

内 容 提 要

本书共分为5章,介绍了金属零件可加工性技术的基本概念并分类介绍了各种典型金属零件的制造方法和检验方面的数据。通过对各种加工方法的介绍和分析,揭示了金属零件生产性问题产生的普遍原因及解决措施。为了便于读者阅读参考,本书采用与设计决策的顺序一致的表达方式。

本书内容丰富实用,可供军工产品和民用产品的广大设计和工艺人员、技术管理人员和企业管理人员查阅使用,也可供大专院校有关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属零件可加工性技术/王西彬,龙振海,刘志兵主
编. —北京:航空工业出版社,2009.6
(产品设计可制造性技术丛书)
ISBN 978-7-80243-077-8

I. 金… II. ①王…②龙…③刘… III. 金属材料—机械
元件—加工工艺 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第196998号

金属零件可加工性技术 Jinshu Lingjian Kejiagongxing Jishu

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)

发行部电话:010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2009年6月第1版

2009年6月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:24.25

字数:602千字

印数:1—4000

定价:72.00元

目 录

| | |
|--------------------------|--------|
| 第 1 章 一般生产性考虑 | (1) |
| 1.1 主要材料的考虑 | (1) |
| 1.1.1 材料选择考虑的因素 | (3) |
| 1.1.1.1 抗拉强度 | (3) |
| 1.1.1.2 弹性极限 | (3) |
| 1.1.1.3 屈服强度 | (3) |
| 1.1.1.4 弹性模量 | (3) |
| 1.1.1.5 塑性 | (4) |
| 1.1.1.6 硬度 | (4) |
| 1.1.1.7 韧性 | (4) |
| 1.1.1.8 强度重量比 | (4) |
| 1.1.1.9 冲击韧性 | (4) |
| 1.1.1.10 疲劳性能 | (5) |
| 1.1.1.11 高温性能 | (5) |
| 1.1.1.12 低温性能 | (5) |
| 1.1.1.13 耐腐蚀性 | (5) |
| 1.1.1.14 电动势 | (5) |
| 1.1.1.15 电阻 | (6) |
| 1.1.1.16 可焊性 | (6) |
| 1.1.1.17 密度 | (6) |
| 1.1.1.18 比热 | (6) |
| 1.1.1.19 热膨胀系数 | (6) |
| 1.1.1.20 化学成分 | (7) |
| 1.1.1.21 可锻性 | (7) |
| 1.1.1.22 淬透性 | (7) |
| 1.1.1.23 金相组织 | (8) |
| 1.1.2 典型材料的适用性和生产性 | (8) |
| 1.1.2.1 碳素结构钢 | (8) |
| 1.1.2.2 合金结构钢 | (12) |
| 1.1.2.3 碳素工具钢 | (22) |

| | | |
|----------|-------------------|--------|
| 1.1.2.4 | 合金工具钢 | (23) |
| 1.1.2.5 | 耐热钢 | (25) |
| 1.1.2.6 | 弹簧钢 | (29) |
| 1.1.2.7 | 不锈钢 | (31) |
| 1.1.2.8 | 轴承钢 | (31) |
| 1.1.2.9 | 铸造碳钢 | (33) |
| 1.1.2.10 | 铸铁 | (33) |
| 1.1.2.11 | 铝及铝合金 | (36) |
| 1.1.2.12 | 铸造铜及铜合金 | (47) |
| 1.1.2.13 | 钛及钛合金 | (53) |
| 1.1.3 | 成本考虑 | (55) |
| 1.1.4 | 材料的可获得性 | (55) |
| 1.1.5 | 军方要求 | (56) |
| 1.1.6 | 与制造方法有关的材料 | (56) |
| 1.2 | 基本制造方法 | (56) |
| 1.2.1 | 成形 | (56) |
| 1.2.1.1 | 常用成形方法 | (56) |
| 1.2.1.2 | 典型金属零件的成形方法 | (57) |
| 1.2.2 | 去除加工 | (59) |
| 1.2.2.1 | 切削加工 | (59) |
| 1.2.2.2 | 磨削加工 | (62) |
| 1.2.2.3 | 绿色干切削加工 | (63) |
| 1.2.3 | 连接 | (66) |
| 1.2.3.1 | 焊接 | (66) |
| 1.2.3.2 | 螺纹连接 | (68) |
| 1.2.3.3 | 铆接 | (69) |
| 1.2.3.4 | 胶接 | (73) |
| 1.2.4 | 最终加工 | (76) |
| 1.2.4.1 | 机械式最终加工方法 | (76) |
| 1.2.4.2 | 表面光饰 | (77) |
| 1.2.4.3 | 表面涂镀 | (78) |
| 1.3 | 特种制造方法 | (79) |
| 1.3.1 | 电火花加工 | (79) |
| 1.3.1.1 | 电火花加工机理 | (79) |
| 1.3.1.2 | 电火花加工的特点 | (81) |
| 1.3.1.3 | 电火花加工的分类 | (82) |
| 1.3.2 | 电解加工 | (82) |

