



普通高等教育“十五”国家级规划教材

热能与动力机械 制造工艺学

陶正良 主 编
张 华 副主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十五”国家级规划教材

热能与动力机械制造工艺学

主 编 陶正良
副主编 张 华
参 编 赵志军 刘 敏
任秋梅 廖旭东
主 审 林宗虎



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是根据许多高校设置的热能与动力机械大专业的需要,按新的教学计划编写而成。

本书除了讲授热能与动力机械制造工艺学的基础知识外,又介绍了汽轮机、锅炉、制冷机等制造工艺,便于各高校根据各自的特点全部或选择性地教学。本书的内容既有理论又结合我国工程实际,许多新技术和新工艺在书中都得到反映和充实,是一本具有特色的制造工艺学教材。

本书为热能与动力工程类专业的本科生教材,也可作为相应领域的设计及工艺部门、科研院所的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

热能与动力机械制造工艺学/陶正良主编. —北京:机械工业出版社, 2006.5

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-111-19092-0

I. 热... II. 陶... III. ①热能-高等学校-教材 ②动力机械-机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TK11

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第044773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:邓海平 责任编辑:蔡开颖 版式设计:张世琴

责任校对:李秋荣 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·462千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，是根据全国许多高等院校都设置热能与动力机械大专业的现实需要，按新的教学计划编写而成。

近十余年来能源、动力、制冷技术得到了飞速发展，传统行业与信息产业得到了有效的结合，与此相应，培养热能与动力工程专业学生的教学需要更新，而本书反映的专业方向及知识面较宽，各类新技术和新工艺得到充分体现，并且与热能动力工程专业基础课程得到很好的衔接。

本书编写人员均是长期从事能源、动力、制冷技术的一线教学与科研人员，同时还约请国内大型专业企业集团的技术人员参与编写部分章节。编写人员的有机结合将使本书覆盖的内容得到较好的阐述。本书可以将目前大专业办学的几门专业方向的制造工艺学课程整合成一门较为系统的专业教材。本书由上海理工大学陶正良负责第1篇第1~4章和第3篇第10章的撰写，其中大连冰山集团的任秋梅、刘敏分别参与了第2章和第3章部分内容的编写；上海理工大学赵志军负责第2篇第5~8章和第3篇第9章的撰写；上海理工大学张华负责第4篇第11~14章的撰写，其中大连冰山集团的刘敏、廖旭东等参与了部分内容的编写。全书由陶正良任主编，张华任副主编。陶正良负责制定编写大纲、修改和定稿工作。

全书由西安交通大学林宗虎教授主审。林教授认真审阅了全书，并对本书的结构、论述等提出了很多意见和建议，为本书增色不少，特此感谢。

在本书的编写过程中得到上海理工大学、上海电力学院、上海市重点学科建设项目（T0503）、大连冰山集团、上海汽轮机厂、上海锅炉厂等单位的同行及有关领导以及赵钧鐸、李永光、邬志敏、王志强、刘殿铭等同志的大力支持；上海汽轮机有限公司工艺处的王春复、褚春弟、徐雄国、金建江为第2篇的编写提供了大量资料，上海锅炉厂有限公司王炯祥对第3篇的编写提出了很好的建议；上海理工大学的江薛麟、何明勋等同志为本书的编写、打印等工作进行协助，在此谨表示诚挚的谢意。

本书适合作为热能与动力工程专业的本科教材，也可作为有关企业的工程技术人员的参考书。

限于编者水平，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1篇 工艺基础知识

第1章 机械加工基础	1	2.4 切割	43
1.1 概述	1	2.5 气割	43
1.2 机械加工精度和表面质量	3	2.6 等离子弧切割	45
1.2.1 加工精度与加工误差	3	2.7 典型焊接工艺示例	45
1.2.2 产生加工误差的主要因素	3	第3章 板料的冲压工艺基础	48
1.2.3 表面质量	5	3.1 冲压零件的要求及常用材料	48
1.2.4 表面质量对零件使用性能的影响	6	3.1.1 冲压零件的要求	48
1.2.5 各种加工方法所能达到的经济精度	7	3.1.2 冲压零件的常用材料	48
1.2.6 表面粗糙度的选择	7	3.2 冲压工艺	49
1.3 尺寸链	12	3.2.1 冲裁件的工艺性	50
1.3.1 尺寸链的基本概念	12	3.2.2 弯曲件的工艺性	53
1.3.2 尺寸链的解法	15	3.2.3 拉深件的工艺性	55
1.3.3 尺寸链的应用	18	3.2.4 成形件的工艺性	56
1.4 夹具	21	3.3 制定冲压工艺方案的原则	57
1.4.1 机床夹具的作用和组成	21	3.4 冲压设备和模具	57
1.4.2 工件的定位与夹紧	22	3.4.1 冲压设备	57
1.4.3 夹具体、对刀装置与导向元件	30	3.4.2 模具	57
第2章 焊接和切割的工艺基础	32	3.5 模具材料的选用与热处理	63
2.1 焊接结构的要求和原则	32	第4章 数控加工基础	64
2.1.1 焊接结构设计的基本要求	32	4.1 数控技术概述	64
2.1.2 焊接结构设计的基本原则	32	4.1.1 数控技术的基本概念	64
2.1.3 焊接结构的选材	33	4.1.2 机床数控技术的组成	64
2.2 焊接方法及设备	34	4.1.3 数控加工零件的过程	66
2.2.1 焊接方法简介	34	4.1.4 数控机床的分类	67
2.2.2 焊接设备	35	4.1.5 数控技术的发展趋势	67
2.3 焊接接头及其设计	41	4.2 数控编程技术	68
2.3.1 焊接接头的基本类型	41	4.2.1 发展历程	68
2.3.2 熔焊接头的坡口形状和尺寸	42	4.2.2 数控编程的内容和步骤	69
		4.2.3 数控编程的方法	70
		4.2.4 数控机床的坐标系	70

