



# 航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 热处理 ·

航空工业出版社

# 航空制造工程手册

## 热 处 理

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1 9 9 3

(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 年航空热处理的先进经验和成果,并广泛收集和分析了国外热处理的先进技术及其发展趋势。本书对航空零部件的一般热处理、化学热处理、保护气氛热处理、真空热处理工艺作了全面介绍。重点阐述了航空用钢、高温合金、有色金属、精密合金和贵金属热处理的基本原理、工艺方法和参数、生产过程和操作、常见缺陷及预防补救措施,并列举了飞机、发动机和机载设备典型零件的热处理工艺规范。书中还介绍了航空热处理常用设备和仪表,热处理的质量控制方法及检验方法。

本书不仅是从事航空热处理工程技术人员的实用手册,而且可供从事产品设计、生产、检验、维修和管理人员,以及高等院校、中专的有关专业师生参考,还可供其它机械行业人员借鉴。

### 航空制造工程手册

#### 热处理

《航空制造工程手册》总编委会 主编

责任编辑 朱丹

---

© 1993

航空工业出版社

(北京市安外小关东里 14 号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

---

1993 年 3 月第 1 版

1993 年 3 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 49.125

印数: 1—2500

字数: 1289 千字

ISBN 7-80046-492-X/V · 121(平装)

ISBN 7-80046-493-8/V · 122(精装)

定价: 48.00 元(平装)

定价: 60.00 元(精装)

# 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,开扩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

工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则,在确保鲜明航空特色的前提下,在总体内容上强调实用性、综合性、成套性;在表达形式上,以技术数据、图形表格、曲线公式为主;阐述扼要,结论严谨,力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便,能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册,缺乏经验,还由于过去资料积累基础比较薄弱,新技术发展迅速和深度广度不断增加,使这项工作带有相当程度的探索性,因之错误与不足之处实为难免,恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动,提供资料,参与编写,评审,出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距,这套手册出版之后,还有不断求新、完善的必要,《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构,将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见,为今后的修订提供依据,以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

# 《航空制造工程手册》

## 各分册名称

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 《通用基础》      | 《非金属结构件工艺》    |
| 《热处理》       | 《飞机结构工艺性指南》   |
| 《特种加工》      | 《发动机机械加工》     |
| 《表面处理》      | 《发动机装配与试车》    |
| 《焊接》        | 《发动机叶片工艺》     |
| 《特种铸造》      | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《金属材料切削加工》  | 《弹性元件工艺》      |
| 《齿轮工艺》      | 《电连接器工艺》      |
| 《工艺检测》      | 《机载设备精密加工》    |
| 《计算机辅助制造工程》 | 《光学元件工艺》      |
| 《飞机钣金工艺》    | 《框架壳体工艺》      |
| 《飞机机械加工》    | 《武器系统装配》      |
| 《飞机装配》      | 《电机电器工艺》      |
| 《飞机工艺装备》    | 《救生装备工艺》      |
| 《飞机模线样板》    | 《电子设备装配》      |
| 《金属结构件胶接》   | 《机载设备环境试验》    |

# 《航空制造工程手册》

## 总编委会、顾问及办公室组成名单

**总编委员会主任** 何文治

**总编委会副主任**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴
朱伯贤	任家耕	李成功	李哲浩	李章由
吴复兴	易志斌	郑作棣	杨彭基	张彤
张士元	张钟林	周家骐	周砥中	周晓青
金德琨	姚克佩	顾元杰	徐秉铨	徐培麟
郭景山	程宝渠	屠德彰		

**总编委会常务副主任** 马业广

**总编委会顾问**(按姓氏笔划排列)

马世英	于欣	于志耕	于剑辉	王英儒
冯旭	杨墉	杨光中	陆颂善	枉云汉
罗时大	荣科	酆少安	董德馨	程华明
廖宗懋	颜鸣皋	戴世然		

**总编委会委员**(按姓氏笔划排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力
王敬堂	方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓
刘盛东	刘瑞新	关桥	朱伯贤	孙国壁
任家耕	严世能	何文治	何恽晋	李成功
李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张彤
张夏	张士元	张幼楨	张灵雨	张纯正
张钟林	张增模	周家骐	周砥中	周晓青