| | | |
|---------|---------------------|---------|
| 1.3.2.1 | 电解加工的机理 | (82) |
| 1.3.2.2 | 电解加工的特点及应用 | (83) |
| 1.3.2.3 | 电解液 | (83) |
| 1.3.2.4 | 电解加工的基本设备 | (84) |
| 1.3.3 | 激光加工 | (84) |
| 1.3.3.1 | 激光加工的特点和机理 | (84) |
| 1.3.3.2 | 激光加工的基本设备 | (85) |
| 1.3.3.3 | 激光加工的基本工艺规律 | (86) |
| 1.3.3.4 | 激光加工的应用 | (88) |
| 1.3.4 | 离子束加工 | (88) |
| 1.3.4.1 | 离子束加工的基本原理 | (88) |
| 1.3.4.2 | 离子束加工的特点 | (89) |
| 1.3.4.3 | 离子束加工的应用 | (89) |
| 1.3.5 | 电子束加工 | (90) |
| 1.3.5.1 | 电子束加工的基本原理和特点 | (90) |
| 1.3.5.2 | 电子束加工装置 | (90) |
| 1.3.5.3 | 电子束加工的应用 | (91) |
| 1.3.6 | 超声加工 | (91) |
| 1.3.6.1 | 超声加工的基本原理 | (92) |
| 1.3.6.2 | 超声加工的机理和特点 | (92) |
| 1.3.6.3 | 超声加工的设备及构成 | (93) |
| 1.3.6.4 | 超声加工的工艺参数及应用 | (94) |
| 1.3.7 | 水切割加工 | (94) |
| 1.3.7.1 | 水射流切割的基本原理 | (95) |
| 1.3.7.2 | 水射流切割的特点 | (96) |
| 1.3.7.3 | 水射流切割设备 | (96) |
| 1.3.7.4 | 水射流切割工艺参数 | (97) |
| 1.3.7.5 | 水射流切割的应用 | (97) |
| 1.4 | 材料的试验和检查 | (98) |
| 1.4.1 | 磁粉探伤 | (99) |
| 1.4.2 | 射线探伤 | (99) |
| 1.4.3 | 超声波探伤 | (100) |
| 1.4.3.1 | 超声波探伤的基本概念 | (100) |
| 1.4.3.2 | 超声波的特性 | (100) |
| 1.4.3.3 | 超声波探伤的方法 | (101) |
| 1.4.3.4 | 超声波探伤的典型应用 | (103) |
| 1.4.4 | 渗透探伤 | (104) |