4.2.5 常用的编程指令	71	4.3.1 概述	72
4.3 加工中心	72	4.3.2 JCS—018A 立式加工中心	74

第 2 篇 汽轮机制造工艺

第 5 章 汽轮机叶片制造工艺	80	第 7 章 汽缸的制造工艺	121
5.1 叶片的结构和分类	80	7.1 汽缸的分类及主要结构形式	121
5.1.1 叶片的分类	80	7.1.1 汽轮机汽缸的分类	121
5.1.2 叶片的结构	80	7.1.2 汽缸的典型结构形式	122
5.2 叶片的工作条件及材料要求	82	7.1.3 汽缸的主要制造工艺	126
5.2.1 叶片的工作条件	82	7.1.4 汽缸的铸造	127
5.2.2 叶片材料的要求	83	7.2 不同类型汽缸的机械加工	127
5.2.3 汽轮机叶片常用材料	84	7.2.1 铸钢汽缸	127
5.3 叶片的毛坯制造	84	7.2.2 铸铁汽缸	127
5.3.1 叶片常用的毛坯形式	84	7.2.3 焊接汽缸	128
5.3.2 毛坯形式的选用原则	86	7.3 汽缸机械加工中的典型工序	128
5.4 叶片汽道型面的加工工艺	87	7.3.1 划线	128
5.4.1 叶片汽道型面的加工方法	87	7.3.2 水平中分面的加工	128
5.4.2 叶片常用的汽道成形规律	88	7.3.3 水平中分面上联接孔和螺孔 的加工	129
5.4.3 等截面直叶片加工	89	7.3.4 水平中分面上疏水槽、卸荷 槽的加工	129
5.4.4 有成形规律的叶片汽道加工	91	7.3.5 汽缸内腔加工	130
5.4.5 自由成形叶片的加工	92	7.3.6 汽缸的水压试验	131
5.4.6 三联叶片的加工工艺	92	7.3.7 汽缸加工的设备与工装	131
5.4.7 整体喷嘴加工工艺	93	7.4 典型汽轮机汽缸的加工工艺	132
5.4.8 叶片汽道型面加工的实例	93	7.4.1 铸钢汽缸的加工工艺	132
5.5 叶根的机械加工工艺	96	7.4.2 铸铁汽缸的加工工艺	135
5.5.1 叶根的结构形式	96	7.4.3 钢板焊接汽缸的加工工艺	136
5.5.2 叶根的加工方法	98	7.5 300MW 汽轮机汽缸的加工工艺	137
5.6 叶片叶型测量	103	第 8 章 汽轮机的厂内总装与现场 安装	140
5.6.1 叶型测量方法	103	8.1 汽轮机转子的装配和平衡	140
5.6.2 对叶片测量仪器的展望	105	8.1.1 汽轮机转子动叶片的装配 工艺	140
第 6 章 转子与叶轮的制造工艺	106	8.1.2 套装式转子叶轮装配	148
6.1 汽轮机转子的制造工艺	106	8.1.3 汽轮机转子的动平衡试验	151
6.1.1 汽轮机转子的组成和作用	106	8.1.4 汽轮机转子装配工艺的主要 流程	152
6.1.2 转子的分类和结构形式	106	8.1.5 主要安装设备、工装及检测 工具	153
6.1.3 汽轮机主轴和转子体锻件的 热稳定性试验	110	8.2 汽轮机的厂内总装工艺	154
6.1.4 汽轮机转子叶根轮槽的加工	111	8.2.1 汽轮机厂内总装盘车基本要求	154
6.1.5 汽轮机转子的机械加工工艺	114		
6.2 汽轮机叶轮的加工工艺	117		
6.2.1 叶轮的主要结构形式	117		
6.2.2 叶轮材料	118		
6.2.3 汽轮机叶轮的加工工艺	118		

8.2.2 厂内总装盘车工艺过程	155	8.3.2 汽轮机现场安装的基本技术 要求	162
8.2.3 汽轮机部件的找中	159	8.3.3 汽轮机现场安装工艺流程	162
8.2.4 主要设备及工装	161	8.3.4 主要工序说明	163
8.3 汽轮机的现场安装	161	8.3.5 主要安装专用工具	167
8.3.1 厂内加工及装配状态	161		

第3篇 锅炉制造工艺

第9章 电站锅炉的锅筒制造工艺	169	9.6.1 锅筒制造中的检验	190
9.1 锅筒的材料选用	169	9.6.2 大型电站锅炉锅筒制造过程中 的质量控制	193
9.2 锅筒筒节的制造工艺	170	第10章 锅炉管件的制造工艺	197
9.2.1 锅筒筒节的下料与卷制	171	10.1 管件的划线与下料	197
9.2.2 锅筒筒节纵环缝焊接	173	10.2 管子的弯曲	197
9.3 封头的制造工艺	177	10.2.1 管子弯曲时的变形分析	197
9.3.1 封头毛坯展开尺寸的计算	177	10.2.2 机械冷态弯管	198
9.3.2 封头的冲压成形与受力分析	179	10.2.3 机械热态弯管	200
9.3.3 封头冲压工艺与影响质量因素 分析	181	10.2.4 小弯曲半径管件的弯制	201
9.3.4 封头的爆炸成形与旋压成形	184	10.3 管子的焊接工作	202
9.3.5 成形封头的端面加工与质量 检验	184	10.3.1 小口径厚壁管的自动氩弧 焊接	202
9.4 锅筒与管件的连接	185	10.3.2 管子的全位置脉冲电流等离子 弧焊接	203
9.4.1 排孔划线与钻孔	185	10.4 膜式水冷壁管排的制造	204
9.4.2 锅筒与管件的连接	185	10.4.1 膜式水冷壁管排的组合方式	204
9.5 锅筒制造中的热处理	188	10.4.2 膜式水冷壁制造工艺流程	207
9.5.1 锅筒筒节的正火处理	188	10.4.3 膜式水冷壁管排的组装及弯制	207
9.5.2 高强度低合金钢锅筒的调质 处理	188	10.5 蛇形管排的制造工艺	207
9.5.3 锅筒的焊后热处理	189	10.6 具有扩展表面的对流受热面管件 的制造工艺	208
9.6 锅筒制造中的检验与质量控制	190		