易志斌	郑作棣	林更元	林泽宽	林敦仪
金慧根	金德琨	国 岩	赵仲英	胡四新
胡建国	姜淑芳	姚永义	姚克佩	郝命麒
顾元杰	郭景山	晏海瑞	唐荣锡	唐瑞润
徐秉铨	徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信
屠德彰	程宝渠	熊敦礼	戴 鼎	

**总编委会常委**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恽晋	李成功	李哲浩
吴复兴	郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信
屠德彰	戴 鼎			

**总编委会办公室主任**

戚道纬

**总编委会办公室副主任**(按姓氏笔划排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

**总编委会办公室成员**(按姓氏笔划排列)

丁立铭	王偲鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭
陈 刚	陈振荣	宋占意	张士霖	林 森
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		



## 《热处理》分编委会组成名单

**主编** 王广生

**副主编** 王峙南

**委员** (按姓氏笔划排列)

王广生	王峙南	刘忠秋	朱念璋	许鸿儒
苏怡兴	杜航	张文尚	张守勇	张志方
张喜源	林韵书	贺开运	莫龙生	黄匡华
蒋维樵				

## 《热处理》其他编写和统稿人员名单

**编写人员**(按姓氏笔划排列)

余全晞	陈惠民	范瑞麟	杨思品	赵志远
阎继霞	黄福祥	曾祥模		

**统稿人员**(按姓氏笔划排列)

王广生	张喜源	张 崢
-----	-----	-----

## 《热处理》提供资料人员名单

阎福盛	宋雅芝	陈辉作	柴树青
刘秋桂	杨文奎	李俊韬	邵义雄
王远谋	潘健生	常存富	姜清林
司 鹤	张兴华	张世勋	易 光
黄可诚	曹 斌	唐荣森	张 蕾

## 符号说明

符号	名称	单位	符号	名称	单位
A	奥氏体		$da/dN$	疲劳裂纹扩展速率	mm/周
A	面积	mm <sup>2</sup>	$da/dt$	应力腐蚀裂纹扩展速率	mm/s
A <sub>o</sub>	残余奥氏体		E	1. 正弹性模量(静态)	GPa
a	1. 晶格常数	Å		2. 电场强度	V/m
	2. 裂纹长度	mm	E <sub>d</sub>	正弹性模量(动态)	GPa
AC <sub>1</sub>	钢加热下临界温度	°C	F	铁素体	
AC <sub>3</sub>	亚共析钢加热上临界温度	°C	F	1. 面积	mm <sup>2</sup>
AC <sub>cm</sub>	过共析钢加热上临界温度	°C	f	2. 力	N
A <sub>k</sub>	冲击功	kJ		1. 挠度	mm
a <sub>k</sub>	冲击韧性	kJ/m <sup>2</sup>		2. 频率	Hz
a <sub>KU</sub>	U形缺口试样冲击韧性	kJ/m <sup>2</sup>	G	石墨	
a <sub>KV</sub>	V形缺口试样冲击韧性	kJ/m <sup>2</sup>	G	切变弹性模量	GPa
Ar <sub>1</sub>	钢冷却下临界温度	°C	H	1. 磁场强度	A/m
Ar <sub>3</sub>	亚共析钢冷却上临界温度	°C		2. 高度	mm
B	贝氏体		HB	布氏硬度	
B	1. 磁感应强度	T	HRC	洛氏硬度	
	2. 宽度	mm	HRA	洛氏硬度	
B <sub>s</sub>	贝氏体转变起始温度	°C	HRB	洛氏硬度	
B <sub>s</sub>	饱和磁感应强度	T	HV	维氏硬度	
B <sub>t</sub>	贝氏体转变终止温度	°C	HK	努氏硬度	
B <sub>r</sub>	剩余磁感应强度	T	HS	肖氏硬度	
C	碳化物		H <sub>m</sub>	达到饱和磁感应强度时磁场强度	A/m
C	热容	J/K	H <sub>c</sub>	矫顽力	A/m
c	比热	J/(kg·K)	I	1. 磁化强度	T
D	1. 外径	mm		2. 电流	A
	2. 扩散系数	mm <sup>2</sup> /s	J	电流密度	A/m <sup>2</sup>
d	内径、直径	mm	J <sub>1c</sub>	J 积分	
			K	应力水平因子	MN/m <sup>3/2</sup>
			K <sub>c</sub>	1. 临界应力水平因子	MN/m <sup>3/2</sup>
				2. 平面应力断裂韧性	MN/m <sup>3/2</sup>

