



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 飞机机械加工 ·

航空工业出版社

技术编辑：王超英
封面设计：霍振源

ISBN 7-80046-867-4



9 787800 468674 >

ISBN 7-80046-867-4
TH · 032

定价：75.00 元

航空制造工程手册

飞机机械加工

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1995

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本书是《航空制造工程手册》的一个分册。书中汇集了我国 40 年来飞机零件机械加工专业的先进经验和成果,并吸收了机械行业的先进技术,同时也收集和分析了国外飞机零件机械加工的先进技术及发展趋势。

全书共分 20 章。书中概述了飞机机械加工零件的特点及分类,介绍了飞机零件机械加工常用的专用机床设备及主要数控机床,主要阐述了飞机零件机械加工过程设计及现代化数控加工技术、数控加工工艺准备、数控加工程序编制,重点写出了飞机零件的机械加工工艺方法及其经济精度、生产过程、质量控制、常见问题及解决方法,并列举了飞机上的壁板、起落架、梁类、框类、桁梁类、摇臂类、作动筒类、开关类、活门类、管嘴类、紧固件类等典型零件的机械加工工艺规范,同时还重点介绍了 30CrMnSiA、30CrMnSiNi2A、GC-4、300M 等高强度钢及钛合金等难加工材料的切削加工新技术、新工艺等。

本手册不仅是航空机械加工工程技术人员的实用手册,而且可供飞机设计、生产、检验、维修和管理人员,以及高等院校、中等专业学校的有关专业师生参考,还可供其它机械行业人员借鉴。

图书在版编目 (CIP) 数据

航空制造工程手册:飞机机械加工/《航空制造工程手册》总编委会主编;罗时大分主编. —北京:航空工业出版社,1995.1

ISBN 7-80046-867-4

I. 飞… II. 罗… III. ①航空器-制造-工艺-手册②
飞机-机械加工-零部件-制造-手册 IV. V 26-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 11486 号

责任编辑 张铁钧

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

煤炭工业出版社印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1995 年 1 月第 1 版

1995 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 45.625 字数: 1 194 千字

印数: 1—1 000

定价: 75.00 元

序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开拓了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

目 录

第 1 章 飞机零件机械加工工艺概述

- 1.1 飞机零件机加工工艺的重要性 1
- 1.2 飞机零件机加工工艺的特点 1
- 1.3 飞机机加零件分类 2

第 2 章 机床设备的选择

- 2.1 金属切削机床的选择 4
- 2.2 机床型号的编制方法 4
 - 2.2.1 机床型号表示方法 4
 - 2.2.2 机床的分类编号 5
 - 2.2.3 机床的特性代号 5
 - 2.2.4 机床类、组、型(系列)代号 14
 - 2.2.5 机床主参数名称及折算系数 14
 - 2.2.6 机床重大改进序号 15
 - 2.2.7 变型机床代号 16
 - 2.2.8 机床型号举例 16
 - 2.2.9 我国旧的金属切削机床类、
组划分表 16
- 2.3 机床选择原则 16
- 2.4 常用金属切削机床的技术性能 18
 - 2.4.1 车床类机床的主要技术参数 18
 - 2.4.2 钻床类机床的主要技术参数 28
 - 2.4.3 镗床类机床的主要技术参数 31
 - 2.4.4 磨床类机床的主要技术参数 34
 - 2.4.5 齿轮加工机床的主要技术参数 41
 - 2.4.6 螺纹加工机床的主要技术参数 49
 - 2.4.7 铣床类机床的主要技术参数 52
 - 2.4.8 拉床的主要技术参数 57
- 2.5 组合机床 58
 - 2.5.1 组合机床的特点 58
 - 2.5.2 组合机床的组成 58
 - 2.5.3 组合机床的分类 59
 - 2.5.4 组合机床通用部件的分类和标准 59
 - 2.5.5 组合机床的选择原则 60
- 2.6 金属切削机床的工作精度 60
 - 2.6.1 车床工作精度 60
 - 2.6.2 钻床工作精度 63
 - 2.6.3 镗床工作精度 63

- 2.6.4 磨床工作精度 63
- 2.6.5 齿轮加工机床工作精度 66
- 2.6.6 螺纹机床工作精度 67
- 2.6.7 铣床工作精度 68
- 2.6.8 插床工作精度 69
- 2.6.9 拉床工作精度 69
- 2.6.10 组合机床的加工精度 70
- 2.7 常用数控机床及数控系统的
主要功能 70
 - 2.7.1 常用数控机床简介 70
 - 2.7.1.1 数控机床的特点及应用 70
 - 2.7.1.2 数控机床的组成 71
 - 2.7.1.3 数控机床的分类 72
 - 2.7.2 进口数控机床的选用 73
 - 2.7.3 进口数控机床的主要技术参数 74
 - 2.7.3.1 数控车床的主要技术参数 74
 - 2.7.3.2 数控铣床的主要技术参数 75
 - 2.7.3.3 数控加工中心的主要技术参数 77
 - 2.7.4 常用数控系统 79
 - 2.7.4.1 航空工业中应用的主要
数控系统 79
 - 2.7.4.2 通用数控系统的功能特性 80

第 3 章 飞机零件机械加工工艺规程设计

- 3.1 工艺规程分类及用途 83
- 3.2 工艺规程设计的主要依据 83
 - 3.2.1 飞机图纸和技术条件 83
 - 3.2.2 工艺总方案 83
 - 3.2.3 指令性工艺文件 84
 - 3.2.3.1 工艺装备协调图表 84
 - 3.2.3.2 飞机外缘容差分配表 84
 - 3.2.3.3 零组件指令性交接状态表 84
 - 3.2.4 技术标准和生产说明书 85
 - 3.2.5 车间分工表和工艺计划表 85
 - 3.2.6 车间交接状态表 85
 - 3.2.7 技术物质条件 86
- 3.3 工艺规程设计程序 86
 - 3.3.1 熟悉工艺规程编写依据的