第4篇 制冷机制造工艺

第11章 制冷压缩机加工与装配 工艺	210	11.4 活塞加工的技术要求和工序	214
11.1 制冷压缩机材料的选择	210	11.4.1 活塞机械加工的技术要求	214
11.2 曲轴加工的技术要求和工序	211	11.4.2 活塞加工的主要工序	214
11.2.1 曲轴加工工艺的技术要求	212	11.5 阀片加工的技术要求和工序	215
11.2.2 曲轴加工的主要工序	212	11.5.1 阀片加工的工艺技术要求	215
11.3 连杆加工的技术要求和工序	213	11.5.2 阀片活塞加工的主要工序	215
11.3.1 连杆机械加工的技术要求	213	11.6 机体加工的技术要求和工序	216
11.3.2 连杆加工的主要工序	214	11.6.1 机体机械加工的工艺过程	216
		11.6.2 机体加工的主要工序	216
		11.7 机壳加工	216

11.7.1 材料与加工过程	217	13.4.2 氟利昂制冷管道	254
11.7.2 机壳上装配件的安装	218	13.4.3 氨制冷管道布置	257
11.8 压缩机装配	219	13.4.4 水管路布置	259
11.8.1 零件清洗	219	第 14 章 制冷设备的安装与调试	260
11.8.2 部件装配	219	14.1 制冷设备安装的基本要求	260
11.8.3 整机装配	219	14.1.1 安装场地的要求	260
11.8.4 试车运转	220	14.1.2 制冷机房的要求	260
第 12 章 制冷换热器加工工艺	221	14.1.3 制冷设备安装施工要求	261
12.1 制冷换热器的分类、结构和选材	221	14.1.4 制冷设备基础浇注要求	261
12.1.1 蒸发器	221	14.2 制冷压缩机安装	261
12.1.2 冷凝器	222	14.2.1 中小型压缩机的安装	262
12.1.3 经济器	224	14.2.2 大型压缩机的安装	262
12.1.4 中间冷却器	224	14.3 制冷换热器及辅助设备安装	263
12.1.5 冷却器	224	14.3.1 冷凝器安装	263
12.1.6 液化器	224	14.3.2 蒸发器安装	264
12.2 壳管式换热器的加工	224	14.3.3 节流机构安装	265
12.2.1 壳管式换热器的结构工艺特点	225	14.3.4 阀门安装	267
12.2.2 主要零件的加工工艺	226	14.4 管道安装	268
12.2.3 卧式冷凝器的组装机件	233	14.4.1 氨管道	268
12.2.4 壳管式蒸发器的制作工艺	236	14.4.2 氟利昂管道	270
12.3 整张套片管式换热器的加工	237	14.4.3 管道的隔热保温	272
12.3.1 主要零件的加工工艺	237	14.5 压缩机的性能试验	272
12.3.2 整张套片管式换热器的组装机件	239	14.5.1 空气试车	272
12.3.3 翅片管换热器的生产流水线	240	14.5.2 性能试验	273
第 13 章 制冷系统的工艺	242	14.6 制冷系统的吹污、检漏和抽真空	276
13.1 制冷系统中水分与空气的防止与排除	242	14.6.1 制冷剂吹污	276
13.1.1 水分与干燥	242	14.6.2 检漏	276
13.1.2 空气和排除	245	14.6.3 抽真空	277
13.2 制冷剂的选择与充注量	246	14.7 制冷剂的充注	278
13.2.1 选用制冷剂的要点	246	14.8 制冷机调试	279
13.2.2 制冷剂的充注量	248	14.9 小型冷库的安装和调试	279
13.3 润滑油的选用和添加量	250	14.9.1 商业冷库库体的安装	279
13.3.1 润滑油	250	14.9.2 制冷设备的安装	281
13.3.2 润滑油的选用	250	14.9.3 冷库的调试	281
13.3.3 润滑油的添加量	252	14.10 制冷系统故障分析处理	282
13.3.4 润滑油使用时的注意事项	253	14.10.1 制冷系统正常运转的标志	282
13.4 管路布置	254	14.10.2 制冷压缩机的异常声音	282
13.4.1 制冷管道的布置原则	254	14.10.3 制冷系统的常见故障及排除	283
		参考文献	290

第1篇 工艺基础知识

本篇的主要任务是介绍透平机械、锅炉制造及制冷机加工工艺中所需要的机械加工、焊接与切割、板料的冲压和数控加工方面的有关基础知识。

第1章 机械加工基础

1.1 概述

各种热能与动力机械（如内燃机、汽轮机、燃气轮机、压气机、锅炉、制冷机等）都是由许多零件、组件和部件装配而成的。一台复杂的机器，它的生产过程往往是由许多工厂联合完成的。如汽轮机上所用的电动机、电器、滚动轴承、标准件、非金属制品等都是由相应的专业工厂完成的。