符号	名称	单位	符号	名称	单位
$K_{Ic}$	平面应变断裂韧性	$MN/m^{3/2}$	$W$	1. 功率	$W$
$K_{Isc}$	应力腐蚀断裂韧性	$MN/m^{3/2}$		2. 宽度	$mm$
$K_f$	疲劳应力集中系数	$MN/m^{3/2}$	$\alpha$	$\alpha$ 相	
$K_t$	理论应力集中系数		$\alpha$	1. 线膨胀系数	$^{\circ}C^{-1}$
$L$	液态相			2. 平面角	
$L$	长度	$mm$	$\beta$	1. $\beta$ 相	
$l$	长度	$mm$		2. $\beta$ 射线	
$M$	马氏体		$\beta$	平面角	
$M$	力矩	$N \cdot m$	$\gamma$	1. $\gamma$ 相	
$m$	质量	$kg$		2. $\gamma$ 射线	
$M_c$	形变诱发马氏体转变 开始温度	$^{\circ}C$	$\gamma$	1. 平面角	
				2. 电导率	$S/m$
$Me$	金属元素		$\delta$	$\delta$ 相	
$M_s$	马氏体转变开始温度	$^{\circ}C$	$\delta$	1. 延伸率	$\%$
$M_f$	马氏体转变终止温度	$^{\circ}C$		2. 厚度	$mm$
$N$	高周疲劳寿命	周	$\delta_5$	5倍试样延伸率	$\%$
$N_f$	低周疲劳寿命	周	$\delta_{10}$	10倍试样延伸率	$\%$
$n$	转速	转/min	$K$	应力强度因子	$MN/m^{3/2}$
$P$	珠光体		$K_m$	应力强度因子阈值	$MN/m^{3/2}$
$P$	1. 压力	$MPa$	$\epsilon$	$\epsilon$ 相	
	2. 功率	$W$	$\epsilon$	1. 线应变	$\%$
	3. 外加载荷	$N$		2. 冷变形率	$\%$
$R$	1. 电阻	$\Omega$	$\eta$	缺口试样倾斜拉伸强 度下降率	$\%$
	2. 半径	$mm$		温度	$^{\circ}C$
	3. 应力比		$\lambda$	1. 导热系数	$W/m \cdot K$
$r$	半径	$mm$		2. 波长	$mm$
RE	稀土元素		$\mu$	1. 泊桑比	
$S$	索氏体			2. 磁导率	$H/m$
$S$	面积	$mm^2$	$\rho$	1. 密度	$g/mm^3$
$S_k$	真实断裂强度	$MPa$		2. 电阻率	$\Omega \cdot m$
$T$	屈氏体		$\sigma$	应力	$MPa$
$T$	1. 热力学温度	$K$	$\sigma_{0.01}$	条件比例极限	$MPa$
	2. 扭矩	$N \cdot m$	$\sigma_{0.1}$	条件屈服极限	$MPa$
	3. 周期	$s$	$\sigma_{0.2}$	条件屈服极限	$MPa$
$t$	1. 时间	$s$	$\sigma_{-1}$	疲劳强度极限	$MPa$
	2. 温度	$^{\circ}C$	$\sigma_{-1H}$	缺口疲劳强度极限	$MPa$
$V$	1. 电压	$V$	$\sigma_{-0.2}$	压缩屈服极限	$MPa$
	2. 体积	$mm^3$	$\sigma_b$	拉伸强度	$MPa$
$V_c$	蠕变速度	$\%/h$			

