



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

• 焊 接 •

航空工业出版社

技术编辑: 邢福生
封面设计: 霍振源

ISBN 7-80046-961-1

TB·025

定价: 150.00 元

ISBN 7-80046-961-1



9 787800 469619 >

航空制造工程手册

焊 接

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1996

内 容 提 要

《焊接》是大型系列工具丛书《航空制造工程手册》32分册之一。本手册突出了航空产品的焊接制造特点,同时也反映了焊接技术在机械制造业中的共性;以焊接专业的系统性、科学性和手册的实用性与综合性为编写原则;具有概念准确、论述简洁、数据可靠、图文并茂、查阅方便的特点;对航空焊接生产具有广泛的指导意义和实用参考价值。

全书共分8篇计41章。在第1篇中给出了航空焊接结构材料的技术数据、标准和焊接性能工艺资料;在第2篇~第5篇中,分别对航空工业中常用的各类焊接方法如熔焊、电阻焊、钎焊和固态焊,提供了方法、原理、工艺和设备方面可供查询的技术资料;在第6篇中汇集了飞机、发动机和机载设备等典型航空焊接结构制造工艺和各种焊接方法的应用实例;第7篇从保证焊接结构完整性和可靠性的角度给出航空焊接结构断裂、疲劳设计与制造应遵循的原则和焊接应力与变形控制方法;第8篇阐明了全面质量管理的程序和破坏性检验与无损检测方法 with 标准。

本手册是航空工业中直接从事焊接工艺、专业科研、产品设计、质量检测和生产管理工程技术人员的工具书,也可供其他行业的专业技术人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:焊接/《航空制造工程手册》总编委会主编;关桥分主编. —北京:航空工业出版社,1996.9
ISBN 7-80046-961-1

I. 航… I. ①航… ②关… III. ①航空器-制造-工艺-手册②航空器-制造-焊接 IV. ①V 26-62②V 261.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 15866 号

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)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:64.5 字数:1648千字

印数:1—2200

定价:150.00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,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这些容量浩繁、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 篇 航空材料的焊接	(1)	2.2.2 20 钢焊接接头的力学性能	(45)
第 1 章 航空焊接结构材料	(1)	2.3 合金结构钢的焊接	(46)
1.1 航空焊接结构材料分类	(1)	2.3.1 焊接特点	(46)
1.1.1 低碳钢及合金结构钢	(1)	2.3.2 焊接接头的力学性能	(47)
1.1.1.1 低碳钢	(1)	2.3.2.1 15CrMoVA 和 18Mn2CrMoBA 钢	
1.1.1.2 合金结构钢	(1)	焊接接头	(47)
1.1.2 不锈钢	(3)	2.3.2.2 30CrMnSiA 钢焊接接头的力学性	
1.1.2.1 奥氏体型不锈钢	(4)	能	(49)
1.1.2.2 奥氏体-铁素体型不锈钢	(4)	2.3.2.3 30CrMnSiNi2A、40CrMnSiMoVA	
1.1.2.3 马氏体型不锈钢	(4)	和 16Ni10Cr2Co14MoVA 钢焊接	
1.1.2.4 马氏体-铁素体不锈钢及半奥氏体		接头的力学性能	(53)
沉淀硬化不锈钢	(4)	第 3 章 不锈钢的焊接	(58)
1.1.3 高温合金	(7)	3.1 概述	(58)
1.1.3.1 镍基高温合金	(7)	3.2 奥氏体不锈钢的焊接	(59)
1.1.3.2 铁基高温合金	(9)	3.2.1 焊接性	(59)
1.1.3.3 钴基高温合金	(9)	3.2.1.1 冶金特性	(59)
1.1.3.4 铸造高温合金	(15)	3.2.1.2 焊接特性	(60)
1.1.4 铝合金及镁合金	(16)	3.2.2 焊接接头的力学性能	(61)
1.1.4.1 铝合金	(16)	3.2.2.1 1Cr18Ni9 和 1Cr18Ni9Ti 钢焊接	
1.1.4.2 镁合金	(19)	接头的力学性能	(61)
1.1.5 钛合金	(20)	3.2.2.2 1Cr18Mn8Ni5N 钢焊接接头的力	
1.1.6 铜及铜合金	(22)	学性能	(64)
1.1.7 磁性材料及电接触点材料	(24)	3.2.3 焊接接头的抗腐蚀性能	(66)
1.1.7.1 磁性材料	(24)	3.3 奥氏体-铁素体不锈钢的焊接	(68)
1.1.7.2 电接触点材料	(25)	3.3.1 焊接性	(68)
1.2 航空金属材料焊接性评定	(26)	3.3.1.1 冶金特性	(68)
1.2.1 焊接性	(26)	3.3.1.2 焊接特性	(69)
1.2.2 焊接性试验	(27)	3.3.2 焊接接头的力学性能	(70)
1.2.2.1 焊接性试验内容	(27)	3.3.2.1 1Cr21Ni5Ti 钢焊接接头的力学性	
1.2.2.2 焊接裂纹敏感性试验方法	(27)	能	(70)
第 2 章 结构钢的焊接	(41)	3.3.2.2 1Cr19Ni11Si4AlTi 钢焊接接头的	
2.1 概述	(41)	力学性能	(71)
2.1.1 焊接性	(41)	3.3.3 焊接接头的抗腐蚀和抗氧化性能	
2.1.2 焊接特点	(42)	(74)
2.2 低碳钢的焊接	(44)	3.4 马氏体、马氏体-铁素体不锈钢的焊接	
2.2.1 焊接特点	(44)	(74)

