



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

制造工程训练教程

◎主 编：何玉辉 舒金波 蔡小华

副主编：李 燕 彭高明 刘诗月

主 审：吴万荣

ZHIZHAOGONGCHENGXUNLIANJIAOCHENG

附 《制造工程训练报告》



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材
PUTONG GAODENGJIAOYU SHIERWU GUIHUAJIAOCAI

制造工程训练教程

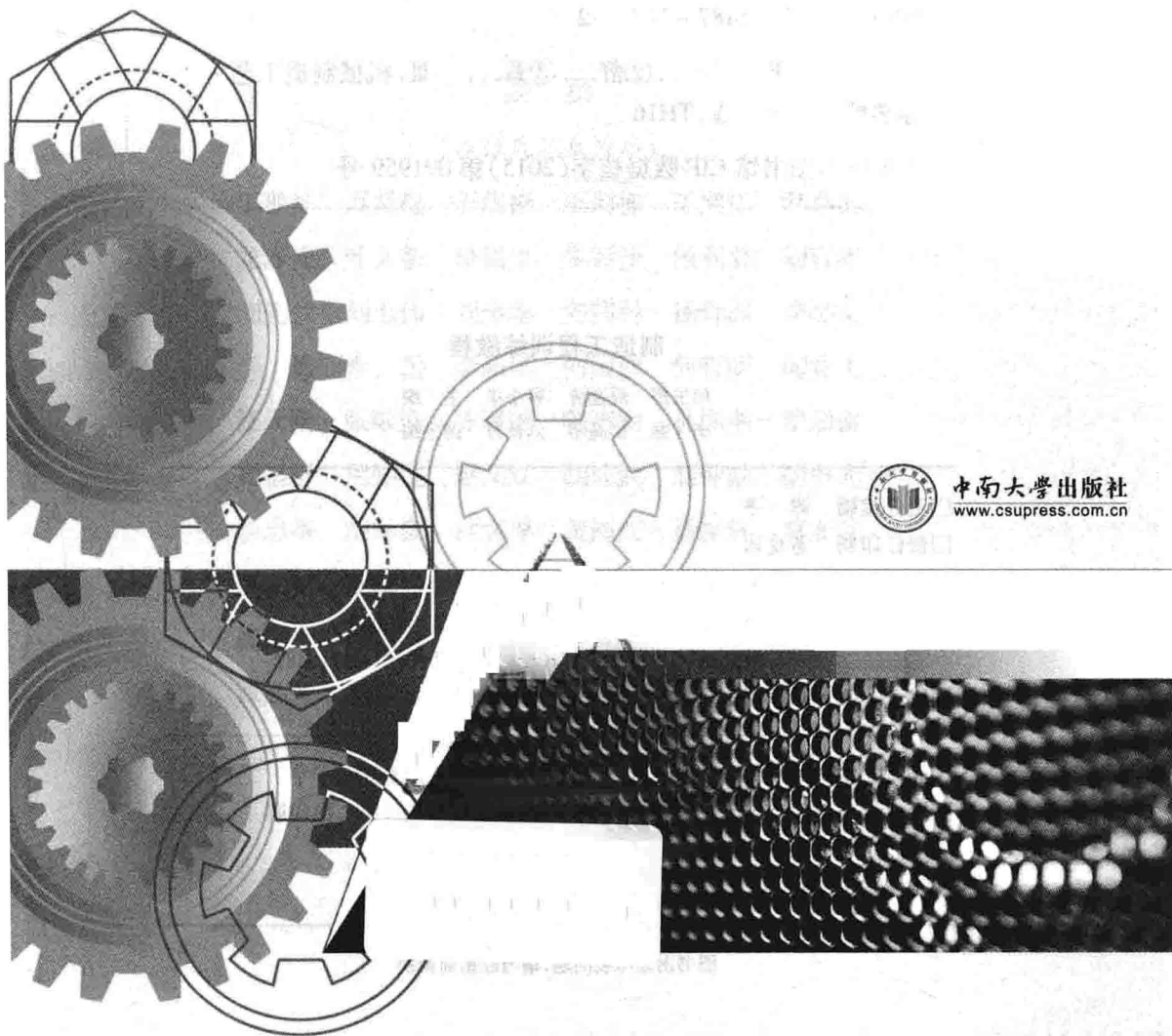
◎主 编：何玉辉 舒金波 蔡小华
副主编：李 燕 彭高明 刘诗月
主 审：吴万荣