工厂的生产过程是指从生产准备开始到成品出厂的全部过程。机械产品的生产基本过程如图 1-1 所示。

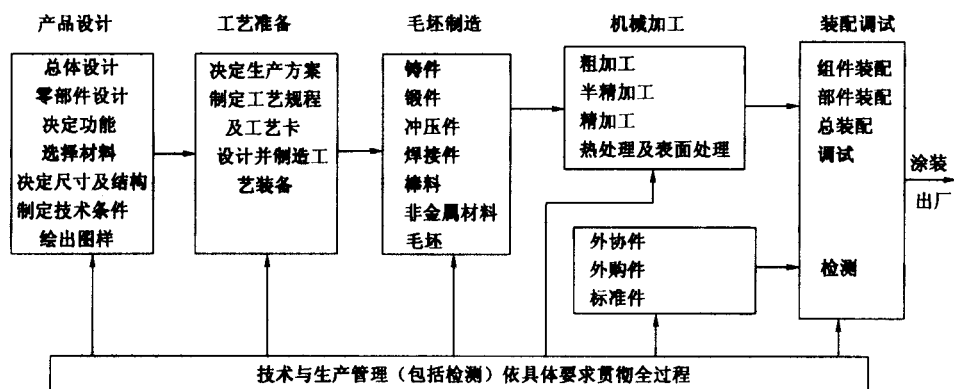


图 1-1 机械产品生产基本过程

工厂的工艺过程包括以下几个主要阶段：毛坯制造（铸造、锻造等）；将毛坯加工成零件（机械加工、热处理等）；将零件装配成机器并调试成合格的产品。

将工艺过程中的各项内容写成文件就是工艺规程。

毛坯进入机械加工车间以后，要依次在一些机床上进行加工。机械加工过程一般分为如下组成部分：

1) 工序、工步和走刀。工序是组成工艺过程的基本单元。工序是指一个（或一组）工人，在一台机床（或一个工作地点），对一个（或同时对几个）工件所连续完成的那部分工

艺过程。

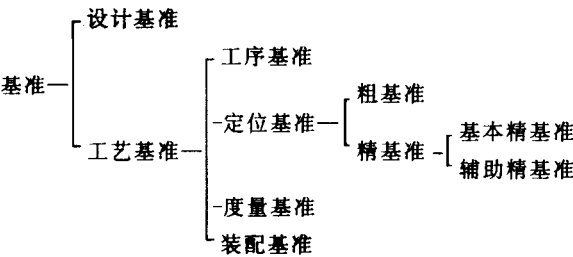
工步是在加工表面不变、切削刀具不变、切削用量（不包括背吃刀具）不变的条件下所连续完成的那部分工艺过程。

走刀是切削工具在加工表面上切削一次所完成的那部分工艺过程。

2) 安装和工位。工件在机床上（或在夹具中）定位后予以夹紧的过程称为安装。

采用转位（或移位）夹具、回转工作台，或在多轴机床上加工时，工件在机床上安装后，要经过若干个位置一次进行加工，工件在机床上所占据的每一个位置上完成的那部分工艺过程称为工位。

机械加工过程中常用到基准的概念。基准的分类如下：



(1) 设计基准 设计基准是零件设计图上标定某些点、线、面位置时所依据的点、线、面。如图 1-2 所示的曲轴，A 面分别是 A'、B、D、F 和 H 面的设计基准；B 面是 C 面、D 面是 E 面、F 面是 G 面的设计基准；轴线 O-O 是 O'-O' 和 O''-O'' 的设计基准。

(2) 工艺基准 在零件加工、测量和机器装配时所采用的基准。按其用途又可分为工序基准、定位基准、度量基准和装配基准。

1) 工序基准。工序基准也称为原始基准，是在工序卡片（或其他工艺文件）上用以确定被加工表面位置的基准。确定被加工表面位置的尺寸称为工序尺寸，工序尺寸的起点就是工序基准。

如图 1-3a 所示，在加工齿轮毛坯的端面 E 及内孔 F 的工序中，B 面及轴线 O-O 是 E 及 F 的工序基准，尺寸 a 及 d_F 是工序尺寸。在图 1-3b 中，对于加工齿轮端面 D 及外圆 C 的工序来说，E 面及轴线 O-O 是 D 及 C 的工序基准，尺寸 b 及 d_C 是工序尺寸。工序基准和工序尺寸可用于工艺过程的任一工序中。

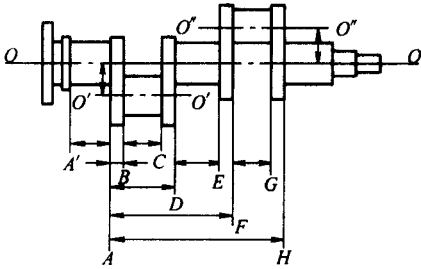


图 1-2 曲轴的设计基准

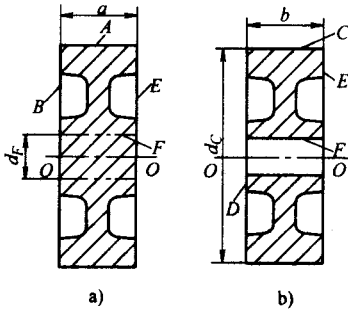


图 1-3 齿轮的加工

2) 定位基准。定位基准是工件在夹具上（或直接在机床上）定位时，用以使工件在工序尺寸方向上相对于刀具得到确定位置的基准。

从图 1-3a 可以看出,在加工齿轮端面 E 及内孔 F 的第一工序中,由于是以毛坯外圆面 A 及端面 B 确定工件在夹具上的位置,所以 A 、 B 面就是此工序的定位基准。在图 1-3b 中,是以 E 面及 F 内孔面确定工件的位置,加工齿轮端面 D 及外圆 C , E 及 F 就是此工序的定位基准。由于工序尺寸方向不同,作为定位基准的表面也不同。