符号	名称	单位	符号	名称	单位
$\sigma_a$	应力幅	MPa	$\tau$	1. 剪切强度	MPa
$\sigma_{bH}$	缺口拉伸强度	MPa		2. 切应力	MPa
$\sigma_e$	弹性极限	MPa	$\tau_b$	扭转强度	MPa
$\sigma_{max}$	最大正应力	MPa	$\psi$	1. 断面收缩率	%
$\sigma_{min}$	最小正应力	MPa		2. 角度	°
$\sigma_m$	平均正应力	MPa		氧化增重, 腐蚀失重	g/mm <sup>2</sup>
$\sigma_t^v$	持久强度极限	MPa	—	氧化速率, 腐蚀速率	g/m <sup>2</sup> ·h
$\sigma_H^k$	缺口持久强度极限	MPa	—	腐蚀速度	mm/年
$\sigma_{r,t}^e$	蠕变强度极限	MPa	—	重量面分数	wt% 或 %
$\sigma_s$	物理屈服极限	MPa	—	原子百分数	at%
$\sigma_w$	弯曲强度极限	MPa	—	晶粒度	级

## 目 录

## 绪论

## 第 1 章 钢的热处理

1.1 钢的热处理原理 .....	5
1.1.1 热处理基本理论 .....	5
1.1.2 热处理基本工艺 .....	16
1.2 结构钢热处理 .....	25
1.2.1 优质碳钢热处理 .....	25
1.2.2 合金结构钢热处理 .....	27
1.2.3 超高强度钢热处理 .....	43
1.2.4 结构钢热处理常见缺陷及预防 补救措施 .....	52
1.3 不锈钢热处理 .....	55
1.3.1 不锈钢热处理的分类与特点 .....	55
1.3.2 奥氏体不锈钢热处理 .....	56
1.3.3 马氏体不锈钢热处理 .....	60
1.3.4 沉淀硬化不锈钢热处理 .....	73
1.3.5 不锈钢热处理常见缺陷及预防 补救措施 .....	80
1.4 弹簧钢热处理 .....	81
1.4.1 弹簧钢热处理分类与特点 .....	81
1.4.2 弹簧钢热处理工艺 .....	86
1.4.3 弹簧钢热处理常见缺陷及预防 补救措施 .....	91
1.5 钢铸件和焊接件热处理 .....	92
1.5.1 钢铸件热处理特点和工艺 .....	92
1.5.2 钢焊接件热处理特点和工艺 .....	96
1.6 工模具钢热处理 .....	102
1.6.1 刃具钢热处理 .....	102
1.6.2 高速钢热处理 .....	105
1.6.3 冷作模具钢热处理 .....	112
1.6.4 热作模具钢热处理 .....	118
1.6.5 量具钢热处理 .....	123
1.6.6 工模具钢热处理常见缺陷及预防 补救措施 .....	127

## 第 2 章 高温合金热处理

2.1 高温合金的强化和热处理基础 .....	133
2.1.1 高温合金分类和主要强化方法 .....	133
2.1.2 高温合金中的常见相 .....	135
2.1.3 加热和冷却时的转变 .....	139
2.1.4 热处理类型 .....	141
2.2 铁基高温合金热处理 .....	143
2.2.1 常用合金牌号和典型用途 .....	143
2.2.2 热处理工艺 .....	144
2.3 镍基高温合金热处理 .....	154
2.3.1 常用合金牌号和典型用途 .....	155
2.3.2 热处理工艺 .....	156
2.4 钴基高温合金热处理 .....	167
2.4.1 常用合金牌号和典型用途 .....	167
2.4.2 热处理工艺 .....	167
2.5 铸造高温合金热处理 .....	168
2.5.1 常用合金牌号和典型用途 .....	168
2.5.2 热处理工艺 .....	169
2.6 高温合金热处理缺陷及预防补 救措施 .....	174

## 第 3 章 有色金属及其合金热处理

3.1 铝合金热处理 .....	177
3.1.1 铝合金热处理分类与特点 .....	177
3.1.2 铝合金热处理原理 .....	181
3.1.3 铝合金热处理工艺 .....	192
3.1.4 铝合金热处理缺陷及预防补救 措施 .....	225
3.2 镁合金热处理 .....	228
3.2.1 镁合金热处理分类和特点 .....	228
3.2.2 镁合金热处理原理 .....	229
3.2.3 镁合金热处理工艺 .....	230
3.2.4 镁合金热处理缺陷及预防措施 .....	