ZHIZHAOGONGCHENGXUNLIANJIAOCHENG

附《制造工程训练报告》



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



内容简介

“制造工程训练”是一门实践性很强的技术基础课程,是机械类及近机械类专业学生学习工程材料、材料成形技术、机械制造技术等后续课程必不可少的先修课。

本书共分为四章,内容包括机械产品的制造过程与加工方法、常用材料与热处理、常用表面处理技术、常用量具的使用、工程材料铸造、锻压、焊接、快速成形技术、陶瓷材料成形、车削、刨削、铣削、磨削、钻削、镗削、齿形齿面加工、钳工、数控加工、特种加工和先进生产管理技术等内容,覆盖了机械制造通用基础知识、材料成形加工、金属切削加工和先进制造技术等方面的主要知识点。

本书可作为高等院校机械类和近机械类专业制造工程训练(或工程实践)的教材,也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

制造工程训练教程/何玉辉,舒金波,蔡小华主编.

—长沙:中南大学出版社,2015.5

ISBN 978-7-5487-1471-2

I. 制... II. ①何... ②舒... ③蔡... III. 机械制造工艺 - 高等学校 - 教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 091959 号

制造工程训练教程

何玉辉 舒金波 蔡小华 主 编
李 燕 彭高明 刘诗月 副主编

责任编辑 谭 平

责任印制 易建国

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

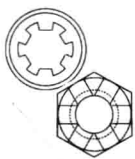
印 装 长沙利君漾印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 26.5 字数 658 千字

版 次 2015年7月第1版 印次 2015年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-1471-2

定 价 65.00 元



普通高等教育机械工程学科“十二五”规划教材编委会

主 任

(以姓氏笔画为序)

王艾伦 刘舜尧 李孟仁 尚建忠 唐进元

委 员

(以姓氏笔画为序)

丁敬平 万贤杞 王剑彬 王菊槐 王湘江 尹喜云
龙春光 叶久新 母福生 朱石沙 伍利群 刘吉兆
刘先兰 刘忠伟 刘金华 安伟科 杨舜洲 李必文
李 岚 李 岳 李新华 何国旗 何哲明 何竞飞
汪大鹏 张敬坚 陈召国 陈志刚 林国湘 罗烈雷
周里群 周知进 赵又红 胡成武 胡仲勋 胡争光
胡忠举 胡泽豪 钟丽萍 贺尚红 聂松辉 莫亚武
夏宏玉 夏卿坤 夏毅敏 高为国 高英武 郭克希
龚曙光 彭如恕 彭佑多 蒋寿生 曾周亮 谭援强
谭晶莹 潘存云

总序 FOREWORD.

机械工程学科作为联结自然科学与工程行为的桥梁，它是支撑物质社会的重要基础，在国家经济发展与科学技术发展布局中占有重要的地位，21世纪的机械工程学科面临诸多重大挑战，其突破将催生社会重大经济变革。当前机械工程学科进入了一个全新的发展阶段，总的发展趋势是：以提升人类生活品质为目标，发展新概念产品、高效高功能制造技术、功能极端化装备设计制造理论与技术、制造过程智能化和精准化理论与技术、人造系统与自然界和谐发展的可持续制造技术等。这对担负机械工程人才培养任务的高等学校提出了新挑战：高校必须突破传统思维束缚，培养能适应国家高速发展需求的具有机械学科新知识结构和创新能力的高素质人才。

为了顺应机械工程学科高等教育发展的新形势，湖南省机械工程学会、湖南省机械原理教学研究会、湖南省机械设计教学研究会、湖南省工程图学教学研究会、湖南省金工教学研究会与中南大学出版社一起积极组织了高等学校机械类专业系列教材的建设规划工作。成立了规划教材编委会。编委会由各高等学校机电学院院长及具有较高理论水平和教学经验的教授、学者和专家组成。编委会组织国内近20所高等学校长期在教学、教改第一线工作的骨干教师召开了多次教材建设研讨会和提纲讨论会，充分交流教学成果、教改经验、教材建设经验，把教学研究成果与教材建设结合起来，并对教材编写的指导思想、特色、内容等进行了充分的论证，统一认识，明确思路。在此基础上，经编委会推荐和遴选，近百名具有丰富教学实践经验的教师参加了这套教材的编写工作。历经两年多的努力，这套教材终于与读者见面了，它凝结了全体编写者与组织者的心血，是他们集体智慧的结晶，也是他们教学教改成果的总结，体现了编写者对教育部“质量工程”精神的深刻领悟和对本学科教育规律的把握。

这套教材包括了高等学校机械类专业的基础课和部分专业基础课教材。整体看来，这套教材具有以下特色：

(1)根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的教学基本要求编写。遵循“重基础、宽口径、强能力、强应用”的原则，注重科学性、系统性、实践性。