3.4.1 焊接性..... (75)	4.3.1.2 焊接特点 (108)
3.4.1.1 冶金特性 (75)	4.3.2 焊接接头的力学性能 (108)
3.4.1.2 焊接特性 (75)	4.3.2.1 钨极氩弧焊接头的力学性能 ... (108)
3.4.2 焊接接头的力学性能 (76)	4.3.2.2 电阻点焊和缝焊接头的力学性能 (110)
3.4.2.1 1Cr11Ni2W2MoV 和 1Cr12Ni2W MoV.Nb 钢焊接接头的力学性能 (76)	4.4 镍基固溶强化合金的焊接 (113)
3.4.2.2 1Cr17Ni2 和 1Cr13 钢焊接接头的 力学性能 (79)	4.4.1 应用及焊接特点 (113)
3.4.3 焊接接头的抗氧化性能 (81)	4.4.1.1 应用 (113)
3.5 沉淀硬化不锈钢的焊接 (82)	4.4.1.2 焊接特点 (113)
3.5.1 焊接性 (82)	4.4.2 焊接接头的力学性能 (113)
3.5.1.1 冶金特性 (82)	4.4.2.1 钨极氩弧焊和摩擦焊接头的力学 性能 (113)
3.5.1.2 焊接特性 (83)	4.4.2.2 电阻点焊、缝焊和钎焊接头的力 学性能 (115)
3.5.2 焊接接头的力学性能 (84)	4.5 镍基沉淀硬化合金的焊接 (118)
3.5.2.1 0Cr15Ni7Mo2Al 钢焊接接头的力 学性能 (84)	4.5.1 应用及焊接特点 (118)
3.5.2.2 0Cr12Mn5Ni4Mo3Al 钢焊接接头 的力学性能 (85)	4.5.1.1 应用 (118)
3.5.3 焊接接头的抗腐蚀性 (87)	4.5.1.2 焊接特点 (118)
第 4 章 高温合金的焊接 (88)	4.5.2 焊接接头的力学性能 (119)
4.1 高温合金的焊接性和焊接冶金特点 (88)	4.5.2.1 钨极氩弧焊接头的力学性能 ... (119)
4.1.1 焊接性 (88)	4.5.2.2 电阻点焊和缝焊接头的力学 性能 (120)
4.1.1.1 化学成分的影响 (88)	4.5.2.3 闪光焊、摩擦焊和钎焊接头的力 学性能 (121)
4.1.1.2 冶金质量和组织的影响 (90)	4.6 钴基合金的焊接 (122)
4.1.1.3 焊前状态的影响 (90)	4.6.1 应用及焊接特点 (122)
4.1.1.4 焊接线能量的影响 (91)	4.6.2 焊接接头的力学性能 (123)
4.1.1.5 焊接材料的影响 (92)	4.6.2.1 钨极氩弧焊接头的力学性能 ... (123)
4.1.1.6 焊接方法的选择 (92)	4.6.2.2 电阻缝焊接头的力学性能 (123)
4.1.2 焊接接头的冶金特点 (93)	4.6.2.3 钎焊接头的力学性能 (123)
4.1.2.1 熔焊接头的组织 (93)	4.7 铸造合金的焊接 (124)
4.1.2.2 电阻点、缝焊接头的冶金特点 ... (98)	4.7.1 应用及焊接特点 (124)
4.2 铁基固溶强化合金的焊接 (100)	4.7.2 焊接接头的力学性能 (124)
4.2.1 应用及焊接特点 (100)	第 5 章 铝合金和镁合金的焊接 (125)
4.2.1.1 应用 (100)	5.1 概述 (125)
4.2.1.2 焊接特点 (100)	5.2 铝合金的焊接 (127)
4.2.2 焊接接头的力学性能 (101)	5.2.1 防锈铝合金的焊接 (127)
4.2.2.1 钨极氩弧焊接头的力学性能 ... (101)	5.2.1.1 焊接特点及应用 (127)
4.2.2.2 电阻点焊、缝焊和钎焊接头的力 学性能 (104)	5.2.1.2 焊接接头的力学性能 (127)
4.3 铁基沉淀硬化合金的焊接 (107)	5.2.2 硬铝合金的焊接 (132)
4.3.1 应用及焊接特点 (107)	5.2.2.1 焊接特点及应用 (132)
4.3.1.1 应用 (107)	5.2.2.2 焊接接头的力学性能 (132)
	5.2.3 锻铝合金的焊接 (135)
	5.2.3.1 焊接特点及应用 (135)

