



产品设计可制造性技术丛书

# 金属零件可加工性技术

JINSHU LINGJIAN KEJIAGONGXING JISHU

王西彬 龙振海 刘志兵 主编

航空工业出版社

产品设计可制造性技术丛书

# 金属零件可加工性技术

王西彬 龙振海 刘志兵 主编

航空工业出版社

北京

## 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

## 序

缩短生产周期、提高产品质量、降低制造成本是企业赢得竞争的主要途径。

产品设计可制造性是指所设计的产品的可加工性（我国工业部门一般称为工艺性），在产品设计或论证阶段，如果不认真考虑可制造性，则会在组织生产时出现制造周期延长、成本提高或材料供应困难等问题。

产品在进入生产制造环节前需要对可制造性进行衡量，产品设计是否考虑了制造加工的工艺可行性尤为重要，系统设计能力和水平是装备制造技术水平最直观、最集中的表现。在我国军工行业的发展过程中，通过引进技术、合作设计、合作生产、自主开发等多种途径，已能生产大批高水平、高质量的产品。

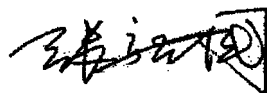
一直以来，尤其是“十一五”期间，我国军工系统各行业科研、生产任务繁重，新材料、新技术、新设备不断出现，新产品、新型号的设计、生产始终是一个制约军品发展的瓶颈问题，实践经验丰富、熟知生产工艺过程的工程技术人员严重匮乏，经验丰富的设计、工艺、生产人员相对较少，而且随着产品生命周期的不断缩短，越来越需要快速开发生产新的、工艺成熟的产品，以增加企业的竞争力，这就需要通过提高产品设计工程师及制造工程师的综合能力，使其工作更易于衔接，既可帮助产品设计人员提高对工艺知识的了解，又能帮助制造人员组织产品可制造性评审及生产组织工作。

军工制造业发展的一个方面就是需要加速行业人才的培养，而制造业需要的人才多层次、全方位的，尤其是复合型人才。多层次、复合型人才体现在其知识架构的完善，了解基本的研发设计、生产工艺。加强制造业人才队伍建设，需要大批熟悉产品设计制造特点的、能快速熟练掌握先进技术、工艺和技能的高级技能人才。

虽然军工行业已拥有大量先进的加工技术及设备，但必须从总体上掌握产品设计可制造性技术的相关基本概念和内涵，能在产品设计时考虑可制造性及制造时的组织实施，考虑与其他生产技术专业的关系和可制造性所必需的基础知识，以及对各种零件的通用的可制造性考虑等基本知识和实用案例；考虑产品的一般可制造性问题、机械加工工艺方法、重型结构件以及金属零件的选材考虑、加工方法以及易出现的问题；考虑常用设备、元器件等的选择与管理、设计与制造方法、可靠性保障的概念与措施、系统的装配和封装、生产和使用期间的可靠性；考虑新材料的选择、制造技术、试验、检验和质量控制以及可制造性设计，为产品的成形、制造打好基础，保证产品的可制造性。

因此，这套丛书针对航空、航天、船舶、电子、兵器等国防行业产品的设计、制造特点，及现存的主要问题，有的放矢，具有较高的学术价值和学术水平，具有较强的实用价值及创新性，能够满足航空工业及国防工业的急需。可作为国防工业系统及其他工业系统的产品设计人员、工艺技术人员、产品生产与管理人员，以及相关专业师生等非常实用的参考书籍。

中国航空工业集团公司副总经理



2009年5月

## 前 言

产品设计可制造性是指所设计的产品的可加工性，用于解决在组织生产时可能出现的制造周期延长、成本提高或材料供应困难等问题。为全面提高产品设计工程师及制造工程师的综合能力，使其工作更易于衔接，帮助产品设计人员提高对工艺知识的了解，帮助制造人员组织产品可制造性评审等工作，特别组织出版了产品设计可制造性技术丛书（共5册），各册及其主要内容如下：

### 《产品设计可制造性与生产系统》

全面介绍了产品设计可制造性的基本概念和内涵，对军工产品设计时如何考虑可制造性，制造时如何组织实施，与其他生产技术的关系，可制造性工程师所必需的基础知识和最新实用技术，以及对各种零件的通用可制造性考虑等基本知识和实用案例等。

### 《金属零件可加工性技术》

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。

### 《产品设计可装配性技术》

从产品设计总体出发，针对产品装配中的工艺规划、手工装配、自动装配以及装配中的连接方法等进行了详细的分析；对产品设计中应当考虑的与装配工艺过程密切相关的设计要素、设计原则进行了分析和总结。书中的内容既参考了当前装配工艺理论研究的最新成果，也对我国制造业中的实际经验进行了总结。