(2)注重创新。本套教材不但反映了机械学科新知识、新技术、新方法的发展趋势和研究成果，还反映了其他相关学科在与机械学科的融合与渗透中产生的新前沿，体现了学科交叉对本学科的促进；教材与工程实践联系密切，应用实例丰富，体现了机械学科应用领域在不断扩大。

(3)注重质量。本套教材编写组对教材内容进行了严格的审定与把关，教材力求概念准确、叙述精练、案例典型、深入浅出、用词规范，采用最新国家标准及技术规范，确保了教材的高质量与权威性。

(4)教材体系立体化。为了方便教师教学与学生学习，本套教材还提供了电子课件、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材要出精品，而精品不是一蹴而就的，我将这套书推荐给大家，请广大读者对它提出意见与建议，以利进一步提高。也希望教材编委会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革发展形势、机械工程学科发展趋势和使用中的新体验，不断对教材进行修改、创新、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要。

衷心祝愿这套教材能在我国机械工程学科高等教育中充分发挥它的作用，也期待着这套教材能哺育新一代学子茁壮成长。

中国工程院院士 钟 掘

前言 PREFACE.

“制造工程训练”课程是由“金属工艺学”和“金工实习”改革发展而来。

“金属工艺学”课程一般只有金属制造成为零件的加工工艺内容，“金工实习”则是通过实践使学生获取机械制造的基本工艺知识，仅有锻造、铸造、焊接、冲压、车工、铣工、刨工、磨工和钳工等工种的实习。随着制造技术的不断发展，机械零件的制造不仅使用金属材料，还大量使用非金属材料，如工程塑料、陶瓷材料、复合材料以及各种功能材料，零件的毛坯成形方法增加了少、无切削加工、快速原形制造等新方法；此外，零件的切削加工在传统机床切削基础上，发展到了数控加工、CAD/CAM、电火花加工、激光加工、化学加工、超声波加工、加工中心技术等。所以，“制造工程训练”课程作为高等学校培养学生工程意识和实践能力的重要环节，应该在重视学生的基本技能训练和基本工艺知识学习的基础上，使其教学内容朝着体现机械、电子、信息、系统工程和现代管理的方向发展，从而提高学生的工程素质和综合能力，建立大机械、大制造、大工程的概念。

本书根据教育部制定并实施的“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神，以“学习工艺知识，提高工程素质，培养创新精神”为宗旨，探索现代制造工程训练的内涵和方式，遵循实践教学的特点而编写。本书具有以下特点：

(1) 树立“以学生为中心”、“以读者为中心”的思想，把学生阅读的便利性放在首位，力求通俗易懂，深入浅出。

(2) 囊括了工艺理论与工程实践两部分必备的教学内容，以常规制造工艺内容为主，并扩充了制造领域的新材料、新技术和新工艺，但不刻意追求理论体系的完整性。

(3) 认真总结了近年来本课程建设与教学改革的经验，在教材编写上多选取实用知识，增加了设计参与、创新意识启发和实训范例的内容。

本书可作为高等院校机械类和近机械类专业制造工程训练(或工程实践)的教材，可以教

师授课和学生自学相结合、理论与实践相结合的方式组织教学。本课程总学时为3~6周,可采取灵活的教学方式分层次、分模块选择教学内容。

本书由中南大学何玉辉、舒金波、蔡小华担任主编,全书共四章二十二节。参加编写的有何玉辉(第1.1、1.2、1.4、3.1、3.2、4.1节),舒金波(第2.1、2.2、2.4、4.3节),蔡小华(第2.3、3.6、3.7、3.9节),李燕(第3.3、3.4、3.5、3.8节),彭高明(第4.2节),刘诗月(第1.3、2.5、4.4节)。全书由吴万荣教授审稿,并提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了许多有关的教材和其他资料,在此一并致以谢意。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中不当之处在所难免,恳望读者批评指正。

编 者

2015年6月于长沙

CONTENTS. 目录

第1章 机械制造通用基础知识	(1)
1.1 机械产品的制造过程与加工方法	(1)
1.2 常用材料与热处理知识	(5)
1.3 常用表面处理技术	(31)
1.4 常用量具的使用	(34)
第2章 材料成形加工	(43)
2.1 铸造成形	(43)
2.2 锻压成形	(89)
2.3 焊接成形	(123)
2.4 逆向工程与快速成形技术	(158)
2.5 陶瓷材料的成形	(179)
第3章 金属切削加工	(184)
3.1 金属切削加工基础知识	(184)
3.2 车削加工	(196)
3.3 刨削加工	(228)
3.4 铣削加工	(239)
3.5 磨削加工	(256)
3.6 钻削加工	(275)
3.7 镗削加工	(284)
3.8 齿形齿面加工	(292)
3.9 钳工	(305)
第4章 先进制造技术	(332)
4.1 概 述	(332)
4.2 数控加工	(336)
4.3 特种加工	(378)
4.4 先进生产管理技术	(407)
参考文献	(414)