5.2.3.2 焊接接头的力学性能	(135)	7.1.2.3 青铜焊接接头的力学性能	(158)
5.2.4 铝锂合金的焊接	(135)	7.2 其他金属材料的焊接	(159)
5.2.4.1 焊接特点及应用	(135)	7.2.1 磁性材料的焊接	(159)
5.2.4.2 焊接接头的力学性能	(136)	7.2.1.1 电工用纯铁的焊接	(159)
5.2.5 铸铝合金的焊接	(137)	7.2.1.2 电工用硅钢的焊接	(159)
5.2.5.1 焊接特点及应用	(137)	7.2.1.3 软磁合金的焊接	(160)
5.2.5.2 焊接接头的力学性能	(137)	7.2.1.4 硬磁合金的焊接	(161)
5.3 镁合金的焊接	(138)	7.2.2 电接触点的焊接	(161)
5.3.1 变形镁合金的焊接	(138)	第2篇 熔焊	(164)
5.3.1.1 焊接特点及应用	(138)	第8章 熔焊方法分类、熔焊原理及热	
5.3.1.2 焊接接头的力学性能	(139)	源	(164)
5.3.2 铸造镁合金的焊接	(139)	8.1 熔焊方法分类	(164)
5.3.2.1 焊接特点及应用	(139)	8.2 熔焊原理	(166)
5.3.2.2 焊接接头的力学性能	(139)	8.2.1 焊接热过程	(166)
第6章 钛及钛合金的焊接	(141)	8.2.1.1 焊接温度场	(166)
6.1 概述	(141)	8.2.1.2 焊接热循环	(167)
6.1.1 有害杂质及合金元素对焊接性的		8.2.2 焊接冶金过程	(168)
影响	(141)	8.2.2.1 焊接冶金过程的特点	(168)
6.1.2 焊接热循环的影响	(142)	8.2.2.2 焊缝中的气体	(169)
6.2 α 型钛合金的焊接	(143)	8.2.2.3 熔渣与金属的反应	(171)
6.2.1 焊接特点及应用	(143)	8.2.3 焊接接头的三个区域	(173)
6.2.2 焊接接头的力学性能	(143)	8.2.3.1 焊缝金属	(173)
6.3 α - β 型钛合金的焊接	(146)	8.2.3.2 焊接热影响区	(174)
6.3.1 焊接特点及应用	(146)	8.3 熔焊热源	(177)
6.3.2 焊接接头的力学性能	(146)	8.3.1 熔焊对热源的要求	(177)
6.3.2.1 TC1 和 TC3 合金焊接接头的力		8.3.2 各种焊接热源的特性	(177)
学性能	(146)	第9章 气焊	(178)
6.3.2.2 TC4 合金焊接接头的力学性能		9.1 气焊的特点及应用	(178)
.....	(150)	9.2 氧-乙炔火焰	(179)
6.3.2.3 TC6 和 TC10 合金焊接接头的力		9.3 焊接材料	(180)
学性能	(151)	9.3.1 氧与乙炔	(180)
6.4 β 型钛合金的焊接	(152)	9.3.2 焊丝与焊剂	(180)
6.4.1 焊接特点及应用	(152)	9.4 气焊设备	(181)
6.4.2 焊接接头的力学性能	(153)	9.4.1 焊炬	(181)
6.5 铸造钛合金的焊接	(153)	9.4.2 乙炔发生器	(181)
6.5.1 焊接特点及应用	(153)	9.4.3 回火防止器	(182)
6.5.2 焊接接头的力学性能	(153)	9.4.4 减压器	(183)
第7章 铜、铜合金及其他金属材料的		9.4.5 气瓶	(183)
焊接	(155)	9.5 焊接工艺	(184)
7.1 铜及铜合金的焊接	(155)	9.6 气焊缺陷及其防止方法	(186)
7.1.1 焊接性及焊接特点	(155)	9.7 气焊安全技术	(187)
7.1.2 焊接接头的力学性能	(156)	第10章 电弧、弧焊电源与控制	(188)
7.1.2.1 纯铜焊接接头的力学性能	(156)	10.1 电弧热源	(188)
7.1.2.2 黄铜焊接接头的力学性能	(157)		