| | |
|------------------------------------|-------|
| 1.5 零件的试验与检查 | (105) |
| 1.5.1 零件测量的基本原则 | (105) |
| 1.5.2 形状和位置精度的控制和评定 | (107) |
| 1.5.2.1 形状和位置精度对零件的作用和影响 | (107) |
| 1.5.2.2 形位公差与形位误差的基本术语与定义 | (108) |
| 1.5.3 形状公差与形状误差测量 | (109) |
| 1.5.3.1 直线度 | (109) |
| 1.5.3.2 平面度 | (110) |
| 1.5.3.3 圆度 | (111) |
| 1.5.3.4 圆柱度 | (112) |
| 1.5.3.5 线、面轮廓度 | (113) |
| 1.5.4 位置公差与位置误差测量 | (113) |
| 1.5.4.1 平行度 | (113) |
| 1.5.4.2 垂直度 | (115) |
| 1.5.4.3 倾斜度 | (115) |
| 1.5.4.4 同轴度 | (116) |
| 1.5.4.5 对称度 | (117) |
| 1.5.4.6 位置度 | (117) |
| 1.5.4.7 跳动 | (118) |
| 1.5.5 零件表面测量 | (121) |
| 1.5.5.1 零件表面特征的形成与划分 | (121) |
| 1.5.5.2 零件表面粗糙度测量方法 | (122) |
| 1.5.6 零件表面分析技术 | (124) |
| 1.5.6.1 电子探针 X 射线显微分析 (EPMA) | (124) |
| 1.5.6.2 俄歇电子能谱仪 (AES) | (125) |
| 1.5.6.3 X 射线光电子能谱仪 (XPS) | (125) |
| 1.5.6.4 扫描电子显微镜 (SEM) | (126) |
| 1.5.6.5 透射电子显微镜 (TEM) | (127) |
| 1.5.6.6 X 射线衍射分析 (XRD) | (128) |
| 1.6 热处理 | (129) |
| 1.6.1 普通热处理 | (129) |
| 1.6.1.1 钢的退火和正火 | (129) |
| 1.6.1.2 钢的淬火 | (130) |
| 1.6.1.3 钢的回火 | (131) |
| 1.6.2 表面热处理 | (131) |
| 1.6.2.1 钢的表面淬火 | (131) |
| 1.6.2.2 化学热处理 | (132) |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 1.6.3 其他热处理技术 | (133) |
| 1.7 光整加工 | (135) |
| 1.7.1 研磨 | (135) |
| 1.7.2 珩磨 | (136) |
| 1.7.3 抛光 | (136) |
| 第2章 板成形零件与体积成形零件 | (138) |
| 2.1 金属板成形零件 | (138) |
| 2.1.1 板成形常用材料 | (138) |
| 2.1.1.1 常用钢板及钢带 | (138) |
| 2.1.1.2 金属材料的交货状态 | (141) |
| 2.1.1.3 板材力学性能及其指标 | (143) |
| 2.1.1.4 板材性能实验 | (147) |
| 2.1.1.5 金属牌号对照 | (151) |
| 2.1.2 板料成形方法 | (156) |
| 2.1.2.1 板料冲压成形 | (156) |
| 2.1.2.2 旋压加工 | (186) |
| 2.1.2.3 挤压 | (190) |
| 2.1.2.4 特种成形加工方法 | (193) |
| 2.2 体积成形零件 | (199) |
| 2.2.1 体积成形零件所用金属材料 | (199) |
| 2.2.1.1 常用金属材料焊号的表示方法 | (199) |
| 2.2.1.2 材料的选择 | (204) |
| 2.2.1.3 常用金属零件的材料选择 | (206) |
| 2.2.2 金属体积成形方法 | (210) |
| 2.2.2.1 铸造 | (210) |
| 2.2.2.2 锻造成形 | (228) |
| 2.2.2.3 轧制 | (234) |
| 2.2.2.4 拉拔成形 | (236) |
| 2.2.2.5 粉末冶金成形 | (236) |
| 2.2.2.6 摆动辗压成形 | (237) |
| 2.2.2.7 快速原型制造技术 | (238) |
| 2.2.3 常用成形加工方法的比较 | (239) |
| 2.2.4 成形产品或毛坯质量及性能的比较 | (240) |
| 第3章 机械加工工艺方法 | (243) |
| 3.1 几种典型几何结构的机械加工方法 | (243) |