### 《复合材料件可制造性技术》

以复合材料结构件的制造性为中心，系统地介绍了复合材料的特点和应用，

材料及其工艺性，成形工艺技术，复合材料的试验和质量控制，复合材料结构的可制造性设计等方面的知识。对设计选材、工艺选择、可修理性设计、提高结构工艺性的设计措施等方面提出了一些基本原则。

#### 《电子元器件应用技术》

内容涉及各类电子元器件，包括真空电子器件、微电子器件、光电子器件、微特电机和特种元器件等。书中概要介绍了各类电子元器件的基本特性、当前的产品情况以及所采用的国家标准，讨论了如何正确管理、选择、使用元器件以及在使用过程中可能出现的问题。

本套丛书的作者及审稿专家均来自国防行业各领域，具有一流的学术水平和丰富的实践经验，保证了本套丛书在航空、航天、船舶、电子、兵器等国防行业的适用性。

书 名	作 者	审稿专家
《产品设计可制造性与生产系统》	杨建军	苗 冰
《金属零件可加工性技术》	王西彬，龙振海，刘志兵	刘善国
《产品设计可装配性技术》	张 旭，王爱民，刘检华	宁汝新
《复合材料件可制造性技术》	郭金树	冯子明
《电子元器件应用技术》	李松法	周寿桓

本套丛书的顺利出版与各册作者和审稿专家百忙之中的辛勤工作密不可分，在此对他们以及为本套丛书的出版提供帮助的有关单位、专家表示诚挚的感谢！殷切期望广大读者能将在使用这套丛书时发现的问题以及改进意见和建议及时反馈给我们，以便修订，更好地服务读者。

丛书编委会  
2009年5月

# 前 言

随着现代工业的发展，新材料，新工艺，新方法的不断引入，材料的可加工性已经越来越为工程技术人员所重视，特别是得到广泛应用的金属材料的可加工性更是备受关注，金属材料的可加工性不仅涉及到产品设计人员设计方案时所选择的材料、加工方法、制造成本等，甚至直接关系到方案的可行性。若采用的材料不合适或选取的加工方法不当，则产品的寿命，维护费用等将受到极大的影响，甚至直接导致产品不可加工。故在产品设计时，需要特别注意其可加工性。

《金属零件可加工性技术》一书是航空工业出版社组织编写的《产品设计可制造性技术》丛书中的一本。

本书是一本面向产品设计类人员，以介绍金属零件的生产加工性为目的的技术工具书，力求做到在立足金属零件生产全过程的基础上，较为全面地介绍了金属零件生产过程中的基础理论，常用计算公式，材料数据、文献资料、关键问题以及未来发展趋势，在体现金属零件生产共性特征，突出典型制造方法要点的原则上，列述了有关机械加工工艺的理论基础，常用工艺参数，并着重介绍了消除金属零件主要生产性问题的措施等内容。这些内容不仅是用以指导设计工程师在设计这类零件时应该考虑的具体技术内容，也是指导制造工程师应该考虑的重要方面。

本书共分五章：第一章是关于金属零件生产性概念及其相关的一般介绍，适用于绝大多数金属零件；第二、第三、第四章介绍板成形零件与体积成形零件、机械加工零件、重型结构件；第五章说明了金属零件出现生产性问题的最普遍原因以及解决方法。前四章较为完整地提供了制造方法和检验方面的数据。这些内容的安排顺序，大致与设计决策的顺序相当。

本书是针对各种军工产品的设计而编制的，适用于航空航天、兵器、船舶、电子及其他设计机械加工的技术领域。它也可用于一般民用机械产品的设计工作中。

本书由北京理工大学王西彬主编，刘志兵协助。各章的编者分别为：第一章刘志兵、栗勇，第二章鄂大辛，第三章龙震海、辛氏，第四章辛氏，第五章王西彬、刘志兵。

由于编者水平所限，书中存在缺点与错误在所难免，诚恳希望广大读者提出宝贵意见，给予批评指正。

编 者

2009.4



# 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)
<b>第2章 板成形零件与体积成形零件 .....</b>	<b>(138)</b>
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)
<b>第3章 机械加工工艺方法 .....</b>	<b>(243)</b>
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)
<b>第 4 章</b>	<b>重型结构件 .....</b>	<b>(298)</b>
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	数控机床加工工作特性 .....	(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)
<b>第5章</b>	<b>金属零件主要生产性问题 .....</b>	<b>(352)</b>
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)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(364)</b>