第1章

机械制造通用基础知识

1.1 机械产品的制造过程与加工方法

1.1.1 机械产品的制造过程

机械产品的制造过程是指从原材料或半成品经过加工和装配后形成最终成品的过程(如图1-1所示),包括产品设计、工艺设计、零件加工、检验、装配调试和入库等过程。

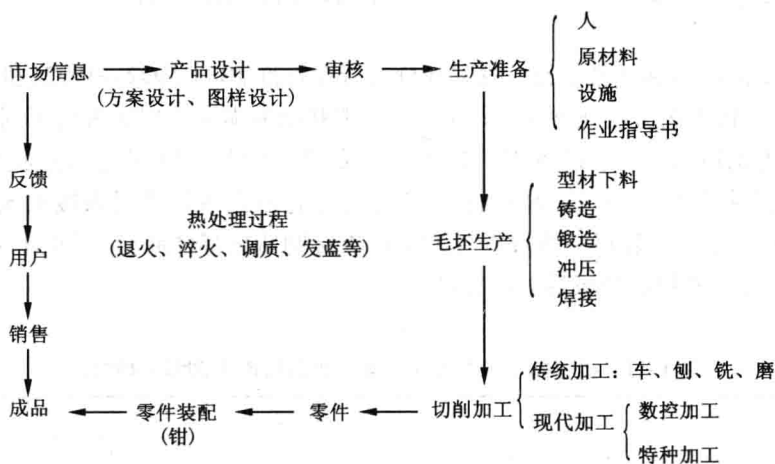


图1-1 机械产品制造生产过程

(1) 产品设计过程 产品设计阶段要全面确定整个产品的策略、外观、结构和功能,从而确定整个生产系统的布局,具有“牵一发而动全身”的重要意义。好的产品,不仅表现为功能上的优越性,而且便于制造,产品效益高,从而使产品在市场上具有强劲的综合竞争力。根据设计中含有的创造性程度把设计分为三种类型:①创新设计(亦称首次设计),是指产品的工作原理、主体结构和所实现的功能,这三者中至少有一项是首创的才可以认定为创新性设计;②适应性设计,是指在总方案原理基本保持不变的情况下,对现有产品进行局部修改,使产品的性能和质量增加某些附加值,因此也叫改进设计;③变型设计,是指提取已存在的设计或设计计划,做出特定的修改以产生一个和原设计相似、但在功能或外观上有创新意义的新产品。据统计,产品设计中70%左右为变型设计和适应性设计,只有小部分才是

创新设计。

(2) 工艺设计过程 为了制造高质量、高产量、低耗能的产品,企业需要根据产品的质量指标和生产批量,确定最佳的工艺方法、工艺路线和生产计划,以保证生产出的产品符合设计的要求。

(3) 零件加工过程 包括毛坯和零件的加工,即采用传统的(例如铸造、锻压、车削、铣削、磨削等)和现代的(主要是数控加工和特种加工方法)加工方法直接改变工件的形状、尺寸和表面性能,使之成为合格零件的过程。

(4) 检验过程 是指采用合适的测量工具对加工好的零件进行检测的过程。

(5) 装配调试过程 任何机械产品都是由零部件组成的。在这个过程中要求按照产品设计规定的技术要求,将组成机器的全部零部件连接和固定在一起,并通过调试、试验、检验等工序使之成为合格成品。机械装配调试工艺过程是决定机械产品质量的关键环节。

(6) 入库 生产出的合格成品等放入仓库保管,等待产品出库销售。

1.1.2 机械制造工艺方法

机械制造工艺是指制造机械产品的方法与过程,是机械工业的基础技术之一。采用科学合适的制造工艺及设备是保证产品质量、节能降耗、高效减排、提高企业经济和社会效益的主要途径。

机械制造工艺的内涵非常丰富,我国现行的行业标准 JB/T 5992—1992《机械制造工艺方法分类与代码》,将工艺方法按照大类、中类、小类和细分类四个层次进行了划分,如表 1-1 所示。表中各类均留有空项,以备以后扩展。需要说明的是,20 世纪末迅猛发展起来的以“快速原型制造”为代表的“离散/堆积成形”工艺方法在制定本标准时未被列入,该方法颠覆了传统的制造模式,用计算机三维数据模型可以直接制造出零件原型(详见本书 2.4 节),被称为最近 20 年来机械制造领域最大的突破。