| | |
|--------------------------|-------|
| 3.1.1 外圆加工工艺 | (243) |
| 3.1.1.1 车外圆 | (244) |
| 3.1.1.2 磨外圆 | (244) |
| 3.1.1.3 外圆柱表面的光整加工 | (244) |
| 3.1.2 平面加工工艺 | (246) |
| 3.1.2.1 刨平面 | (246) |
| 3.1.2.2 铣平面 | (246) |
| 3.1.2.3 拉平面 | (247) |
| 3.1.2.4 磨平面 | (247) |
| 3.1.3 孔加工工艺 | (248) |
| 3.1.3.1 钻孔 | (249) |
| 3.1.3.2 扩孔 | (251) |
| 3.1.3.3 铰孔 | (252) |
| 3.1.3.4 镗孔 | (252) |
| 3.1.3.5 拉孔 | (255) |
| 3.1.3.6 磨孔 | (255) |
| 3.1.4 制齿工艺 | (258) |
| 3.1.4.1 滚齿 | (258) |
| 3.1.4.2 插齿 | (259) |
| 3.1.4.3 剃齿 | (259) |
| 3.1.4.4 磨齿 | (260) |
| 3.2 基础机械加工方法 | (261) |
| 3.2.1 车削工艺 | (261) |
| 3.2.1.1 工艺过程及特点 | (261) |
| 3.2.1.2 主要应用 | (262) |
| 3.2.1.3 机床类型与用途 | (262) |
| 3.2.2 铣削工艺 | (262) |
| 3.2.2.1 工艺过程及其特点 | (262) |
| 3.2.2.2 主要应用 | (263) |
| 3.2.2.3 机床类型 | (264) |
| 3.2.3 刨削和拉削工艺 | (265) |
| 3.2.3.1 工艺过程及其特点 | (265) |
| 3.2.3.2 主要应用 | (267) |
| 3.2.3 磨削工艺 | (268) |
| 3.2.3.1 工艺过程及其特点 | (268) |
| 3.2.3.2 主要应用 | (269) |
| 3.3 数控机床与数控加工 | (271) |

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| 3.3.1 数控技术 | (271) |
| 3.3.1.1 数控机床的运动控制 | (271) |
| 3.3.1.2 数控系统的组成 | (272) |
| 3.3.1.3 数控系统的分类 | (273) |
| 3.3.2 数控编程 | (274) |
| 3.3.2.1 数控加工编程内容、方法及步骤 | (274) |
| 3.3.2.2 手工编程的常用编程指令、程序结构与格式 | (274) |
| 3.3.2.3 常用的 G 指令 | (277) |
| 3.3.2.4 常用的 M 指令 | (279) |
| 3.3.2.5 自动编程 | (279) |
| 3.3.3 计算机数控 CNC 的组成、工作原理、功能及优点 | (281) |
| 3.3.3.1 CNC 装置的硬件结构 | (281) |
| 3.3.3.2 CNC 装置的软件结构 | (283) |
| 3.3.3.3 CNC 的工作原理及特点 | (284) |
| 3.3.4 刀具插补与补偿 | (285) |
| 3.3.4.1 逐点比较法 | (286) |
| 3.3.4.2 数字积分法 | (286) |
| 3.3.4.3 刀具的长度补偿 | (287) |
| 3.3.4.4 刀具的半径补偿 | (288) |
| 3.3.5 进给速度的控制 | (290) |
| 3.3.5.1 开环 CNC 系统的进给速度及加减速控制 | (290) |
| 3.3.5.2 闭环 CNC 系统的进给速度及加减速控制 | (290) |
| 3.3.6 数控机床 | (291) |
| 3.4 先进切削加工技术 | (293) |
| 3.4.1 高速切削加工技术 | (294) |
| 3.4.2 干切削加工技术 | (294) |
| 3.4.3 硬切削加工技术 | (295) |
| 3.4.4 微细、精密和超精密切削加工技术 | (295) |
| 3.4.5 虚拟切削加工技术 | (296) |
| 3.4.6 超高速磨削加工技术 | (297) |
| 第 4 章 重型结构件 | (298) |
| 4.1 概述 | (298) |
| 4.2 主要材料的选择 | (298) |
| 4.2.1 重型结构件常用的金属材料 | (298) |
| 4.2.1.1 碳素结构钢 | (298) |
| 4.2.1.2 低合金钢铸件 | (299) |