有关资料	86	4.3.4 数控软件发展状况	127
3.3.2 工艺分析	86	4.4 数控加工存在问题及解决途径	128
3.3.2.1 生产规模	86	4.5 数控技术的发展	129
3.3.2.2 毛坯状态	87	4.5.1 直接数控和分布式数控 (DNC) 系统	129
3.3.2.3 选择主要加工基准	87	4.5.1.1 DNC的特点	129
3.3.3 划分加工阶段	88	4.5.1.2 DNC系统的组成和分类	130
3.3.4 确定主要表面的加工方案	88	4.5.1.3 DNC系统在飞机工厂的 应用实例	131
3.3.4.1 零件表面加工方案的选择	88	4.5.2 自适应控制 (AC) 系统	132
3.3.4.2 零件加工方案	88	4.5.2.1 自适应控制系统的类型	132
3.3.5 工序的组合	90	4.5.2.2 自适应控制的优点	133
3.3.6 安排辅助工序	91	4.5.3 智能数控 (INC) 系统	134
3.3.7 编制工艺规程	92	4.5.4 柔性制造系统 (FMS)	134
3.3.8 工艺规程的审批	92	4.5.4.1 FMS的优点	134
3.3.8.1 一般工艺规程的审批	92	4.5.4.2 FMS的可靠性要求	135
3.3.8.2 重要工艺规程的审批	92	4.5.4.3 FMS的组成及功能介绍	136
3.3.8.3 工艺规程审批人员及职责	92	4.5.4.4 FMS平面布置原理图	139
3.4 工艺规程的内容	93	4.5.4.5 FMS在飞机零件加工中的 应用实例	139
3.5 工艺基准的选择	95	4.5.4.6 建立 FMS 的步骤	140
3.5.1 基准分类	95		
3.5.2 零件的安装——定位和夹紧	95	第 5 章 数控加工工艺准备	
3.5.3 减少安装误差的措施	96	5.1 数控加工工作程序	144
3.5.4 定位基准的选择	96	5.1.1 定义	144
3.5.4.1 粗基准的选择	96	5.1.2 工作程序框图	144
3.5.4.2 精基准的选择	97	5.2 数控加工零件的选择原则	145
3.6 零件制造大纲的编写	98	5.2.1 选择产品类型	145
3.6.1 零件制造大纲简介	98	5.2.2 设计工艺性要求	148
3.6.2 零件制造大纲的编制	98	5.3 工艺规程设计	150
3.6.3 持证操作工序和数控工序	100	5.3.1 设计依据	150
第 4 章 数控加工技术		5.3.2 设计内容	151
4.1 数控加工的特点及分类	102	5.3.3 数控加工零件工艺规程表格	151
4.1.1 数控加工的特点	102	5.3.4 工艺流程安排及特点	158
4.1.2 数控机床的组成及分类	103	5.4 数据传递原则	159
4.1.2.1 数控机床的组成和功能特点	103	5.4.1 数据的内容	159
4.1.2.2 数控机床分类	104	5.4.2 数据的传递	159
4.1.3 数控技术名称术语	108	5.4.3 数据传递格式	160
4.2 数控加工的控制介质与指令格式	112	5.4.4 图形信息的传递	160
4.2.1 控制介质与标准代码	112	5.4.4.1 软盘传递	160
4.2.2 控制带格式	116	5.4.4.2 图形直接传递	160
4.2.3 程序段指令格式	117	5.4.5 数据传递的申请	160
4.2.4 准备功能 (G) 和辅助功能 (M)	118	5.4.6 几何数据的提供	161
4.3 数控软件	124	5.4.7 几何数据传递流程	161
4.3.1 数控软件的功能	124	5.5 数控加工夹具的选择	161
4.3.2 主要数控软件应用情况	125		
4.3.3 数控加工数据来源	127		