.....	239	4.6 膨胀合金与贵金属合金热处理	314
3.2.5 镁合金热处理的安全防护	240	4.6.1 膨胀合金与贵金属合金热处理目的	314
3.3 钛合金热处理	241	4.6.2 膨胀合金与贵金属合金热处理工艺	315
3.3.1 钛合金热处理的特点与分类	241	<b>第5章 真空热处理</b>	
3.3.2 钛合金热处理原理	245	5.1 真空热处理特点	323
3.3.3 钛合金热处理工艺	254	5.2 真空热处理的基本理论	323
3.3.4 钛合金热处理常见缺陷及预防补救措施	258	5.2.1 气体与金属表面的作用	323
3.4 铜合金热处理	258	5.2.2 真空状态下金属元素的蒸发	325
3.4.1 铜合金热处理分类与特点	258	5.2.3 真空状态下金属表面与氧的反应	326
3.4.2 铜合金热处理原理	260	5.2.4 真空度、残存气体相对含量与露点	328
3.4.3 铜及铜合金热处理工艺	263	5.2.5 真空的度量与单位换算	328
3.4.4 铜合金热处理后表面清理	271	5.3 真空热处理工艺参数的选择	328
3.4.5 铜合金热处理常见缺陷及预防补救措施	271	5.3.1 真空度的选择	330
<b>第4章 精密合金及贵金属合金热处理</b>		5.3.2 加热速度和加热方式的选择	330
4.1 精密合金及贵金属合金的应用特性	273	5.3.3 加热时间的确定	332
4.2 软磁合金热处理	274	5.3.4 冷却方式与淬火压强的选择	333
4.2.1 软磁合金应用及分类	274	5.4 钢和合金的真空热处理工艺	341
4.2.2 软磁合金热处理目的及特点	274	5.4.1 合金结构钢与超高强度钢真空热处理工艺	341
4.2.3 软磁合金热处理原理	275	5.4.2 弹簧钢与轴承钢真空热处理工艺	346
4.2.4 软磁合金热处理工艺	280	5.4.3 工模具钢真空热处理工艺	347
4.2.5 软磁合金热处理常见缺陷及预防补救措施	284	5.4.4 不锈钢与高温合金真空热处理工艺	350
4.3 永磁合金热处理	286	5.4.5 钛合金真空热处理工艺	351
4.3.1 永磁合金热处理目的及特点	287	5.5 真空热处理常见缺陷及预防补救措施	353
4.3.2 永磁合金热处理原理	288	<b>第6章 保护热处理</b>	
4.3.3 永磁合金热处理工艺	291	6.1 保护气氛的分类及用途	354
4.3.4 永磁合金热处理常见缺陷及预防补救措施	296	6.2 保护气氛热处理原理	356
4.4 磁滞合金热处理	296	6.2.1 钢铁与炉气的化学反应	356
4.4.1 磁滞合金热处理目的及特点	296	6.2.2 气氛的碳势控制原理和方法	358
4.4.2 磁滞合金热处理原理	296	6.3 吸热式气氛热处理	367
4.4.3 磁滞合金热处理工艺	298	6.3.1 吸热式气氛制备	368
4.4.4 磁滞合金热处理常见缺陷及预防补救措施	303	6.3.2 吸热式气氛应用	370
4.5 弹性合金热处理	304	6.4 放热式气氛热处理	371
4.5.1 弹性合金热处理目的及特点	304		
4.5.2 弹性合金热处理原理	305		
4.5.3 弹性合金热处理工艺	308		
4.5.4 弹性合金热处理常见缺陷及预防补救措施	314		