10.1.1 电弧物理基础	(188)	10.4.2.2 控制原则	(210)
10.1.1.1 电弧放电	(188)	10.4.2.3 程序控制系统分类	(210)
10.1.1.2 电弧的静特性	(188)	10.4.3 电弧焊的自动跟踪	(211)
10.1.2 焊接电弧的产热	(189)	10.4.3.1 自动跟踪系统的结构	(211)
10.1.2.1 产热机构	(189)	10.4.3.2 焊缝自动跟踪传感器	(211)
10.1.2.2 电弧的温度分布	(189)	10.4.4 焊接质量自适应控制	(213)
10.1.3 电弧的力	(190)	10.4.4.1 熔深的检测法	(213)
10.1.4 交流电弧的特点	(191)	10.4.4.2 控制方法	(214)
10.1.4.1 交流电弧的燃烧过程特点	(191)	10.4.5 弧焊机器人	(215)
10.1.4.2 提高交流电弧稳定性的措施	(191)	10.4.5.1 概述	(215)
10.1.4.3 交流电弧热和力的特点	(191)	10.4.5.2 示教再现型弧焊机器人	(215)
10.1.5 磁场对电弧的作用力	(191)	10.4.5.3 智能型弧焊机器人	(216)
10.1.5.1 自身磁场的作用	(191)	第11章 手弧焊	(217)
10.1.5.2 外加磁场对电弧的作用	(192)	11.1 手弧焊特点及其基本原理	(217)
10.2 弧焊电源	(193)	11.1.1 手弧焊的特点	(217)
10.2.1 弧焊电源的分类	(193)	11.1.2 手弧焊的基本原理及应用范围	(217)
10.2.2 常规弧焊电源的特点及应用	(194)	11.1.2.1 焊缝的形成	(217)
10.2.2.1 弧焊变压器	(194)	11.1.2.2 手弧焊的应用范围	(217)
10.2.2.2 直流弧焊发电机	(194)	11.2 设备	(218)
10.2.2.3 弧焊整流器	(195)	11.2.1 电弧焊机的分类及产品型号	(218)
10.2.3 各种常用弧焊电源的技术数据	(198)	11.2.1.1 手弧焊对电弧焊机的要求	(218)
10.3 新型弧焊电源	(200)	11.2.1.2 手弧焊机的分类	(219)
10.3.1 晶体管式弧焊整流器	(200)	11.2.1.3 焊机型号	(219)
10.3.1.1 模拟式晶体管弧焊整流器	(201)	11.2.1.4 手弧焊机的选择	(221)
10.3.1.2 开关式晶体管弧焊整流器	(201)	11.2.2 辅助装置及工具	(222)
10.3.1.3 特点、应用及产品	(201)	11.2.2.1 焊钳、面罩	(222)
10.3.2 弧焊逆变器	(202)	11.2.2.2 焊条干燥箱、焊条保温筒	(222)
10.3.2.1 组成和工作原理	(202)	11.2.2.3 零件预热及后热的电炉	(223)
10.3.2.2 分类及典型逆变电路	(202)	11.3 焊接材料	(223)
10.3.2.3 焊接工艺参数调节和外特性控制	(204)	11.3.1 焊条	(223)
10.3.2.4 特点、应用及产品	(204)	11.3.1.1 焊条的组成	(223)
10.3.3 矩形波交流弧焊电源	(205)	11.3.1.2 焊条的分类	(224)
10.3.3.1 主要形式和工作原理	(205)	11.3.1.3 焊条类型表示法	(224)
10.3.3.2 特点、应用及产品	(207)	11.3.1.4 焊条的选用	(227)
10.4 弧焊过程控制与弧焊机器人	(207)	11.4 焊接工艺	(227)
10.4.1 弧焊过程参数的定值控制	(207)	11.4.1 焊缝的分级	(227)
10.4.1.1 电弧电压、电弧电流的定值控制	(207)	11.4.2 焊前准备	(228)
10.4.1.2 速度的定值控制	(208)	11.4.2.1 焊件焊前的准备	(228)
10.4.2 电弧焊的程序自动控制	(209)	11.4.2.2 电焊条的烘干、存放	(229)
10.4.2.1 控制对象、要求与方法	(209)	11.4.3 焊前装配	(230)
		11.4.3.1 装配要求	(230)
		11.4.3.2 接头坡口间隙与坡口尺寸	(230)
		11.4.3.3 接头错边	(231)