| | | |
|----------|-----------------------|-------|
| 4.2.1.3 | 不锈钢铸件 | (299) |
| 4.2.1.4 | 高锰钢铸件 | (300) |
| 4.2.1.5 | 耐热钢铸件 | (300) |
| 4.2.1.6 | 高强度钢及超高强度钢结构件 | (300) |
| 4.2.1.7 | 灰口铸铁件 | (302) |
| 4.2.1.8 | 球墨铸铁件 | (303) |
| 4.2.1.9 | 耐热铸铁件 | (304) |
| 4.2.1.10 | 中锰抗磨球墨铸铁件 | (304) |
| 4.2.1.11 | 耐磨铸铁件 | (305) |
| 4.2.1.12 | 铝合金铸件 | (305) |
| 4.2.1.13 | 碳素结构钢锻件 | (305) |
| 4.2.1.14 | 合金结构钢锻件 | (308) |
| 4.2.1.15 | 压力容器锻件 | (309) |
| 4.2.1.16 | 人造水晶高压釜锻件 | (311) |
| 4.2.1.17 | 表面硬化处理钢锻件 | (311) |
| 4.2.1.18 | 锻造合金钢冷轧工作辊 | (312) |
| 4.2.1.19 | 锻造合金钢热轧工作辊 | (312) |
| 4.2.1.20 | 锻造合金钢支撑辊 | (313) |
| 4.2.1.21 | 合金钢大型热模、锻模块锻件材料 | (313) |
| 4.2.1.22 | 水轮机、水轮发电机大轴锻件 | (314) |
| 4.2.1.23 | 汽轮发电机磁性环锻件 | (314) |
| 4.2.1.24 | 汽轮机轮盘及叶轮锻件 | (314) |
| 4.2.1.25 | 汽轮发电机转子锻件 | (314) |
| 4.2.1.26 | 冷、热剪刀片合金钢锻件 | (314) |
| 4.2.1.27 | 钛合金结构件 | (315) |
| 4.2.2 | 材料选择的因素 | (315) |
| 4.2.2.1 | 对材料力学性能的考虑 | (316) |
| 4.2.2.2 | 对材料工艺性能的考虑 | (316) |
| 4.2.2.3 | 对材料经济性的考虑 | (316) |
| 4.2.2.4 | 对产品“轻型化、高寿命”的考虑 | (316) |
| 4.3 | 制造方法的选择 | (316) |
| 4.3.1 | 第二级常规制造方法 | (317) |
| 4.3.1.1 | 车削 | (317) |
| 4.3.1.2 | 铣削 | (322) |
| 4.3.1.3 | 刨削 | (326) |
| 4.3.1.4 | 锯削 | (329) |
| 4.3.1.5 | 拉削 | (331) |
| 4.3.2 | 第二级数控制造方法 | (338) |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 4.3.2.1 数控机械加工工作特性 | (338) |
| 4.3.2.2 数控机床加工零件的合理选择 | (338) |
| 4.3.2.3 数控机床加工工艺方案的确定 | (339) |
| 4.3.2.4 数控机床加工切削用量 | (341) |
| 4.3.3 第二级特种制造方法 | (342) |
| 4.3.3.1 数控氧气切割 | (342) |
| 4.3.3.2 电火花线切割 | (343) |
| 4.3.3.3 水射流切割 | (346) |
| 4.3.4 重型结构件的失效问题 | (350) |
| 4.3.4.1 失效的原因 | (350) |
| 4.3.4.2 重型结构件失效的形式 | (350) |
| 第5章 金属零件主要生产性问题 | (352) |
| 5.1 薄壁件加工变形 | (352) |
| 5.1.1 机械加工难点 | (352) |
| 5.1.2 解决问题的途径 | (352) |
| 5.1.3 加工效果对比 | (354) |
| 5.2 铸造残余应力和变形 | (355) |
| 5.2.1 原因和影响 | (355) |
| 5.2.1.1 残余应力的基本形式 | (355) |
| 5.2.1.2 影响铸造应力的因素 | (356) |
| 5.2.2 解决问题的途径 | (356) |
| 5.2.2.1 防止缩孔、缩松的方法 | (356) |
| 5.2.2.2 防止应力和变形的的方法 | (357) |
| 5.2.2.3 两种凝固原则应采用的工艺措施 | (358) |
| 5.2.2.4 铸造残余应力的消除 | (358) |
| 5.3 焊接残余应力和变形 | (359) |
| 5.3.1 原因和影响 | (359) |
| 5.3.1.1 焊接残余应力与变形产生的原因 | (359) |
| 5.3.1.2 焊接应力和变形的的基本形式 | (359) |
| 5.3.1.3 焊接裂纹 | (360) |
| 5.3.1.4 焊接应力和变形对焊接结构的影响 | (361) |
| 5.3.2 焊接变形的控制 | (361) |
| 5.3.3 焊接变形的矫正方法 | (362) |
| 5.3.4 减少和消除焊接残余应力的措施 | (362) |
| 5.3.5 保证焊接质量的措施 | (362) |
| 参考文献 | (364) |