5.6 数控刀具及其管理	163	6.3.1 数控车床的程序编制方法	224
5.6.1 刀具几何参数	163	6.3.2 加工中心的程序编制	228
5.6.2 刀具分类	165	6.3.3 柔性制造系统中零件加工的程序编制	234
5.6.3 刀具管理	174	6.4 实物编程	245
5.6.3.1 数控刀具数据库的功能	174	第7章 整体壁板的加工	
5.6.3.2 数控刀具数据库的应用	175	7.1 整体壁板的特点及其制造方案	247
5.6.3.3 数控零件制造流程框图	177	7.1.1 整体壁板的特点	247
5.6.3.4 数控刀具管理信息流	177	7.1.1.1 整体壁板的优点	247
5.6.3.5 数控刀具管理物料流	177	7.1.1.2 整体壁板的缺点	249
5.7 数控加工的试切	177	7.1.2 整体壁板的制造方案	249
5.7.1 试切前的准备	177	7.2 设计结构及技术要求	249
5.7.2 试切件材料及数量的规定	177	7.2.1 整体壁板的结构	249
5.7.3 试切件的试切和鉴定	178	7.2.1.1 整体壁板的结构要素	249
5.7.4 试切件的处理	179	7.2.1.2 整体壁板的分类	250
5.8 数控零件的检测	180	7.2.2 技术要求	251
5.8.1 数控零件的检测方法及其工艺要求	180	7.3 材料及主要加工性能	252
5.8.2 数控测量机检测的工艺准备	180	7.3.1 整体壁板材料的选择	252
5.8.2.1 数控测量机检测的申请	180	7.3.2 LC4 铝合金的主要加工性能	252
5.8.2.2 数控测量机检测的数据传递	181	7.4 毛坯类型及加工特点	253
第6章 数控加工程序编制		7.5 机床选择	254
6.1 手工编程	182	7.6 工装选择	254
6.1.1 手工编程的步骤	182	7.6.1 真空平台的主要特点	254
6.1.1.1 手工编程的工艺处理	182	7.6.2 真空平台的典型结构	254
6.1.1.2 手工编程的数值计算	183	7.6.3 真空平台的工作原理	255
6.1.2 点位—直线控制的程序编制	192	7.6.4 真空平台夹紧力的计算	255
6.1.3 直线—圆弧轮廓的程序编制	193	7.6.5 真空夹具装置系统	256
6.1.4 手工编程实例	194	7.7 刀具的选择	256
6.2 计算机辅助编程	198	7.7.1 刀具选择的原则	256
6.2.1 批处理式辅助编程	198	7.7.2 刀具的几何形状与刃磨	256
6.2.1.1 工作流程	199	7.7.3 刀具的安装、预置长度的调整和计算	257
6.2.1.2 APT 程编系统工作过程	199	7.8 合理的切削用量	258
6.2.1.3 用 APT 编程语言编写零件源程序的方法	202	7.8.1 铣削要素	258
6.2.1.4 批处理式辅助编程应用实例	216	7.8.2 切削用量的选择原则	258
6.2.2 交互式 CAD/CAM 软件系统的数控编程	222	7.8.3 铣削用量图表	259
6.2.2.1 批处理式编程与交互式编程的工作流程比较	222	7.9 切削液的选择	265
6.2.2.2 交互式编程的实施步骤	222	7.9.1 水剂切削液的配制与维护	265
6.2.2.3 交互式编程方法的特点及应用	223	7.9.2 壁板加工实际使用的切削液举例	265
6.3 数控机床和加工中心的编程要求及特点	224	7.10 整体壁板主要表面加工的经济精度	266
		7.10.1 形状和位置的平均经济精度	266
		7.10.2 表面粗糙度	266
		7.11 整体壁板加工的质量控制	267

7.11.1 加工过程的质量控制	267	9.1.3 缘条、长桁类零件的技术要求	311
7.11.2 变形、矫正的质量控制	270	9.2 缘条、长桁类零件的材料及加工性能	312
7.12 检验方法	271	9.2.1 常用材料	312
7.13 整体壁板工艺流程举例	271	9.2.2 材料的化学成分及机械性能	313
7.13.1 飞机后上壁板工艺流程	271	9.2.3 2024 和 7075 铝合金的切削加工和成型性能	313
7.13.2 民机水平尾翼壁板工艺流程	276	9.3 毛坯类型和加工特点	313
第 8 章 梁类零件的加工		9.4 协调部位及制造依据	315
8.1 设计结构及技术要求	281	9.4.1 理论外形的协调及制造依据	315
8.1.1 结构特点	281	9.4.2 头部的协调及制造依据	315
8.1.2 梁类零件主要技术要求	285	9.5 工艺过程设计	316
8.2 材料及主要切削加工性能	286	9.5.1 加工阶段的划分	316
8.2.1 梁类零件常用材料	286	9.5.2 主要表面的加工	316
8.2.2 高强度钢的切削加工性能	287	9.5.3 缘条、长桁加工专用设备	317
8.2.2.1 高强度钢的切削加工特点	287	9.5.4 工艺流程实例	317
8.2.2.2 刀具材料的选择	288	9.5.4.1 歼击机机翼大梁缘条的主要工艺流程	317
8.2.2.3 刀具几何参数	288	9.5.4.2 客机水平安定面后梁缘条的主要工艺流程	320
8.2.2.4 切削用量	289	9.6 缘条热矫正	322
8.2.2.5 切削液	290	9.6.1 热矫正设备	322
8.2.3 切削加工 30CrMnSiNi2A 材料时应特别注意的几个问题	290	9.6.2 热矫正的温度范围和最长累计时间	323
8.3 毛坯类型及加工特点	290	9.6.3 热矫正的质量保证措施	323
8.4 梁类零件的加工特点	291	9.6.4 热矫正的注意事项	323
8.5 协调部位及制造依据	291	9.7 主要表面加工的经济精度	324
8.6 工艺过程设计	293	9.8 主要表面加工的质量控制	324
8.6.1 加工阶段划分	293	9.9 缘条、长桁类零件的检验方法	325
8.6.1.1 粗加工阶段	293	第 10 章 框类零件的加工	
8.6.1.2 精加工阶段	293	10.1 设计结构及技术要求	326
8.6.1.3 细加工阶段	293	10.1.1 机身框的设计结构	326
8.6.2 主要表面的加工方案	295	10.1.2 机身框设计技术要求	328
8.6.3 主要表面加工切削用量的选择	296	10.2 常用材料及主要加工性能	329
8.7 梁类零件加工中的质量控制	297	10.3 毛坯类型及加工特点	330
8.7.1 加工过程变形的质量控制	297	10.4 协调部位及制造依据	330
8.7.2 主要表面加工的质量控制	298	10.5 工艺过程设计	330
8.8 工艺流程实例	299	10.5.1 加工阶段的划分	330
8.8.1 歼击机机翼主梁工艺流程	299	10.5.2 主要表面的加工	331
8.8.2 机翼主梁的工艺分析	299	10.5.3 工艺流程实例	332
8.8.3 中翼后梁工艺流程	304	10.5.3.1 歼击机 42 框横梁零件的主要工艺流程实例	332
第 9 章 缘条、长桁类零件的加工		10.5.3.2 42 框组合加工主要工艺流程实例	338
9.1 设计结构及技术要求	309		
9.1.1 概述	309		
9.1.1.1 缘条类零件的应用	309		
9.1.1.2 长桁类零件的应用	309		
9.1.2 缘条、长桁类零件的分类及典型结构	310		