11.4.4 定位焊接	(232)	12.5.4 电弧螺柱焊的应用	(249)
11.4.4.1 定位焊的要求	(232)	第13章 熔化极气体保护焊	(251)
11.4.4.2 定位焊工艺	(232)	13.1 熔化极气体保护焊的特性与分类	(251)
11.4.5 焊接	(233)	13.1.1 概述	(251)
11.4.5.1 零件焊前预热	(233)	13.1.2 熔滴过渡种类及其特点	(251)
11.4.5.2 零件焊后热处理	(234)	13.1.3 熔化极气体保护焊的分类	(252)
11.4.5.3 焊接工艺参数	(235)	13.1.4 保护气体的选择	(252)
11.4.5.4 操作要求	(236)	13.2 熔化极氩弧焊	(253)
11.4.6 返修焊工艺	(237)	13.2.1 特点	(253)
11.4.6.1 返修焊方法	(237)	13.2.2 分类及应用范围	(254)
11.4.6.2 返修焊程序	(237)	13.2.3 设备	(254)
11.5 常见缺陷、产生原因及预防措施	(238)	13.2.4 焊丝的选择	(254)
11.6 安全技术	(239)	13.2.5 熔化极氩弧焊喷射过渡临界电流范围	(255)
第12章 埋弧焊与螺柱焊	(240)	13.2.6 低碳钢及低合金结构钢的焊接	(256)
12.1 埋弧焊原理、特性及应用范围	(240)	13.2.7 不锈钢的焊接	(257)
12.1.1 原理	(240)	13.2.8 铝及铝合金焊接	(258)
12.1.2 特性	(241)	13.3 熔化极脉冲氩弧焊	(261)
12.1.2.1 焊接生产效率	(241)	13.3.1 原理、特点及应用范围	(261)
12.1.2.2 焊缝质量	(241)	13.3.2 焊接设备	(262)
12.1.2.3 其他	(242)	13.3.3 焊接工艺	(263)
12.1.3 应用范围	(242)	13.3.3.1 熔化极脉冲氩弧焊实现的条件	(263)
12.2 埋弧焊设备	(242)	13.3.3.2 主要工艺参数及其作用	(263)
12.2.1 埋弧焊设备的组成	(242)	13.3.3.3 焊接主要工艺参数选定原则 (以并联式脉冲电源为例)	(263)
12.2.1.1 焊接电源	(242)	13.3.3.4 各种材料焊接的工艺参数	(263)
12.2.1.2 送丝机构	(242)	13.3.4 窄间隙焊	(266)
12.3 埋弧焊用焊接材料	(243)	13.4 二氧化碳气体保护焊	(267)
12.3.1 焊剂	(243)	13.4.1 原理及特点	(267)
12.3.1.1 熔炼焊剂	(243)	13.4.1.1 原理	(267)
12.3.1.2 粘接焊剂	(244)	13.4.1.2 特点	(268)
12.3.1.3 烧结焊剂	(244)	13.4.2 CO ₂ 焊的分类	(268)
12.3.1.4 对焊剂的要求	(244)	13.4.3 焊接设备	(269)
12.3.2 埋弧焊用焊丝	(244)	13.4.3.1 焊机主要组成部分	(269)
12.4 埋弧焊焊接工艺	(244)	13.4.3.2 送丝机构	(270)
12.4.1 焊丝、焊剂的选择	(244)	13.4.3.3 焊枪	(272)
12.4.2 各工艺参数对焊缝成形及质量的影响	(245)	13.4.3.4 气路系统	(273)
12.4.2.1 焊接电流	(246)	13.4.4 CO ₂ 气体和焊丝	(274)
12.4.2.2 电弧电压	(246)	13.4.4.1 CO ₂ 气体	(274)
12.4.2.3 焊接速度	(246)	13.4.4.2 CO ₂ 焊用焊丝	(274)
12.4.3 焊接工艺	(246)	13.4.5 焊接工艺	(274)
12.5 电弧螺柱焊	(248)		
12.5.1 电弧螺柱焊原理	(248)		
12.5.2 电弧螺柱焊设备	(248)		
12.5.3 电弧螺柱焊工艺	(248)		