表 1-1 机械制造工艺方法分类与代码 (JB/T 5992—1992)

大类		中类		小类代码										
代码	名称	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
				小类名称										
0	铸 造	01	砂型 铸造		湿型 铸造	干型 铸造	表面干 型铸造	自硬型 铸造					其他	
		02	特种 铸造		金属型 铸造	压力 铸造	离心 铸造	熔模 铸造	壳型 铸造	实型 铸造	连续 铸造		其他	
1	压 力 加 工	11	锻造		自由锻	胎模锻	模锻	平锻	墩锻	辗锻			其他	
		12	轧制			冷轧	热轧							
		13	冲压		冲裁	弯曲	成形	精整						
		14	挤压		冷挤压	温挤压	热挤压						其他	
		15	旋压		普通旋压	变薄旋压								
		16	拉拔		冷拔	热拉拔								
		19	其他		其他成 形方法									

续表

大类	中类		小类代码											
	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
			小类名称											
2	焊接	21 电弧焊		无气体保护电弧焊	埋弧焊	溶化极气体保护电弧焊	非溶化极气体保护电弧焊	等离子弧焊				其他电弧焊		
		22 电弧焊		点焊	缝焊	凸焊		电阻对焊					其他	
		23 气焊		氧燃气焊	空气燃气焊	氧—乙炔喷焊							气割	
		24 压焊		超声波焊	摩擦焊	锻焊	高机械能焊	扩散焊			气压焊		冷压焊	
		27 特种焊接		铝热焊	电渣焊	气电立焊	感应焊	光束焊	电子束焊	储能焊			螺柱焊	
		29 钎焊		硬钎焊			软钎焊		钎接焊					
3	切削加工	31 刀具切削	车削	铣削	刨削	插削	钻削	镗削	拉削	刮削		其他		
		32 磨削	砂轮磨削	砂带磨削		珩磨	研磨	超精加工				其他		
		34 钳加工	划线	手工锯削	錾削	锉削	手工刮削	手工打磨	手工研磨	平衡		其他		
4	特种加工	41 电物理加工		电火花加工	电子束加工	离子束加工	等离子加工		激光加工	超声加工		其他		
		42 电化学加工		电解电工				电铸				其他		
		43 化学加工												
		46 复合加工 ^①		电解磨削	加热机械切削		振动切削	超声研磨		超声电火花加工				
		49 其他		高压水切割 ^②		爆炸索切割								
5	热处理	51 整体热处理		退火	正火	淬火	淬火与回火	调质	稳定化处理	固溶处理	时效			
		52 表面热处理		表面淬火	物理气相沉积	化学气相沉积		等离子体化学气相沉积						
		53 化学热处理		渗碳	碳氮共渗	渗氮	氮碳共渗	渗其他非金属	渗金属	多元共渗	熔渗			
6	覆盖层	61 电镀		镀单金属	镀合金	镀复合层	镀复合材料层							
		62 化学镀		无电流镀		接触镀								
		63 真空沉积		化学气相沉积	物理气相沉积	离子溅射	离子注入							
		64 热浸镀												
		65 转化膜		化学转化	电化学转化									
		66 热喷涂		熔体热喷涂	燃气热喷涂	电弧喷涂	等离子喷涂	电热喷涂	激光喷涂	喷焊				
		67 涂装		手工涂	喷涂	浸涂	淋涂	机械辊涂	电泳					
69 其他		包覆	衬里	搪瓷	机械镀									

续表

大类		中类		小类代码									
代码	名称	代码	名称	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				小类名称									
8	装配与包装	81	装配		部件装配	总装							
		82	试验与检验		试验	检验							
		85	包装		内包装	外包装							
9	其他	91	粉末冶金		轴向压实	等静压实	挤压与轧制						
		92	冷作		弯形	扩胀	收缩	整形					
		93	非金属材料成形		聚合材料成形	橡胶材料成形	玻璃成形	复合材料成形					
		94	表面处理		清洗	粗化	光整	强化					
		95	防锈		水剂防锈	油剂防锈	气相防锈	环境封存防锈	可剥性塑料防锈				
		96	缠绕		弹簧缠绕	绕组绕制							
		97	编织		筛网编织								
		99	其他		黏接	铆接							