6.4.1 放热式气氛制备 .....	371	7.4.5 渗氮(氮碳共渗)常见缺陷及预防补救措施 .....	431
6.4.2 净化放热式气氛制备 .....	372	7.5 渗金属及渗其他元素 .....	432
6.4.3 放热式气氛的应用 .....	374	7.5.1 渗金属原理 .....	433
6.5 氨基气氛热处理 .....	375	7.5.2 渗金属工艺 .....	443
6.5.1 氮的制备 .....	376	7.5.3 渗铝工艺 .....	452
6.5.2 氨基气氛制备及应用 .....	379	7.5.4 铝加其他元素的多元渗工艺 .....	455
6.6 氩气保护热处理 .....	381	7.5.5 渗其他元素工艺 .....	458
6.6.1 氩气保护热处理的应用 .....	381	7.5.6 渗层及其工艺选择 .....	459
6.6.2 氩气保护热处理的操作过程 .....	382	7.5.7 渗金属常见缺陷及其预防补救措施 .....	461
6.6.3 氩气保护热处理对炉子设备的要求 .....	382	7.6 真空化学热处理 .....	463
6.7 氢气气氛热处理 .....	383	7.6.1 真空渗碳 .....	463
6.7.1 氢气的工业制备 .....	383	7.6.2 离子渗氮 .....	465
6.7.2 氢气气氛应用 .....	383	7.6.3 离子渗碳 .....	469
6.8 涂料保护热处理 .....	385	7.6.4 离子碳氮共渗 .....	470
6.8.1 保护涂料的种类和组成 .....	385	<b>第8章 其他热处理方法</b>	
6.8.2 涂料的性能和用途 .....	386	8.1 感应加热热处理 .....	471
6.8.3 涂覆工艺 .....	389	8.1.1 快速加热相变的特点 .....	471
6.8.4 涂层的保护效果 .....	389	8.1.2 频率与功率 .....	472
6.9 浴炉热处理 .....	391	8.1.3 感应器 .....	473
6.9.1 浴炉介质的成分及用途 .....	391	8.1.4 感应加热表面淬火 .....	473
6.9.2 浴炉热处理的应用 .....	394	8.1.5 感应加热局部回火 .....	479
<b>第7章 化学热处理</b>		8.2 激光热处理 .....	480
7.1 化学热处理的分类 .....	397	8.2.1 激光相变硬化 .....	480
7.2 钢的化学热处理基本原理 .....	397	8.2.2 激光合金化与激光熔覆 .....	482
7.3 钢的渗碳 .....	399	8.3 电子束热处理 .....	483
7.3.1 渗碳目的与分类 .....	399	8.3.1 电子束热处理原理及特点 .....	483
7.3.2 渗碳工艺的技术要求和工艺过程 .....	399	8.3.2 电子束热处理的应用 .....	484
7.3.3 渗碳前准备 .....	401	8.4 流态床热处理 .....	484
7.3.4 气体渗碳 .....	402	8.4.1 流态床热处理原理 .....	484
7.3.5 液体渗碳 .....	407	8.4.2 流态床热处理应用 .....	485
7.3.6 固体渗碳 .....	407	<b>第9章 航空典型零件的热处理</b>	
7.3.7 碳氮共渗 .....	410	9.1 航空零件热处理工艺制定原则与程序 .....	487
7.3.8 渗碳(或碳氮共渗)的渗后热处理 .....	413	9.1.1 热处理工艺制定原则 .....	487
7.3.9 渗碳(碳氮共渗)常见缺陷及预防补救措施 .....	416	9.1.2 热处理工艺制定依据 .....	487
7.4 钢的渗氮 .....	418	9.1.3 热处理工艺编制程序 .....	488
7.4.1 渗氮目的与分类 .....	418	9.1.4 工艺规程基本内容 .....	488
7.4.2 渗氮前的预处理 .....	418	9.2 飞机零件热处理 .....	490
7.4.3 气体渗氮 .....	420	9.2.1 主起落架外筒的热处理 .....	490
7.4.4 氮碳共渗 .....	427	9.2.2 梁的热处理 .....	492
		9.2.3 对接螺栓热处理 .....	493