13.4.5.1 焊接工艺参数的选择	(274)	14.6.4.1 焊接工艺参数及其影响	(293)
13.4.5.2 低碳钢及低合金结构钢 CO ₂ 焊的工艺参数选定	(277)	14.6.4.2 焊丝的选择	(294)
13.4.6 药芯焊丝 CO ₂ 焊	(279)	14.6.4.3 常见材料的焊接工艺参数	(296)
13.4.6.1 焊接过程特点	(279)	14.7 钨极氩弧焊的焊接缺陷及防止措施	(297)
13.4.6.2 药芯焊丝	(279)	14.8 钨极氩弧焊的安全技术	(299)
13.4.7 CO ₂ 焊的应用	(280)	第 15 章 等离子弧焊接	(300)
第 14 章 钨极氩弧焊	(281)	15.1 等离子弧	(300)
14.1 钨极氩弧焊概述	(281)	15.1.1 等离子弧的形成	(300)
14.1.1 原理	(281)	15.1.1.1 机械压缩效应	(300)
14.1.2 特点	(281)	15.1.1.2 热压缩效应	(300)
14.1.3 分类及应用范围	(281)	15.1.1.3 磁压缩效应	(300)
14.1.3.1 分类	(281)	15.1.2 等离子弧的特点	(300)
14.1.3.2 应用	(282)	15.1.2.1 温度与能量密度	(300)
14.2 接头形式	(282)	15.1.2.2 弧柱直径与挺直度	(300)
14.2.1 接头形式的种类	(282)	15.1.2.3 调节范围	(300)
14.2.2 选择接头形式时应考虑的因素	(285)	15.1.3 等离子弧的类型、特点、用途	(301)
14.2.3 整体填料接头	(285)	15.1.4 等离子弧的双弧现象	(301)
14.2.3.1 整体填料接头的定义	(285)	15.1.4.1 双弧	(301)
14.2.3.2 整体填料接头的设计	(285)	15.1.4.2 双弧的危害	(301)
14.3 焊接材料	(286)	15.1.4.3 双弧产生的原因	(301)
14.3.1 氩气	(286)	15.2 等离子弧焊接	(301)
14.3.2 钨极	(286)	15.2.1 大电流等离子弧焊	(302)
14.3.3 焊丝	(287)	15.2.1.1 焊接设备	(302)
14.4 钨极氩弧焊设备	(287)	15.2.1.2 焊接工艺	(304)
14.4.1 钨极氩弧焊电源	(287)	15.2.1.3 等离子弧焊焊接缺陷	(305)
14.4.1.1 钨极氩弧焊对电源的要求	(287)	15.2.2 微束等离子弧焊接	(305)
14.4.1.2 钨极氩弧焊设备常用型号	(287)	15.2.2.1 特点和设备	(305)
14.4.2 钨极氩弧焊焊枪	(288)	15.2.2.2 焊接工艺	(306)
14.4.2.1 焊枪的作用、结构及型号	(288)	15.2.2.3 应用	(307)
14.4.2.2 喷嘴	(289)	15.2.3 脉冲等离子弧焊接	(308)
14.4.2.3 正面保护拖斗及背面保护气罩	(289)	第 16 章 电子束焊接	(310)
14.4.2.4 气体透镜	(289)	16.1 概述	(310)
14.4.3 钨极氩弧焊的气路系统	(290)	16.2 电子束焊接分类	(310)
14.5 钨极氩弧焊的工艺装备	(290)	16.2.1 分类	(310)
14.5.1 焊接工艺装备的作用	(290)	16.2.1.1 高真空电子束焊	(310)
14.5.2 焊接工艺装备的种类	(291)	16.2.1.2 低真空电子束焊(含局部真空)	(312)
14.6 钨极氩弧焊工艺	(291)	16.2.1.3 非真空电子束焊	(313)
14.6.1 焊前清理	(292)	16.3 电子束焊接设备	(315)
14.6.2 焊前装配	(292)	16.3.1 电子枪	(316)
14.6.3 氩气的保护	(292)	16.3.1.1 静电透镜	(317)
14.6.4 焊接工艺参数的选择	(293)	16.3.1.2 磁透镜	(320)
		16.3.1.3 电子枪供电系统	(322)