作为定位基准的表面可用未经加工的表面或已经加工过的表面。未经加工的表面称为粗基准(毛基准);已经加工过的表面则称为精基准(光基准)。精基准中又可分为基本精基准和辅助精基准。若在装配时也是作为装配基准的,称为基本精基准;辅助精基准则是指用作精基准的表面在装配和使用时无用处者。

3) 度量基准。度量基准指用以度量加工表面位置的基准。在工件进行加工或加工完毕进行检验时,用到度量基准。

4) 装配基准。装配基准指当零件装配成部件和机器时,用以确定零、部件在机器中位置的基准。例如,将曲轴装进机体,曲轴上与机体接触、限制曲轴轴向运动的两轴肩面(图 1-2 中的 A 、 A' 面)即为曲轴的轴向装配基准,它确定了曲轴轴向各表面与机体各有关表面之间的相互位置。

最后应当指出,作为工艺基准的面、线、点,在工件上有时并不一定具体存在(如轴线、基准中心平面),而常由具体的表面体现,该表面称为基面。如图 1-3 所示,齿轮孔的内表面可为齿轮的定位基面、度量基面和装配基面,它所体现的基准是孔的轴线。

不同基准重合在一起的情况称为基准重合。上述各种基准,在可能情况下应尽量做到重合。例如,设计零件图样时,应尽量以装配基准作为设计基准,这样可直接保证装配精度;在制定工艺规程时,应尽量以设计基准作为工序基准,或以工序基准作为定位基准和度量基准。这是由于基准统一可减少换算误差,保证零件的精度。

1.2 机械加工精度和表面质量

1.2.1 加工精度与加工误差

零件的加工精度是指零件在机械加工以后的尺寸、几何形状和各表面间的相互位置等实际数值与理想数值相接近的程度。

零件在加工过程中,由于种种原因总会存在一定的误差,这就是加工误差。研究加工精度的目的,就是研究如何把各种误差控制在允许范围内,弄清楚各种因素的影响规律,找出减少加工误差、提高精度的途径。

加工精度的具体内容是:

(1) 尺寸精度 指零件的直径、长度和表面间距离等尺寸的实际值和理想值的接近程度。

(2) 形状精度 指零件表面或线的实际形状与理想形状的接近程度,国家标准中规定用直线度、平面度、圆度、圆柱度等作为评定形状精度的项目。

(3) 位置精度 指零件表面或线的实际位置和理想位置的接近程度,国家标准中用平行度、垂直度等作为评定位置精度的项目。

1.2.2 产生加工误差的主要因素

1. 加工原理误差

加工原理误差是由于采取了近似的加工方法或传动方式及形状近似的刀具等造成的。如车螺纹时,如果螺距具有几位小数,在选择交换齿轮时,因为交换齿轮的齿数是固定的,所以往往只能得到近似的螺距。

2. 机床、刀具及夹具的制造误差与磨损

(1) 机床的制造误差与磨损 机床本身的各种制造、安装误差和机床的磨损,都会使工件产生加工误差。

(2) 刀具的制造误差与磨损 用定尺寸刀具,如钻头、铰刀、丝锥、车槽刀等加工工件时,由于加工面的尺寸直接由刀具尺寸来决定,故刀具的制造精度和磨损情况将直接影响工件的尺寸精度。

(3) 夹具的制造误差与磨损 夹具本身的制造误差、安装误差以及使用过程中的磨损,构成了夹具误差。

3. 工件的安装误差

工件的安装误差包括定位误差和夹紧误差,以 Δ_{a} 表示。

(1) 定位误差 定位误差就是加工的一批工件,由于定位的原因所产生的工序基准在工序尺寸方向上相对于夹具定位元件上的起始基准(代表定位件的理想的几何要素)的最大位移量。它包括基准不重合误差和基准位移误差。基准位移误差就是一批工件的定位基准相对定位元件起始基准在工序尺寸方向上的最大位移量。三者的关系为

$$\Delta_{\text{dw}} = \Delta_{\text{jb}} + \Delta_{\text{jw}}$$

式中 Δ_{dw} ——定位误差;

Δ_{jb} ——基准不重合误差;

Δ_{jw} ——基准位移误差。

(2) 夹紧误差 夹紧力通过工件传至支承,造成工件变形和定位基准位移,所产生的加工表面的形状误差和加工表面的位置尺寸误差,均称为夹紧误差,以 Δ_{ji} 表示。因此,安装误差可表示为

$$\Delta_{\text{a}} = \Delta_{\text{dw}} + \Delta_{\text{ji}}$$

4. 工艺系统的受力变形

(1) 工艺系统刚度 工艺系统的受力变形是指机床——刀具——夹具——工件组成的工艺系统,在切削过程中受力而产生的变形。这个变形会改变刀具与工件加工表面的相对位置,因而造成加工误差。工艺系统的受力变形,是由系统中各零件的弹性变形和各部位的接触变形组成的。抵抗变形的能力就是刚度。

(2) 毛坯误差的复映规律 工件的毛坯外形虽然具有粗略的零件形状,但它在尺寸上、形状上以及表面层硬度的均匀性上都有较大的误差。毛坯的这些误差在加工时,使背吃刀量不断地变化,从而引起切削力的变化,使工艺系统产生相应的变形。因而在加工后的工件上还保留着与毛坯表面类似的形状或尺寸误差。当然,工件表面残留的误差比毛坯表面的误差从数值上看已大大减小。这种现象称为毛坯误差的复映规律。

5. 工艺系统的热变形

在切削过程中,工艺系统因受热而引起的变形,称为热变形。引起热变形的热源有三个方面:

(1) 切削热 它是由被加工材料塑性变形以及刀具前后面摩擦而转变成的热量。由于热的传导,它主要对工件和刀具有较大的影响。

(2) 摩擦热 它包括机床运动零件(齿轮、轴承、导轨等)的摩擦转变的热量,液压传动(液压泵、液压缸等)和电动机的温升等,这类热对机床的影响较大。

(3) 外界热源的辐射及传导 当室温变化及附近存在热源时,就会使工艺系统受热。它的具体表现为机床的热变形引起的加工误差、刀具的热变形引起的加工误差以及工件的热变形。