①近年来在半导体工业中广泛应用的“光刻加工”属于“化学—光”复合加工，还未列入标准。

②又称“水喷射加工”，除用于切割外，也可用于孔加工等。

1.1.3 机械制造加工工艺过程及其组成

通过采用机械加工方法直接改变毛坯的形状、尺寸、各表面间相互位置及表面质量，使之成为合格零件的过程，称为机械加工工艺过程。它包括工序、安装、工位、工步、走刀等。

(1) 工序 工序是指由一个或一组工人在同一台机床或同一个工作地，对一个或几个工件连续完成的那部分工艺过程，是机械加工工艺过程的基本单元。工序的四要素是：工作地、工人、工件和连续作业。如果其中任一要素发生变换，则变为了另一道工序。如图 1-2 所示的阶梯轴，根据不同的生产批量，从而有不同的工艺过程及工序，如表 1-2 和表 1-3 所示。

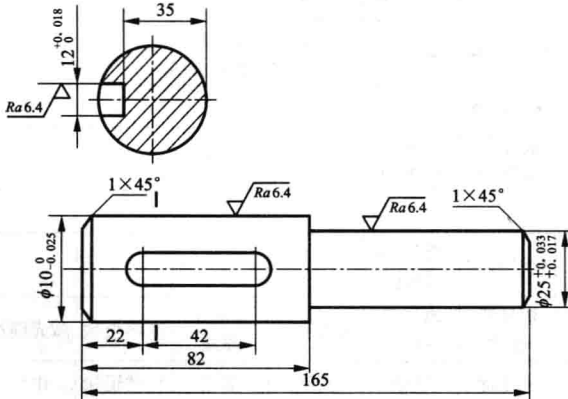


图 1-2 阶梯轴零件图

表 1-2 阶梯轴单件生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面,小端面钻中心孔, 粗车小端外圆,小端倒角;	车床
	加工大端面,大端面钻中心孔, 粗车大端外圆,大端倒角	
	精车外圆	
2	铣键槽,手工去毛刺	铣床

表 1-3 阶梯轴大批大量生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面,小端钻中心孔, 粗车小端外圆,小端倒角	车床
2	加工大端面,大端钻中心孔, 粗车大端外圆,大端倒角	车床
3	精车外圆	车床
4	铣键槽,手工去毛刺	铣床

(2)安装 在一道工序中,工件在加工位置上要装夹一次或多次,工件每经一次装夹后所完成的那部分工序称为安装。因为安装是有误差的,故应尽可能减少装夹的次数。例如表 1-2 中工序 1 在加工过程中需要 3 次掉头装夹才能完成全部工序内容,因此该工序共有 4 个安装;表 1-2 中工序 2 一次装夹下可以完成全部工序内容,故该工序只有 1 个安装。

(3)工位 现实生产中,常采用多工位夹具或多轴机床,以减少装夹次数,使工件可以在一次安装中先后经过若干个不同位置依次进行加工。而工件在机床上所在的每一个位置所完成的那部分工序称为工位。

(4)工步 在加工表面、切削刀具不变的情况下所连续完成的那部分工序称为工步。

(5)走刀 一次走刀是指在同一加工表面上因加工余量较大,可以作几次进给,每次进给时所完成的工步。

1.2 常用材料与热处理知识

1.2.1 金属材料的性能

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能,其中使用性能是指金属零件在使用条件下金属材料所表现出来的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能;工艺性能是指金属材料在制造机械零件的过程中适应各种冷、热加工和热处理的性能。在工业装备的设计与制造中,主要考虑材料的力学性能与工艺性能,某些特定条件下工作的零件还要求材料具备一定的物理性能和化学性能。

1. 金属材料的力学性能

金属材料在外力作用下所反映出来的抵抗能力称为力学性能,常用的力学性能包括:强度、塑性、硬度和冲击韧性等。

(1)强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形或断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式,所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。抗拉强度是最基本的强度指标,一般所说的强度指的是抗拉强度。

抗拉强度是将金属试样夹持在拉伸试验机上测试出来的。试验时,对拉伸试样缓慢增加载荷,在拉力作用下,试样产生变形且被不断拉长,直至断裂,如图 1-3 所示。

用低碳钢试样作拉伸试验时,可得到如图 1-4 所示的拉伸曲线。曲线上,纵坐标表示外

力的大小，横坐标表示试样的变形量。由图可知，当外力小于 F_e 时， OE 段为直线，试样的变形与外力成正比例关系，若外力消失，试样能恢复至初始长度，表明试样仅发生弹性变形；当外力大于 F_e 时， ES 段为曲线，试样除了发生弹性变形外，还发生塑性变形（即不能恢复的变形），若外力消失，试样不能完全恢复到初始长度，表明试样的弹性变形消失，而塑性变形不能消失， E 点称为弹性极限点；当外力增加到 F_s 时， S 点附近的曲线近似于水平线，会发生外力基本不变，而试样却在连续伸长的现象，这种现象称为“屈服”， S 点称为屈服点；当外力增大到 F_b 时， SB 段为曲线，试样发生明显的塑性变形，在 B 点出现“缩颈”现象，即局部截面明显缩小、试样承载能力降低，拉伸力达到最大值， B 点称为极限载荷点；当外力降低至 F_k 时，试样变形量增大，在 K 点试样在缩颈处断裂， K 点称为断裂点。