16.3.2 电子束焊机的控制·····	(324)	17.3.4.1 传热型熔化连续焊·····	(359)
16.3.2.1 束参数控制·····	(324)	17.3.4.2 深熔透型连续焊·····	(360)
16.3.2.2 束轨迹控制·····	(324)	17.4 激光焊的应用·····	(361)
16.3.2.3 计算机控制·····	(325)	17.4.1 激光焊在航空工业上的应用·····	(361)
16.3.3 电子束焦点的观察与测量·····	(326)	17.4.2 金属材料激光焊特点·····	(362)
16.3.4 电子束焊机的真空系统·····	(327)	17.4.3 激光焊选用原则·····	(362)
16.3.5 电子束焊接设备·····	(327)	第3篇 电阻焊 ·····	(364)
16.3.6 电子束焊机额定功率及其选择 ·····	(328)	第18章 电阻焊原理与分类 ·····	(364)
16.3.7 电子束焊接设备故障·····	(330)	18.1 概述·····	(364)
16.3.8 电子束焊接设备的维修与保养 ·····	(331)	18.1.1 定义·····	(364)
16.4 电子束焊接工艺·····	(332)	18.1.2 分类·····	(364)
16.4.1 电子束焊接工艺特点·····	(332)	18.1.3 在航空构件中的应用·····	(365)
16.4.2 各种材料的电子束焊接性及特点 ·····	(333)	18.2 基本原理·····	(365)
16.4.3 焊接接头的设计·····	(337)	18.2.1 焊接热的产生及影响因素·····	(365)
16.4.4 焊前准备·····	(339)	18.2.1.1 电阻 R 及其影响·····	(366)
16.4.5 零件装配·····	(339)	18.2.1.2 焊接电流的影响·····	(367)
16.4.6 焊接工艺参数选择·····	(339)	18.2.1.3 焊接时间的影响·····	(368)
16.4.7 脉冲电子束焊·····	(343)	18.2.1.4 电极压力的影响·····	(368)
16.4.8 工艺控制·····	(343)	18.2.1.5 电极材料及形状的影响·····	(368)
16.4.9 焊接缺陷、形成原因及排除措施 ·····	(344)	18.2.1.6 零件表面状况的影响·····	(368)
16.4.10 焊接变形与残余应力·····	(345)	18.2.2 热平衡及温度分布·····	(369)
16.4.11 电子束焊接质量检验·····	(345)	18.2.3 金属材料电阻焊的焊接性·····	(370)
16.5 电子束焊在航空工业中的实际应用 ·····	(346)	第19章 点焊与缝焊 ·····	(371)
16.5.1 飞机构件·····	(346)	19.1 点焊方法与接头设计·····	(371)
16.5.2 发动机构件·····	(347)	19.1.1 点焊方法·····	(371)
第17章 激光焊 ·····	(352)	19.1.2 点焊的分类·····	(371)
17.1 激光焊原理与特点·····	(352)	19.1.3 点焊过程·····	(372)
17.1.1 激光焊原理·····	(352)	19.1.3.1 预压阶段·····	(372)
17.1.2 激光焊特点·····	(352)	19.1.3.2 焊接阶段·····	(373)
17.2 激光焊设备·····	(354)	19.1.3.3 维持阶段·····	(374)
17.2.1 激光焊设备组成与功用·····	(354)	19.1.4 焊接工艺参数对焊点质量的影响 ·····	(375)
17.2.2 激光焊机·····	(355)	19.1.4.1 焊接电流(I_h)的影响·····	(375)
17.3 激光焊工艺·····	(356)	19.1.4.2 电极压力(P_j)的影响·····	(376)
17.3.1 激光焊时焊缝金属的成形·····	(356)	19.1.4.3 焊接时间(t_h)的影响·····	(376)
17.3.2 焊接准备与接头形式·····	(357)	19.1.4.4 电极端头直径对熔核尺寸的影响 ·····	(377)
17.3.2.1 焊前准备·····	(357)	19.1.4.5 各参数间的相互作用·····	(377)
17.3.2.2 焊接接头形式的选择·····	(357)	19.1.4.6 表面状态的影响·····	(377)
17.3.3 脉冲激光焊接·····	(358)	19.1.4.7 分流的影响·····	(378)
17.3.4 连续激光焊接·····	(359)	19.1.5 不同厚度、不同材料的点焊·····	(379)
		19.1.5.1 不同厚度板材的点焊·····	(379)
		19.1.5.2 不同材料的点焊·····	(381)
		19.1.6 点焊接头的设计·····	(381)