10.5.3.3 运输机 17 框侧梁零件的主要 工艺流程实例	340	12.5.1.4 主要表面的加工	377
10.6 主要表面加工的经济精度	342	12.5.2 工艺流程实例	381
10.7 框类零件加工常见问题及解决方法	343	12.6 零件加工中的质量控制	386
10.8 主要表面加工的质量控制	343	12.6.1 影响质量的关键工序	386
10.8.1 工艺方法的控制	343	12.6.1.1 划线	386
10.8.1.1 零件加工工艺控制	343	12.6.1.2 钻孔	386
10.8.1.2 42 框组合加工工艺控制	344	12.6.1.3 仿形铣削	386
10.9 检验方法	344	12.6.2 防止变形	386
10.9.1 几何尺寸检查	344	12.6.3 防腐蚀	386
10.9.2 互换协调检查	344	12.6.3.1 防接触腐蚀	386
10.9.3 材料性能检查	344	12.6.3.2 防电解腐蚀	387
第 11 章 接头类零件的加工		12.6.3.3 零件应进行表面防护	387
11.1 设计结构及技术要求	346	12.6.3.4 机械加工中的防腐蚀	387
11.2 主要材料及加工性能	348	12.6.3.5 装配中的防锈	387
11.3 毛坯类型及加工特点	349	12.6.3.6 工序进行过程和库存时的 防锈	388
11.4 协调部位及制造依据	349	第 13 章 起落架加工	
11.5 工艺过程设计	351	13.1 设计结构及技术要求	389
11.5.1 主要表面的加工	351	13.1.1 起落架的结构形式、结构特点 及应用范围	389
11.5.1.1 安装平面的加工	351	13.1.2 起落架主要零件及工艺特点	390
11.5.1.2 理论型面的加工	351	13.2 起落架协调部位及制造依据	393
11.5.1.3 孔的加工	351	13.3 材料及切削加工性能	393
11.5.1.4 叉口、叉耳的加工	355	13.3.1 GC-4 及 300M 钢的化学成分	393
11.5.2 工艺流程实例	356	13.3.2 GC-4 及 300M 钢的机械性能	394
11.5.2.1 主减速器接头的加工	356	13.3.3 GC-4 及 300M 钢热处理后表面层 脱碳	394
11.5.2.2 接头的加工	361	13.3.4 GC-4 及 300M 钢强度与硬度的 关系	395
11.5.2.3 主减速器悬挂接头的加工	365	13.3.5 300M 钢的切削加工性能	395
第 12 章 座舱盖整体骨架的加工		13.3.6 切削加工 GC-4 及 300M 钢的技术 要求	395
12.1 设计结构及技术要求	370	13.3.7 切削加工 GC-4 及 300M 钢常用的 硬质合金刀具材料	396
12.1.1 座舱盖的结构和主要技术要求	370	13.3.8 磨削加工磨具的选择及应用 范围	397
12.1.2 座舱盖整体骨架的结构和 技术要求	371	13.4 起落架零件加工工艺过程设计	397
12.2 材料及主要加工性能	373	13.4.1 加工阶段的划分及各阶段的加工 内容	397
12.2.1 镁合金的切削加工	373	13.4.2 定位基准的选择	397
12.2.2 镁合金切削加工用量的选择	374	13.4.3 主要表面的加工	400
12.3 毛坯类型及加工特点	374	13.4.3.1 外圆表面的加工	400
12.3.1 整体骨架的砂型铸造性能	374	13.4.3.2 内孔的加工	401
12.3.2 毛坯的加工特点	375	13.4.3.3 耳片、槽口及平面的加工	403
12.4 协调部位及制造依据	375		
12.5 工艺过程设计	376		
12.5.1 工艺分析	376		
12.5.1.1 座舱盖整体骨架的工艺特点	376		
12.5.1.2 工艺基准的选择	376		
12.5.1.3 加工阶段的划分	377		

