力称为比例极限 (比例伸长应力), 以 σ_p 表示, 由于不能用实验直接测定比例极限, 故在拉伸试验方法标准 (GB228—87) 中采用“规定非比例伸长应力”代之。规定非比例伸长应力是试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。

$$\sigma_p = F_p / S_0$$

式中 F_p ——试样非比例伸长为规定量时的拉力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

规定非比例伸长应力是一些重要零件设计的力学依据。表示符号应附以角标说明, 例如 $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{p0.05}$ 、 $\sigma_{p0.2}$ 分别表示规定非比例伸长率为 0.01%、0.05%、0.2% 时的应力。

在弹性阶段内, 卸力后而不产生塑性变形的最大应力为材料的弹性伸长应力, 通常称为弹性极限, 以 σ_e 表示。弹性极限是理论上的概念, 和比例极限一样, 也难以用实验直接测定。在实际工程上, 以屈服点或规定残余伸长应力代替之。

(二) 屈服点和规定残余伸长应力

在拉伸过程中力不增加 (保持恒定), 试样仍能继续伸长时的应力称为材料的屈服点 (过去曾称屈服极限), 以 σ_s 表示, 单位为 MPa。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 F_s ——材料屈服时的拉伸力。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服点外，大多数合金都没有屈服现象，因此提出“规定残余伸长应力”作为相应的强度指标。国家标准规定：当试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力，作为规定残余伸长应力 σ_r 。表示此应力的符号应附以角标说明，例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$$\sigma_r = F_r / S_0$$

式中 F_r ——产生规定残余伸长时的拉力 (N)。

原标准 GB228—76 曾将产生 0.2% 残余伸长率的规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 称为屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示。目前一些技术资料仍沿用这一术语。

(三) 抗拉强度

拉伸过程中最大力 F_b 所对应的应力称为抗拉强度（曾称强度极限），以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

抗拉强度的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力，表征材料在拉伸条件下所能承受最大力的应力值，它是设计和选材的主要依据之一，是工程技术上的主要强度指标。

三、塑性判据

断裂前材料发生不可逆永久变形的能力叫塑性。常用的塑性判据是材料断裂时最大相对塑性变形，如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

(一) 断后伸长率

试样拉断后，标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，以 δ 表示。

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

式中 L_1 ——试样拉断后的标距 (mm)；

L_0 ——试样原始标距 (mm)。

试样的长度和截面尺寸对 δ 是有影响的。按直径的尺寸分为标准试样和比例试样两种。标准试样的直径为 20mm，而比例试样直径是任意的。因采用标距的不同，又有长、短试样之分。国家标准规定，长标距试样的标距以公式 $L_0 = 10d_0$ 或 $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$ 计算，短试样的标距以公式 $L_0 = 5d_0$ 或 $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$ 计算，式中的 d_0 和 S_0 分别为试样原始直径和原始截面积。根据相似定律，凡同一材料加工成试样尺寸能满足 $L_0 / \sqrt{S_0} = \text{常数}$ 的条件，由试验得出的伸长率就可以相互比较。长试样和短试样的这一常数不同，试验数据是不能比较的。长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示，短试样的伸长率用符号 δ_5 表示，对同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$ ，通常试验优先选取短的比例试样。

(二) 断面收缩率

试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，以 ψ 表示。其数值按下式计算：

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

式中 S_0 ——试样原始截面积 (mm²)；

S_1 ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积 (mm^2)。

δ 或 ψ 数值越大, 则材料的塑性越好。

除常温试验之外, 还有金属材料高温拉伸试验方法 (GB/T4338—95) 和低温拉伸试验方法 (GB/T13239—91) 供选用。

第二节 硬 度

硬度能够反映出金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异, 是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的检测性能之一。同时硬度试验是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。

硬度实际上是指一个小的金属表面或很小的体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破裂的一种抗力, 因此硬度不是一个单纯的确定的物理量, 不是基本的力学性能指标, 而是一个由材料的弹性、强度、塑性、韧性等一系列不同力学性能组成的综合性能指标, 所以硬度所表示的量不仅决定于材料本身, 而且还取决于试验方法和试验条件。

硬度试验方法很多, 一般可分为三类: 有压入法, 如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度、显微硬度; 有划痕法, 如莫氏硬度; 有回跳法, 如肖氏硬度等。目前机械制造生产中应用最广泛的硬度是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

一、布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的试验力 F (N), 把直径为 D (mm) 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属的表面 (图 1-3), 保持规定时间后卸除试验力, 用读数显微镜测出压痕平均直径 d (mm), 然后按公式求出布氏硬度 HB 值, 或者根据 d 从已备好的布氏硬度表中查出 HB 值。

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

由于金属材料有硬有软, 被测工件有厚有薄, 有大有小, 如果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D , 就会出现对某些材料和工件不适应的现象。因此, 在生产中进行布氏硬度试验时, 要求能使用不同大小的试验力和压头直径, 对同一种材料采用不同的 F 和 D 进行试验时, 能否得到同一的布氏硬度值, 关键在于压痕几何形状的相似, 即可建立 F 和 D 的某种选配关系, 以保证布氏硬度的不变性。

国家标准 (GB231—84) 规定布氏硬度试验时, 常用的 $0.102F/D^2$ 的比例为 30、10、2.5 三种, 根据金属材料种类、试样硬度范围和厚度的不同, 按照表 1-1 的规范选择试验压头 (钢球) 直径 D 、试验力 F 及保持时间。

淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示, 用硬质合金球作压头测得的硬度值以符号 HBW 表示。符号 HBS 和 HBW 之前的数字为硬度值, 符号后面依次用相应数值注明压

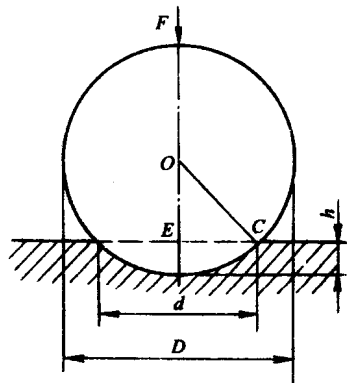


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图