9.2.4 襟翼螺杆热处理 .....	494	10.5.1 感应加热装置 .....	586
9.2.5 铝合金重要接头热处理 .....	497	10.5.2 激光热处理装置 .....	586
9.2.6 蒙皮的热处理 .....	498	10.5.3 流态化床 .....	587
9.2.7 襟翼滑轨热处理 .....	499	10.6 冷却设备与冷处理设备 .....	589
9.3 发动机零件热处理 .....	501	10.6.1 淬火槽 .....	589
9.3.1 压气机叶片热处理 .....	501	10.6.2 淬火压床 .....	590
9.3.2 压气机盘热处理 .....	503	10.6.3 常用冷处理设备 .....	591
9.3.3 压气机机匣热处理 .....	505	10.6.4 冷藏室 .....	592
9.3.4 涡轮叶片热处理 .....	507	10.7 热处理辅助设备 .....	593
9.3.5 涡轮盘热处理 .....	511	10.7.1 清洗设备 .....	593
9.3.6 涡轮轴热处理 .....	515	10.7.2 清理设备 .....	596
9.3.7 燃烧室热处理 .....	517	10.7.3 校正设备 .....	599
9.3.8 齿轮热处理 .....	519	10.8 热处理温度和气氛检测仪表 .....	599
9.4 机载设备零件热处理 .....	522	10.8.1 特点与用途 .....	599
9.4.1 柱塞泵转子热处理 .....	523	10.8.2 温度工作仪表 .....	600
9.4.2 分油活门热处理 .....	524	10.8.3 温度校验仪表 .....	607
9.4.3 旋转变压器转子热处理 .....	525	10.8.4 碳势仪表 .....	609
9.4.4 交流伺服电动机定子转子热 处理 .....	527	10.8.5 氮势仪表 .....	611
9.4.5 磁滞伺服电机转子磁铁热处理 .....	530	10.8.6 氢分析仪表 .....	613
9.4.6 力矩电机用桥型磁铁热处理 .....	531	10.8.7 氧分析仪表 .....	613
9.4.7 动压膜盒热处理 .....	533	10.8.8 微量水分分析仪 .....	614
9.4.8 扭杆热处理 .....	535	10.8.9 真空仪表 .....	614
9.4.9 解动轮热处理 .....	537	10.9 微机在热处理中的应用 .....	615
<b>第10章 热处理设备和仪表</b>		10.9.1 微机在测温和控温中的应用 .....	615
10.1 热处理设备分类 .....	539	10.9.2 微机在碳势、氮势控制中的应用 .....	619
10.2 热处理电阻炉和浴炉 .....	539	10.9.3 发展趋势 .....	619
10.2.1 特点与用途 .....	539	10.10 工艺分析与设备选择 .....	620
10.2.2 常用电阻炉和浴炉 .....	539	10.10.1 热处理工艺分析 .....	620
10.3 气氛保护与化学热处理设备 .....	559	10.10.2 热处理设备的选用 .....	622
10.3.1 特点与用途 .....	559	<b>第11章 热处理质量控制与检验</b>	
10.3.2 气氛发生装置 .....	559	11.1 热处理质量控制 .....	625
10.3.3 气氛保护与化学热处理炉 .....	566	11.1.1 环境条件 .....	625
10.4 真空热处理炉 .....	576	11.1.2 设备与仪表 .....	627
10.4.1 特点与用途 .....	576	11.1.3 工艺材料 .....	635
10.4.2 卧式真空热处理炉 .....	577	11.1.4 技术文件 .....	637
10.4.3 立式真空热处理炉 .....	579	11.1.5 工艺控制 .....	637
10.4.4 真空正压气淬炉 .....	583	11.1.6 人员素质 .....	638
10.5 表面热处理装置及其他热处理 设备 .....	586	11.2 热处理检验 .....	641
		11.2.1 热处理前检验 .....	641
		11.2.2 热处理工序检验 .....	642
		11.2.3 热处理最终检验 .....	644