13.5 高速铰孔	405	13.11.2.2 切削烧伤的控制	441
13.5.1 高速铰孔的定义	405	13.11.2.3 零件切削加工表面烧伤的 检查方法	442
13.5.2 高速铰孔刀具	405	13.11.2.4 零件表层裂纹的质量控制	443
13.5.3 高速铰孔、扩孔的加工余量 与切削用量	407	13.11.2.5 零件表面强化工艺	443
13.5.4 高速铰孔钻模	408	13.11.3 起落架装配质量的控制	443
13.5.5 高速铰孔中的常见问题、产生原因 和解决方法	408	13.11.4 起落架制造及使用中常见问题 及解决方法	444
13.6 孔挤压强化	408	第14章 作用筒类零件的加工	
13.6.1 孔挤压强化的方法	409	14.1 结构形式和技术要求	446
13.6.1.1 气压拉压挤压	409	14.1.1 主要零件的结构	446
13.6.1.2 气压推压挤压	409	14.1.2 主要零件的技术要求	448
13.6.1.3 液压拉力机拉压挤压	409	14.2 主要零件的常用材料、毛坯状态 和表面处理要求	449
13.6.1.4 液压压力机推压挤压	409	14.3 主要配合表面的加工方案	450
13.6.1.5 液压旋压挤压	409	14.3.1 外筒内孔表面的加工方案	450
13.6.1.6 孔边挤压强化	409	14.3.2 活塞、活塞杆外圆表面的 加工方案	450
13.6.2 孔挤压强化常用的挤压棒	410	14.4 主要配合表面的精加工和光整 加工方法可达到的经济精度	451
13.6.3 孔挤压强化的工艺参数	411	14.4.1 尺寸的经济精度	451
13.6.4 挤压强化常用的润滑剂及 应用范围	411	14.4.2 几何形状的经济精度	451
13.6.5 孔挤压强化的质量控制	412	14.4.3 相互位置的经济精度	451
13.7 机械打磨	412	14.4.4 表面粗糙度	451
13.8 起落架零件加工工艺流程实例	414	14.5 筒形件的深孔加工	452
13.8.1 歼击机主起落架外筒的加工	414	14.5.1 深孔加工的特点和应用	452
13.8.2 直升机起落架外筒的加工	422	14.5.2 飞机零件的几种深孔加工方法	453
13.9 主要表面加工的经济精度及 表面粗糙度	431	14.5.2.1 深孔钻	453
13.9.1 外圆加工的经济精度	431	14.5.2.2 深孔扩、镗	463
13.9.2 端面加工的经济精度	432	14.5.3 深孔加工机床	465
13.9.3 孔加工的经济精度	432	14.6 筒形件的挤光和滚压加工	466
13.9.4 圆锥孔加工的经济精度	432	14.6.1 挤光和滚压加工的特点和应用	466
13.9.5 用三面刃铣刀同时加工相互平行 表面的经济精度	432	14.6.2 筒形件内孔的滚压加工	466
13.9.6 几种切削加工方法能达到的表面 粗糙度	433	14.6.2.1 滚压工具的形式	467
13.10 起落架的装配与试验	433	14.6.2.2 滚柱式滚压工具的几何参数	468
13.10.1 起落架装配、试验的工艺 过程设计	433	14.6.2.3 滚压用量	468
13.10.2 起落架装配、试验的工艺 流程实例	434	14.6.2.4 滚压次数	468
13.11 起落架制造中的质量控制	438	14.6.2.5 滚压力	469
13.11.1 位置精度的质量控制	438	14.6.2.6 滚压切削液	469
13.11.2 表面质量的控制	441	14.6.2.7 滚压工具	469
13.11.2.1 表面纹理方向的控制	441	14.7 筒形件的珩磨加工	470
		14.7.1 珩磨加工的原理及应用	470
		14.7.1.1 珩磨加工的特点	471
		14.7.1.2 珩磨加工的应用	471

14.7.2 珩磨机床、珩磨头与珩磨夹具	471	14.10 作动筒类零件工艺规程实例	491
14.7.2.1 珩磨机床	471	14.10.1 40CrMnSiMoVA (GC-4) 超高 强度合金钢外筒	491
14.7.2.2 珩磨头	472	14.10.2 经硬阳极化处理的 LD7 铝合金 外筒	495
14.7.2.3 珩磨夹具	473	14.10.3 活塞杆	499
14.7.3 珩磨油石的选择	474	第 15 章 摇臂、支座类零件的加工	
14.7.3.1 珩磨油石规格与数量的选择	474	15.1 设计结构及技术要求	501
14.7.3.2 珩磨油石性能的选择	475	15.2 毛坯类型及加工特点	504
14.7.4 珩磨工艺参数的选择	476	15.3 工艺过程设计	505
14.7.4.1 切削速度和切削交叉角	476	15.3.1 摇臂、支座类零件工艺过程设计 的一般性问题	505
14.7.4.2 油石工作压力	477	15.3.1.1 工艺基准的选择	505
14.7.4.3 油石工作行程	477	15.3.1.2 检验工序的安排	506
14.7.4.4 珩磨余量	478	15.3.1.3 热处理工序的安排	506
14.7.4.5 对珩磨前工序的要求	478	15.3.1.4 标记工序的安排	506
14.7.5 珩磨切削液	479	15.3.1.5 焊接工序的安排	506
14.7.5.1 珩磨切削液的选择	479	15.3.1.6 加工阶段的划分	506
14.7.5.2 珩磨切削液的使用要点	479	15.3.2 主要表面的加工	506
14.7.6 珩磨油石的修整	480	15.3.2.1 轴承孔的加工	506
14.7.7 强力珩磨	480	15.3.2.2 平行平面的加工	510
14.7.7.1 强力珩磨的条件	480	15.3.2.3 花键内孔的加工	514
14.7.7.2 强力珩磨的应用	481	15.3.3 工艺流程实例	516
14.7.8 珩磨加工中常见问题、产生原因 和解决方法	481	15.3.3.1 支座	516
14.8 筒形件的超精研磨	484	15.3.3.2 扇形摇臂	518
14.8.1 超精研磨的特点和应用	484	15.3.3.3 摇臂	521
14.8.2 超精研磨机床和超精研磨 振动头	484	15.4 轴承、衬套的安装与固定	525
14.8.3 超精研磨油石的选择	486	15.4.1 结构及技术要求	525
14.8.3.1 磨料的选择	486	15.4.2 零件的清洗	528
14.8.3.2 粒度的选择	486	15.4.3 衬套的装配	528
14.8.3.3 硬度的选择	486	15.4.3.1 胶粘装配法	528
14.8.3.4 结合剂和组织的选择	487	15.4.3.2 压配合装配法	528
14.8.4 超精研磨工艺参数的选择	487	15.4.3.3 温差装配法	529
14.8.4.1 切削参数的选择	487	15.4.4 轴承的安装	532
14.8.4.2 油石进给量的选择	487	15.4.4.1 安装前检查	532
14.8.4.3 超精研磨余量	487	15.4.4.2 轴承的安装	532
14.8.5 超精研磨切削液	488	15.4.4.3 轴承的固定	533
14.8.6 超精研磨油石的修整	488	15.4.4.4 轴承固定后的表面清理	537
14.8.7 超精研磨中常见问题的产生 原因分析	488	15.4.4.5 轴承固定后的检验	537
14.9 作动筒类零件加工过程的质量 控制	488	15.4.5 工艺流程实例	540
14.9.1 精密表面最终加工方法的选择	489	15.4.5.1 衬套装配	540
14.9.2 位置精度的控制	490	15.4.5.2 关节轴承装配	540
14.9.3 防止变形的工艺措施	490	15.4.6 轴承装配与固定的质量控制	541
		第 16 章 开关、活门壳体类零件的加工	