6. 工件内应力的影响

在去除外加负载或外部因素的作用以后,工件内部所存留的应力称为内应力。内应力通常是处于相对平衡的状态,在没有某种因素破坏这种平衡时,工件外形不会发生变化。失去平衡后,内应力就要重新分布,因而工件产生变形。由于变形,也会影响到工件的加工精度。

7. 测量误差和调整误差

测量误差是指工件实际尺寸与量具表示出的尺寸之间的误差。调整误差是指在加工时由于刀具——机床——夹具工艺系统没有调整到正确位置而产生的加工误差。

1.2.3 表面质量

表面质量是指机械加工以后,零件表面的几何形状(主要是表面粗糙度)和表面层的物理力学性能两个方面。

1. 表面的几何形状

零件经过机械加工后,表面实际形状总存在着与理想几何形状的偏差。这种偏差包含以下三种情况:

(1) 宏观几何形状偏差或宏观不平度 它表明加工后工件宏观实际几何形状与理想几何形状之间的偏差,如平面度、圆柱度等。其波形形状特征是表面的波距 l_1 与波高 h_1 的比值很大, $l_1/h_1 > 1000$ 。

(2) 表面粗糙度 就是表面的微观几何形状偏差或微观不平度。图 1-4 中 l_3 与 h_3 即表示这种波形表面的波距与波高,其 l_3 与 h_3 的比值较小 ($l_3/h_3 \leq 50$)。表面粗糙度是表面质量所要研究的一个主要内容。

(3) 表面波形 其波形表面的波距 l_2 与波高 h_2 的比值,介于上述两者之间。这种几何形状偏差的波距 l_2 与波高 h_2 如图 1-4 所示。这是一种有规律、多次重复的偏差,往往具有正弦曲线的性质。

2. 表面层的物理力学性能

工件在机械加工过程中,由于切削力和切削热的作用,使表面层金属具有与内部金属不同的性质。图 1-5 示出加工表面层结构沿深度的变化,在最外层生成氧化膜或其他化合物并吸收、渗进了气体、液体和固体的粒子,故称为吸附层。该层的总厚度通常不超过 8nm。压缩层即为塑性变形区,由切削力造成,厚度约在几十至几百 μm 之间,随加工方法的不同而变化,期间的纤维层由被加工材料与刀具间的摩擦力造成。切削力也会使表面层产生各种变化,如同淬火、回火一样会使材料产生相变以及晶粒大小的变化等。以上原因最终使表面层的物理力学性能不同于内部基体金属,而表面层又影响零件的使用寿命,所以研究机械加

工后金属的表面层性能是重要的。表面层的物理力学性能包括：

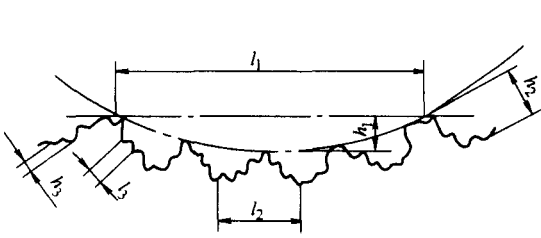


图 1-4 表面的几何形状

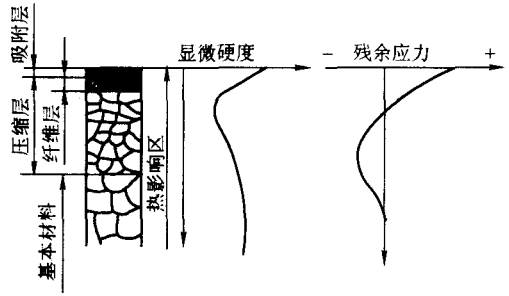


图 1-5 加工表面层的结构

- 1) 表面层的冷硬程度和深度。
- 2) 表面层残余应力的种类（拉伸或压缩）、大小及其分布状况。
- 3) 表面层的金相组织。

1.2.4 表面质量对零件使用性能的影响

1. 对零件耐磨性的影响

零件的耐磨性主要与摩擦副的材料和润滑条件有关，但在这些条件已定的前提下，表面质量就起着决定性的作用。当两个表面接触时，往往先在一些凸峰顶部接触，因此，实际接触面积大大小于理论接触面积。在外力作用下，凸峰处将产生很大的压强。表面越粗糙，实际接触面积越小，凸峰处的压强越大。当零件作相对运动时，接触处的凸峰就会产生弹性变形、塑性变形及切变现象，将引起严重的磨损。

在一般情况下，工作表面在初期磨损阶段（图 1-6 的第Ⅰ部分）磨损得很快；随着磨损的发展，实际接触面积逐渐增大，单位面积压力也逐渐降低，从而磨损将以较慢的速度进行，进入正常磨损阶段（图 1-6 的第Ⅱ部分）。此时，在有润滑的情况下，就能起到很好的润滑作用。过了此阶段又将出现急剧磨损阶段（图 1-6 的第Ⅲ部分），这是因为磨损继续发展，实际接触面积越来越大，产生了金属分子之间的亲和力，使表面容易咬焊。此时，即使有润滑油也将被挤出而产生急剧的磨损。