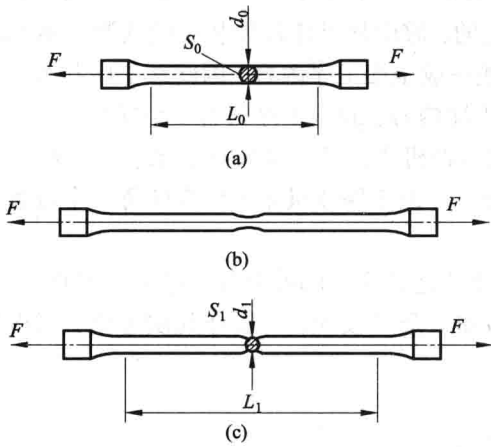


图 1-3 拉伸试样的拉伸断裂过程

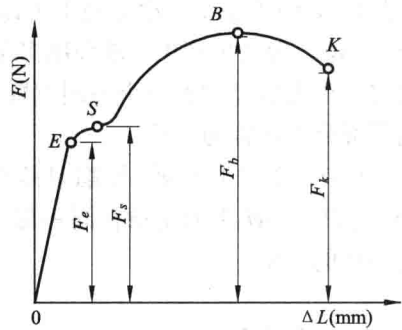


图 1-4 低碳钢的拉伸曲线

根据拉伸曲线所反映出的试样拉伸变形与断裂的情况，可以得到如下的概念：

1) 弹性极限 σ_e 。在外力作用下，金属材料能保持弹性变形的最大应力，即：

$$\sigma_e = F_e / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中， F_e 为试样发生最大弹性变形时的拉伸力 (N)； S_0 为试样原始横截面积 (mm^2)。

为方便比较，根据国家标准，把产生残余伸长为 0.01% 的应力规定为弹性极限，用 $\sigma_{p0.01}$ 表示，并将 $\sigma_{p0.01}$ 称为规定非比例伸长应力。

2) 屈服强度 σ_s 。在外力作用下，金属材料开始发生屈服现象时的最小应力，即：

$$\sigma_s = F_s / F_0 \text{ (MPa)}$$

式中， F_0 为试样发生屈服现象时的拉伸力 (N)。

3) 抗拉强度 σ_b 。在拉伸力作用下，金属材料断裂前能承受的最大应力，即：

$$\sigma_b = F_b / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中， F_b 为试样断裂前的最大拉伸力 (N)。

金属材料的强度在机械设计中具有重要意义。设计弹簧和弹性零件时，材料的许用应力不应超过其弹性极限，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_e$ ；采用韧性材料制造机械零件时，材料的许用应力不应超过其屈服点，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_s$ ；采用脆性材料制造机械零件时，其许用应力不应超过抗拉强度，即 $\sigma_{\text{许}} < \sigma_b$ 。倘若违反这些规则，机械零件就不能正常使用。

(2) 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的能力。如图1-3所示,用断后伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 来表示,其计算式如下:

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

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

式中, L_0 为试样原始标距长度(mm); L_1 为试样拉断后的标距长度(mm); S_1 为试样拉断后缩颈处的最小横截面积(mm^2)。

用同一种材料不同长度的试样测定金属材料的断后伸长率时,得到的 δ 值不同。用长比例试样($L_0 = 10d_0$)测得的断后伸长率用 δ_{10} 表示,简写为 δ ;用短比例试样($L_0 = 5d_0$)测得的断后伸长率用 δ_5 表示。对于同一种金属材料而言,其断后伸长率 δ 随标距长度 L_0 增加而变小,故有 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。断面收缩率则不受试样长短的影响。

金属材料的断后伸长率与断面收缩率数值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大塑性变形而不被破坏,适用于通过各种压力加工的形状复杂的零件。对于大多数零件而言,只要 $\delta \geq 5\%$ 或 $\psi \geq 10\%$ 就可以满足使用要求,过高地追求材料的塑性指标将导致强度偏低,不利于提高零件的使用寿命。

(3) 硬度

硬度是金属材料抵抗集中载荷作用或抵抗硬物压入的能力,是衡量金属材料软硬程度的指标。常用的方法有布氏硬度(HBS或HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)和维氏硬度(HV)等方法。