16.1 设计结构及技术要求	542	16.8.2.4 平面低粗糙度磨削工艺参数	563
16.2 常用材料及主要特点	543	16.8.3 研磨	564
16.3 毛坯类型及加工特点	543	16.8.3.1 研磨特点	564
16.3.1 毛坯类型	543	16.8.3.2 研磨分类	565
16.3.2 加工特点	543	16.8.3.3 研磨方式及应用	565
16.4 工艺流程设计	544	16.8.3.4 研磨的加工余量	565
16.4.1 加工阶段的划分	544	16.8.3.5 研磨剂	566
16.4.2 加工方案的选择	544	16.8.3.6 研具	569
16.4.2.1 确定加工方案的依据	544	16.8.3.7 内孔研磨方法	570
16.4.2.2 壳体内孔加工方案	544	16.8.4 抛光	571
16.4.3 工艺流程实例	545	16.8.4.1 抛光特点及应用	571
16.4.3.1 LC9 铝合金转换装置壳体的 工艺流程	546	16.8.4.2 抛光轮的分类及材料选择	571
16.4.3.2 ZL101-T4 铝合金壳体的 工艺流程	548	16.8.4.3 磨料和抛光剂	572
16.5 内螺纹的挤压加工	549	16.8.4.4 抛光速度	572
16.5.1 内螺纹挤压加工的特点	549	16.9 壳体密封表面的质量控制与检验	573
16.5.2 零件材料	550	16.9.1 壳体密封表面的质量控制	573
16.5.3 挤压螺纹工艺参数的选择与 计算	550	16.9.2 壳体表面与内部缺陷的质量控制 与检验	573
16.5.3.1 挤压螺纹前底孔的确定	550	16.9.3 壳体端平面磨削产生龟裂的原因 及解决方法	574
16.5.3.2 底孔倒角	553	16.9.4 在车床上加工内圆柱面的常见 问题、产生原因及解决方法	574
16.5.3.3 挤压速度	553	第 17 章 管嘴、紧固件类零件的加工	
16.5.3.4 挤压扭矩的计算	554	17.1 管嘴的结构特点及技术要求	576
16.5.4 挤压切削液	554	17.1.1 管嘴零件的结构特点及技术 要求	576
16.5.5 挤压丝锥	555	17.1.2 紧固件类零件的结构特点及 技术要求	577
16.5.5.1 挤压丝锥的分类	555	17.2 常用材料及主要特点	579
16.5.5.2 挤压丝锥的结构	555	17.2.1 常用钢锻件材料的性能	579
16.5.5.3 挤压丝锥主要几何参数的 确定	556	17.2.2 常用铝合金材料的性能	580
16.5.6 典型实例	557	17.3 毛坯类型及工艺特点	580
16.6 MJ 内螺纹的加工	558	17.4 工艺过程设计	581
16.6.1 工艺底孔基本尺寸及偏差的 确定	558	17.4.1 加工阶段的划分	581
16.7 各种加工螺纹的方法所能达到的 螺纹精度等级与表面粗糙度	560	17.4.2 主要工艺流程实例	581
16.8 壳体密封表面的光整加工	561	17.4.2.1 接管嘴零件主要加工工艺 流程实例	581
16.8.1 开关、活门密封结构及壳体密封 表面的特征	561	17.4.2.2 平管嘴零件主要加工工艺 流程实例	582
16.8.2 低粗糙度磨削	562	17.4.2.3 螺栓、螺钉紧固件主要加工 工艺流程实例	584
16.8.2.1 低粗糙度磨削的特点	563	17.5 主要表面的加工及质量控制	587
16.8.2.2 低粗糙度磨削的分类及应用 范围	563	17.5.1 74°圆锥面的加工	588
16.8.2.3 低粗糙度磨削砂轮的选择	563	17.5.1.1 74°圆锥面的加工方法及特点	588