从图 1-7 可知表面粗糙度值与初期磨损量间的关系。

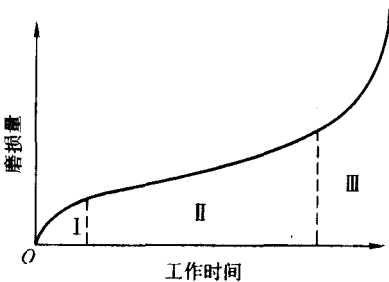


图 1-6 磨损过程的基本规律

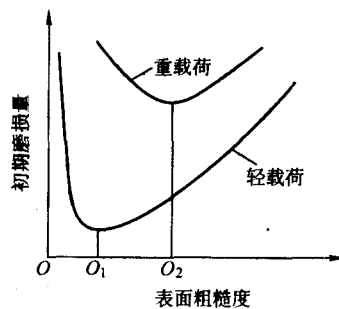


图 1-7 初期磨损量与表面粗糙度值的关系

2. 对零件疲劳强度的影响

在交变载荷的作用下,零件表面粗糙、划痕以及裂纹等缺陷容易引起应力集中,产生和加大疲劳裂纹而造成疲劳损坏。

表面层的残余压应力能够部分地抵消工作载荷所引起的拉应力,延缓疲劳裂纹的扩展,提高零件的疲劳强度;而残余拉应力容易使已加工表面产生裂纹,因而降低疲劳强度。零件表面的硬度层能够阻碍裂纹的扩大和新裂纹的出现,消除外部缺陷和表面不平度的不良影响,因此可以提高零件的疲劳强度。

改变表面层的物理力学性能可以提高零件的疲劳强度,常用方法有表面淬火、渗碳淬火、渗氮、喷丸处理或用滚柱和钢珠滚压等。

3. 对零件耐腐蚀性的影响

发动机上与燃气、水和空气等接触的零件表面,常会受到腐蚀。试验表明,零件的表面越粗糙,耐腐蚀性能越差。

4. 对零件配合性质的影响

在间隙配合中,如果零件的配合表面很粗糙,则在工作过程中将很快磨损,使配合间隙增大,从而改变了所要求的间隙配合性质。在过盈配合中,如果零件的配合表面很粗糙,则在配合时,表面的凸峰被压平,使有效过盈量减小,从而降低了过盈配合的强度。

1.2.5 各种加工方法所能达到的经济精度

在机械加工中,用经济精度表示某一种加工方法能经济地达到的精度等级。所谓经济精度,是指在正常生产条件下(采用符合质量标准的设备、工艺装备和使用标准技术等级的工人,不延长加工时间),该加工方法所能保证的公差等级。每一种加工方法的经济加工精度都与一定范围的公差等级相对应。

不同的加工方法,其经济精度是不同的。如图1-8所示的三种加工方法,当要求加工公差小于 δ_2 时,应该选择磨削,这种加工方法的经济精度较高;当要求公差大于 δ_1 时,应该粗车,这种加工方法的经济精度低;当要求公差介于 δ_1 和 δ_2 之间时,则应精车,其经济精度适中。

各种加工方法的经济精度可从有关手册中查阅。表1-1、表1-2、表1-3分别列出各种加工方法加工外圆、孔及平面时所能达到的经济精度,可供选择表面加工方法时参考。

1.2.6 表面粗糙度的选择

由于加工时各种因素对表面质量的影响,各种加工方法所能达到的表面粗糙度也不一样。对每一种加工方法,只要改变它的切削用量、刀具几何形状及其他条件,就能在很大范围内影响表面粗糙度。

表面粗糙度和尺寸精度一样,也是根据零件在机器中的作用、工作条件、经济性按类比法来选择的。选择时可参考下列原则。

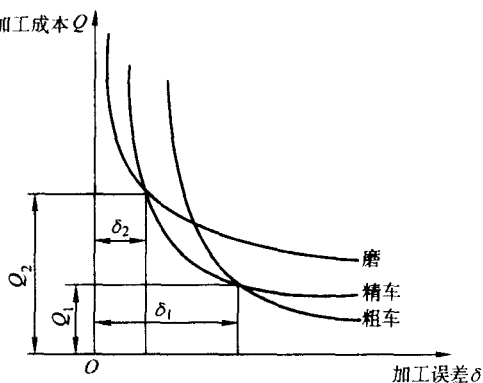


图 1-8 不同加工方法的加工误差和加工成本的关系

表 1-1 圆柱形外表面加工的经济精度

基本直径 /mm	车						磨			研磨	用钢球或滚柱 工具滚压			
	粗	半精或一 次加工	精	一次 加工	粗	精								
加工的公差等级（IT）和标准公差值/μm														
14 ~ 12	13	11	10	9	7	9	7	6	5	10	9	7	6	
≤ 3	250 ~ 100	140	60	40	25	10	25	10	6	4	40	25	10	6
> 3 ~ 6	300 ~ 120	180	75	48	30	12	30	12	8	5	48	30	12	8
> 6 ~ 10	360 ~ 150	220	90	58	36	15	36	15	9	6	58	36	15	9
> 10 ~ 18	430 ~ 180	270	110	70	43	18	43	18	11	8	70	43	18	11
> 18 ~ 30	520 ~ 210	330	130	84	52	21	52	21	13	9	84	52	21	13
> 30 ~ 50	620 ~ 250	390	160	100	62	25	62	25	16	11	100	62	25	16
> 50 ~ 80	740 ~ 300	460	190	120	74	30	74	30	19	13	120	74	30	19
> 80 ~ 120	870 ~ 350	540	220	140	87	35	87	35	22	15	140	87	35	22
> 120 ~ 180	1000 ~ 400	630	250	160	100	40	100	40	25	18	160	100	40	25
> 180 ~ 250	1150 ~ 460	720	290	185	115	46	115	46	29	20	185	115	46	29
> 250 ~ 315	1300 ~ 520	810	320	210	130	52	130	52	32	23	210	130	52	32
> 315 ~ 400	1400 ~ 570	890	360	230	140	57	140	57	36	25	230	140	57	36
> 400 ~ 500	1550 ~ 630	970	400	250	155	63	155	63	40	27	250	155	63	40