1) 布氏硬度

布氏硬度值在布氏硬度计上测定。如图1-5所示,用直径为 D 的钢球或硬质合金球作为压头,以规定的试验力压入待测表面,保持规定时间后,卸载后测量材料表面压痕直径,以此计算出硬度值,其计算式为:

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

式中,HBS为压头为钢球时的布氏硬度值;HBW为压头为硬质合金球时的布氏硬度值; D 为压头直径(mm); F 为试验压力(N); d 为压痕平均直径(mm)。

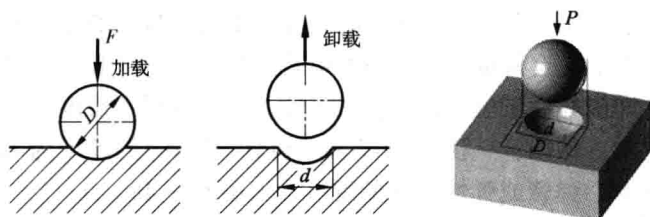


图1-5 布氏硬度试验

在实际生产中,布氏硬度试验值无须计算,只需要测出材料表面压痕直径 d 后,直接查

阅布氏硬度表，从而得到 HBS(或 HBW)的数值。在进行布氏硬度试验时，若布氏硬度值 < 450HBS 的材料，选用淬火钢球压头；若布氏硬度值处于 450 ~ 650HBS 之间，则选用硬质合金球压头。布氏硬度的优点是测量误差小，数据稳定，重复性强；其缺点是压痕面积较大，测量费时。它常用于测量较软材料、灰铸铁、有色金属、退火正火钢材的硬度，而不适于测量成品零件或薄件的硬度。

2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作为压头，在初载荷 F_0 与总载荷 F (为初载荷 F_0 与主载荷 F_1 的总和) 分别作用下压入待测材料表面，保持规定时间，然后卸除主载荷 F_1 ，在初载荷作用下测量压痕深度残余增量 e 来计算出硬度值，如图 1-6 所示。 e 值较小，表明金属材料硬度较高； e 值较大，表明材料的硬度较低。试验时，可以通过洛氏硬度计上的刻度盘直接读出洛氏硬度值。

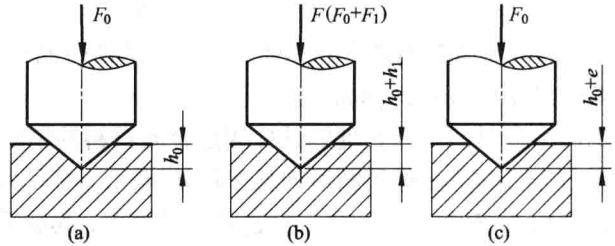


图 1-6 洛氏硬度试验

根据试验时所用的压头和载荷不同，洛氏硬度有如表 1-4 所示的三种硬度标尺。

表 1-4 三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

符号	压头	初载荷 (N)	主载荷 (N)	测量范围	应用范围
HRA	顶角 120° 金刚石圆锥	98.1	490.3	60 ~ 85	硬质合金或表面处理过的零件等
HRB	直径 1.588 mm 钢球	98.1	882.6	25 ~ 100	退火钢、灰铸铁及有色金属等
HRC	顶角 120° 金刚石圆锥	98.1	1373	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

注：三种标尺的硬度值 HRA, HAB, HRC 的计算公式如下：

$$HRA(HRC) = 100 - \frac{e}{0.002}, HRB = 130 - \frac{e}{0.002}$$

式中， e 为卸除主载荷后，在初载荷下的压痕深度残余增量(mm)。

洛氏硬度的优点是测量操作简单，方便快捷，压痕小；测量范围大，能测较薄工件。其缺点是测量精度较低，可比性差，不同标尺的硬度值不能比较。它是生产中应用最广泛的硬度试验方法，可用于成品检验和薄件表面硬度检验，不适于测量组织不均匀的材料。

硬度试验是一种非破坏性试验，能直接在零件上测定成品的硬度。一般零件图上都标有硬度值范围的技术要求。例如，一般工具(刀具、模具、量具)的硬度为 HRC60 ~ 66，结构零件的硬度为 HRC25 ~ 40，弹簧或弹性零件的硬度为 HRC40 ~ 48。

金属材料的硬度与其他性能指标之间有一定的关系。例如，在一定的范围内的钢材，硬度 HB 与抗拉强度 σ_b 之间的经验关系为：

低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36HBS;$

合金调质钢 $\sigma_b \approx 0.33HBS;$