17.5.1.2 74°圆锥面的质量控制	588	18.2.5 飞机结构件常用材料强度比较	614
17.5.2 螺栓杆部至头部过渡圆角 r 的 加工	588	18.3 钛合金的切削加工	614
17.5.2.1 圆角 r 的加工方法及特点	588	18.3.1 切削加工性差的原因	615
17.5.2.2 过渡圆角 r 冷滚压加工的技术 要求	589	18.3.1.1 导热、导温系数小, 切削 温度高	615
17.6 螺纹的滚压加工	590	18.3.1.2 切削变形系数小	615
17.6.1 滚压螺纹的优点及应用	590	18.3.1.3 单位面积上的切削力大	615
17.6.2 滚压螺纹的工艺分析	590	18.3.1.4 化学活性大	615
17.6.3 热处理后螺纹的滚压加工	590	18.3.1.5 弹性模量小, 屈服比大	615
17.6.4 滚压螺纹主要方法的选择	591	18.3.1.6 亲合性大, 切削温度高	615
17.6.5 滚压螺纹的精度和表面粗糙度	591	18.3.1.7 其他因素的影响	615
17.6.6 滚压螺纹的条件	591	18.3.2 刀具材料的选择	616
17.6.7 滚丝轮的选择	597	18.3.2.1 硬质合金刀具材料	616
17.6.7.1 滚丝轮外形尺寸	597	18.3.2.2 高速钢刀具材料	616
17.6.7.2 滚丝轮的牙型	597	18.3.2.3 超硬刀具材料	617
17.6.7.3 标准滚丝轮的精度	597	18.3.3 钛合金的切削加工	617
17.6.7.4 标准滚丝轮的标记方法	597	18.3.3.1 钛合金的车削	617
17.6.8 滚压螺纹机床的选择	600	18.3.3.2 钛合金的铣削	620
17.6.9 滚压螺纹工艺参数的选择	601	18.3.3.3 钛合金的钻削	624
17.6.10 滚压螺纹的质量控制方法	601	18.3.3.4 钛合金的铰削	627
17.7 机械去毛刺	604	18.3.3.5 钛合金的攻丝	630
17.7.1 机械去毛刺的加工方法及设备	604	18.3.3.6 钛合金零件车螺纹	635
17.7.2 机械去毛刺的磨料及填加剂	605	18.3.3.7 钛合金的拉削	637
17.7.2.1 磨料	605	18.3.3.8 钛合金的磨削	639
17.7.2.2 填加剂	606	18.3.4 钛合金的光整加工	644
17.7.2.3 工艺技术要求	608	18.3.5 切削加工钛合金选用的切削液	645
17.7.2.4 机械去毛刺加工实例	608	18.3.5.1 对切削液的要求	645
第 18 章 钛合金类零件的加工		18.3.5.2 切削加工钛合金推荐选用的 切削液	645
18.1 钛合金在飞机上的应用	609	18.3.5.3 切削液的使用	646
18.1.1 概述	609	18.4 钛合金零件机加过程中的质量 控制	646
18.1.2 飞机上常用钛合金结构零件的 分类	609	18.4.1 保证工艺系统刚性	646
18.1.2.1 梁类零件的典型结构	609	18.4.1.1 对机床的要求	646
18.1.2.2 接头类零件的典型结构	610	18.4.1.2 对刀具的要求	646
18.1.2.3 阀类零件的典型结构	611	18.4.1.3 对夹具的要求	646
18.1.2.4 螺纹连接件的典型结构	611	18.4.1.4 零件标记	646
18.2 钛合金的分类及性能	612	18.4.2 防止污染	646
18.2.1 钛合金的分类	612	18.5 工艺过程设计	647
18.2.1.1 按组织分类	612	18.5.1 非机械加工工序安排	647
18.2.1.2 按性能特征分类	612	18.5.1.1 锻件超声波探伤检查	647
18.2.2 钛合金牌号	613	18.5.1.2 零件校正	647
18.2.3 常用钛合金的化学成分	613	18.5.1.3 零件荧光检查	647
18.2.4 常用钛合金的机械性能	614	18.5.1.4 零件热处理	647

18.5.1.5 零件表面防护	647	质量控制	668
18.5.1.6 零件清洗	647	第 20 章 数控测量机的应用	
18.5.2 加工阶段的划分	647	20.1 前言	670
18.5.3 主要表面加工的质量控制	648	20.2 数控测量机的组成及其设备	670
18.5.4 工艺流程实例	649	20.2.1 数控测量机的组成	670
18.5.4.1 飞机垂尾接头工艺流程	649	20.2.2 外部设备	671
18.5.4.2 飞机腹鳍接头工艺流程	649	20.2.3 几种常用的测头	671
第 19 章 液压附件的装配与试验		20.3 软件功能	674
19.1 结构形式及技术要求	659	20.3.1 为测量作准备的几种软件功能	674
19.1.1 作动筒的结构形式	659	20.3.2 程序测量	675
19.1.2 对作动筒的主要技术要求	659	20.3.3 测量采样与处理	676
19.2 液压作动筒的装配与试验	660	20.3.4 单纯计算功能	677
19.2.1 装配工艺过程及主要内容	660	20.3.5 形状和位置公差计算功能	680
19.2.2 作动筒的试验	661	20.3.6 自学习零件测量编程	685
19.3 起落架收放作动筒的装配及试验	662	20.3.7 连续扫描测量系统的应用	688
19.3.1 作动筒的结构	662	20.4 编制测量程序及其实例	691
19.3.2 作动筒装配及试验工艺流程	664	20.4.1 零件测量程序的编制内容	691
19.3.3 液压作动筒的冲洗	667	20.4.2 有理论数据零件的测量与实例	693
19.3.4 作动筒装配过程中常见问题、 产生原因和解决方法	667	20.4.3 有数学方程式的零件测量与 实例	703
19.3.5 作动筒试验中常见问题、 产生原因和解决方法	668	20.4.4 零件形状公差和位置公差 的测量与实例	704
19.4 液压作动筒装配、试验过程中的		参考文献	