表 1-2 孔加工的经济精度

孔的基本 直径 /mm	钻及扩钻孔				扩孔				铰孔						拉孔	
	无钻模		有钻模		粗扩	铸孔或冲孔 后一次扩孔		钻扩后 精扩	半精铰		精铰		细铰		粗拉铸孔 或冲孔	
加工的公差等级（IT）和标准公差值/μm																
13	11	13	11	13	13	11	10	11	10	9	8	7	6	11	10	
≤ 3	—	60	—	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
> 3 ~ 6	—	75	—	75	—	—	—	—	75	48	30	18	12	8	—	
> 6 ~ 10	—	90	—	90	—	—	—	—	90	58	36	22	15	9	—	
> 10 ~ 18	270	—	—	110	270	—	110	70	110	70	43	27	18	11	—	
> 18 ~ 30	330	—	—	130	330	—	130	84	130	84	52	33	21	—	—	
> 30 ~ 50	390	—	390	—	390	390	160	100	160	100	62	39	25	—	160 100	
> 50 ~ 80	—	—	460	—	460	460	190	120	190	120	74	46	30	—	190 120	
> 80 ~ 120	—	—	—	—	540	540	220	140	220	140	87	54	35	—	220 140	
> 120 ~ 180	—	—	—	—	—	—	—	—	250	160	100	63	40	—	250 160	
> 180 ~ 250	—	—	—	—	—	—	—	—	290	185	115	72	46	—	—	
> 250 ~ 315	—	—	—	—	—	—	—	—	320	210	130	81	52	—	—	
> 315 ~ 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
> 400 ~ 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

(续)

基本直径 /mm	拉孔			镗孔								磨孔				研磨	用钢球、挤压杆校正，用钢球或滚柱扩孔或挤孔			
	粗拉或钻孔后精拉孔	粗	半精	精				细				粗		精						
加工的公差等级（IT）和标准公差值/μm																				
9	8	7	13	11	10	9	8	7	6	9	8	8	7	6	10	9	8	7		
≤ 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
> 3 ~ 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
> 6 ~ 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
> 10 ~ 18	43	27	18	270	110	70	43	27	18	11	43	27	27	18	11	70	43	27	18	
> 18 ~ 30	52	33	21	330	130	84	52	33	21	13	52	33	33	21	13	84	52	33	21	
> 30 ~ 50	62	39	25	390	160	100	62	39	25	16	62	39	39	25	16	100	62	39	25	
> 50 ~ 80	74	46	30	460	190	120	74	46	30	19	74	46	46	30	19	120	74	46	30	
> 80 ~ 120	87	54	35	540	220	140	87	54	35	22	87	54	54	35	22	140	87	54	35	
> 120 ~ 180	100	63	40	630	250	160	100	63	40	—	100	63	63	40	25	160	100	63	40	
> 180 ~ 250	—	—	—	720	290	185	115	72	46	—	115	72	72	46	29	185	115	72	46	
> 250 ~ 315	—	—	—	810	320	210	130	81	52	—	130	81	81	52	32	210	130	81	52	
> 315 ~ 400	—	—	—	890	360	230	140	89	57	—	140	89	89	57	36	230	140	89	57	
> 400 ~ 500	—	—	—	970	400	250	155	97	63	—	155	97	97	63	40	250	165	97	63	

- 注：1. 孔加工精度与工具制造精度有关。
2. IT7、IT6 级精度细镗孔要采用金刚石刀具。
3. 用钢球或挤压杆校正适用于孔径小于或等于 50mm

表 1-3 平面加工的经济精度

基本尺寸 (高或厚) /mm	刨削和圆柱铣刀及端铣刀铣削										拉削				磨削						研磨	用钢球或滚柱工具滚压			
	粗		半精或一次加工		粗	细				粗拉铸面及冲压表面		精拉		一次加工	粗	精	细								
加工公差精度等级 (IT) 和标准公差值/μm																									
14	13	11	13	11	10	9	7	6	11	10	9	7	6	9	7	9	7	6	5	10	9	7			
> 10 ~ 18	430	270	110	270	110	70	43	18	11	—	—	—	—	—	43	18	43	18	11	8	70	43	18		
> 18 ~ 30	520	330	130	330	130	84	52	21	13	130	84	52	21	13	52	21	52	21	13	9	84	52	21		
> 30 ~ 50	620	390	160	390	160	100	62	25	16	160	100	62	25	16	62	25	62	25	16	10	100	62	25		
> 50 ~ 80	740	460	190	460	190	120	74	30	19	190	120	74	30	19	74	30	74	30	19	13	120	74	30		
> 80 ~ 120	870	540	220	540	220	140	87	35	22	220	140	87	35	22	87	35	87	35	22	15	140	87	35		
> 120 ~ 180	1000	630	250	630	250	160	100	40	25	250	160	100	40	25	100	40	100	40	25	18	160	100	40		
> 180 ~ 250	1150	720	290	720	290	185	115	46	29	290	185	115	46	29	115	46	115	46	29	20	185	115	46		
> 250 ~ 315	1300	810	320	810	320	210	130	52	32	—	—	—	—	—	130	52	130	52	32	23	210	130	52		
> 315 ~ 400	1400	890	360	890	360	230	140	57	36	—	—	—	—	—	140	57	140	57	36	25	230	140	57		
> 400 ~ 500	1550	970	400	970	400	250	155	63	40	—	—	—	—	—	155	63	155	63	40	27	250	155	63		

- 注：1. 表内资料适用于尺寸小于 1m、结构刚性好的零件加工，用光洁的加工表面作为定位和测量基准。
2. 面铣刀铣削的加工精度在相同条件下大体上比圆柱铣刀铣削高一级。
3. 细铣仅用于端铣刀铣削。