第1章 飞机零件机械加工工艺概述

飞机零件机械加工（简称“机加”）工艺是飞机制造技术中的重要组成部分。目前，国内飞机零件机加工工艺的技术水平与先进国家相比还有较大的差距，难以适应我国航空工业发展的需要。因此，在总结经验的基础上，加强科学研究，提高加工工艺水平，是发展航空工业的重要环节之一。

1.1 飞机零件机加工工艺的重要性

当代飞机要求具有先进的设计、优化的选材和精良的制造工艺。统计资料表明，随着飞机技术性能的不断提高和数控加工技术的广泛应用，机加零件的数量在不断增多，尤其是整体大件增加得更为显著。以歼击机为例，机加零件的件数 N ，整体大件的件数 M 和机加零件的制造劳动量占全机制造劳动量的百分数 B 都在不断增长，其增长趋势如图 1.1 所示。

飞机机体的大部分骨架零件都要进行机械加工，只有不断地寻求新的机加工工艺方法和先进的加工设备，才能适应多品种、中小批量、生产周期长、劳动量大的机加零件的生产需要。

随着电子计算机技术和数控加工技术的发展，计算机辅助设计、辅助制造 (CAD/CAM) 技术和柔性制造系统 (FMS) 技术得到了广泛的应用和迅速的发展，机加工工艺技术水平得到了很大的提高。这对保证机加零件的质量、缩短制造周期、降低生产成本、增加竞争和应变能力，以及扩大国际合作等都发挥了巨大作用。

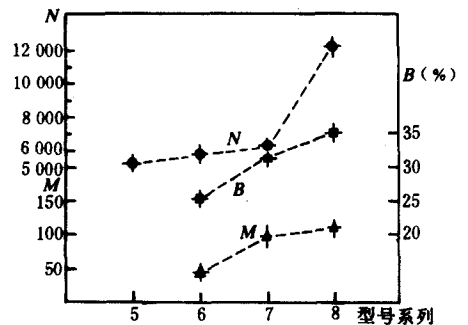


图 1.1 歼击机机加零件件数和制造劳动量的增长趋势

1.2 飞机零件机加工工艺的特点

飞机零件机加工工艺之所以有别于一般机械制造业的机加工工艺，是因为飞机的结构和生产方式具有其自身的特点。

机加零件是构成飞机机体骨架和气动外形的重要组成部分，它们品种繁多、形状复杂、选材各异。与一般机械制造业相比，它们的加工难度大，对制造技术的要求高。例如：壁板、梁、框、座舱盖骨架整体结构件，由构成飞机气动外形的流线型曲面、各种异形切面、结合槽口及交点孔组合而成的复杂组合体，不但形位精度要求高，而且有严格的重量控制和使用寿命的要求。飞机零件机加工工艺具有航空工艺的明显特色，它所利用的加工手段，包括手工操作、半自动化的数控加工，直到全自动化的柔性制造系统等多种加工工艺，其间的技术水平差异

很大。

零件加工时,除要求按图纸尺寸制造外,对构成气动外形的流线型曲面、结合槽口以及交点孔等,还要有符合专用检验工装的要求。专用工装品种多,协调关系复杂,协调精度要求高。应用计算机辅助设计和辅助制造,可大大减少协调环节,提高协调精度,节省许多专用工装,缩短新产品的研制周期。

为了达到零件设计的各项技术要求,飞机机加零件的工艺流程复杂,控制严格。零件外形和尺寸的准确度、边缘状况、表面完整性(包括表面粗糙度、表面应力、表面腐蚀、表面烧伤、表面纹理方向、表面电磁特性变化等),都必须采用相应的工艺措施来保证,采用动态的检测手段来进行检验。

在飞机机加工艺中,铣削加工工艺占有重要的地位。铣削加工的劳动量占全机机加总劳动量的33.8%~48.5%。因此,大型多坐标数控铣床得到了广泛的应用。表1.1列出了一些飞机机加零件机加劳动量的统计数字。

表 1.1 飞机机加零件机加劳动量统计表

飞机代号	机加零件总工时 (h)	铣削加工工时 (h)	铣削加工工时所占比例 (%)
A	4 180	2 026	48.5
B	4 594	1 557.8	33.8
C	8 676	4 192	48.3
D	31 929	14 004	43.0
E	5 650	1 628	35.0

飞机机加工艺是综合运用各种先进机加工工艺的复杂技术。如成组技术(GT)、数控加工技术、仿形加工技术、精密深孔加工技术、超精加工技术、无切屑加工技术等,都在飞机零件的机械加工中被广泛采用。

飞机机加工艺的发展取决于飞机结构的改进、新型材料的应用和新工艺、新技术及先进设备的采用。军用飞机不断提高的战术技术指标,民用飞机安全、寿命、舒适的市场要求,比刚度大、比强度高、耐腐蚀材料的使用等,都迫切需要飞机机加工艺技术不断得以完善、发展和提高。

1.3 飞机机加零件分类

飞机机加零件,按其结构特点和工艺特点可分为7大类,见表1.2。

表 1.2 飞机机加零件按结构—工艺特点分类

序号	类别	结构特点	使用材料	主要机加方法
1	整体结构件	壁板	铝合金	三坐标数控铣切
		梁	铝合金	四、五坐标数控铣切和仿形铣切
		框、肋	合金钢	
	座舱盖骨架	气动外形复杂	铸造镁合金	对结合部位机械加工,外形、气密槽五坐标数控铣切或仿形铣切
2	起落架和作动筒	筒形、深孔、带叉耳接头	合金钢 铝合金 钛合金	车、铣切、高速铰孔、镗、超精、珩磨