19.2 缝焊方法与接头设计····· (382)	19.3.5.2 焊前表面清理····· (399)
19.2.1 缝焊方法····· (382)	19.3.5.3 焊接工艺参数····· (400)
19.2.2 缝焊的分类····· (382)	19.3.5.4 铝合金的胶接点焊····· (401)
19.2.3 缝焊过程····· (383)	19.3.6 铜及其合金的点焊与缝焊····· (404)
19.2.4 缝焊参数对缝焊质量的影响····· (384)	19.3.6.1 应用范围····· (404)
19.2.4.1 焊接速度 v_h ····· (384)	19.3.6.2 电阻焊特性····· (404)
19.2.4.2 焊接时间(t_h)和冷却时间(t_c) ····· (384)	19.3.6.3 电极合金的选择····· (404)
19.2.4.3 缝焊的点距(s)····· (384)	19.3.6.4 焊接工艺参数的选择····· (404)
19.2.5 不同厚度、不同材料和不同曲率半 径零件的缝焊····· (384)	19.4 点焊和缝焊的质量控制与检验····· (404)
19.2.6 缝焊接头设计····· (386)	19.4.1 焊接接头的分级及被焊金属的分 组····· (404)
19.2.6.1 一般原则····· (386)	19.4.1.1 焊接接头的分级····· (404)
19.2.6.2 接头形式····· (386)	19.4.1.2 被焊金属材料的分组····· (405)
19.2.6.3 接头尺寸····· (387)	19.4.2 焊机的鉴定····· (405)
19.3 航空金属材料的点焊与缝焊工艺 ····· (387)	19.4.2.1 鉴定的批准····· (405)
19.3.1 低碳钢的点焊与缝焊工艺····· (387)	19.4.2.2 焊机鉴定范围····· (406)
19.3.1.1 应用范围····· (387)	19.4.2.3 设备类型····· (406)
19.3.1.2 电阻焊特性····· (387)	19.4.2.4 焊机鉴定方法····· (407)
19.3.1.3 电极合金的选用····· (388)	19.4.2.5 焊机重新鉴定····· (408)
19.3.1.4 工艺参数····· (388)	19.4.3 焊接工艺参数的验证····· (408)
19.3.1.5 焊点金相组织····· (389)	19.4.3.1 焊接工艺参数的制定····· (408)
19.3.2 结构钢和马氏体不锈钢的点焊和 缝焊····· (389)	19.4.3.2 验证试验要求····· (408)
19.3.2.1 应用范围····· (389)	19.4.3.3 验证试验报告····· (410)
19.3.2.2 电阻焊特性····· (389)	19.4.4 生产证明试验····· (411)
19.3.2.3 工艺措施····· (389)	19.4.4.1 试验项目····· (411)
19.3.2.4 1Cr11Ni2W2MoV 的点焊和 缝焊····· (390)	19.4.4.2 试验要求····· (412)
19.3.2.5 几种常用淬火钢的点焊和缝焊 工艺参数····· (391)	19.4.5 焊接工艺参数范围····· (413)
19.3.3 奥氏体不锈钢和高温合金的点焊 和缝焊····· (393)	19.4.5.1 使用工艺参数允许调整范围 ····· (413)
19.3.3.1 应用范围····· (393)	19.4.5.2 允许工艺参数波动范围····· (413)
19.3.3.2 奥氏体不锈钢的点焊和缝焊 ····· (393)	19.4.6 焊点熔核尺寸的确定及测量····· (413)
19.3.3.3 高温合金的点焊和缝焊····· (395)	19.4.6.1 用低倍金相试样进行测量····· (413)
19.3.4 钛及其合金的点焊与缝焊····· (397)	19.4.6.2 用撕破试样进行测量····· (415)
19.3.4.1 应用范围····· (397)	19.4.7 点焊和缝焊接头的强度计算与标 准····· (415)
19.3.4.2 电阻焊特性····· (398)	19.4.7.1 焊点强度的近似计算····· (415)
19.3.4.3 点焊和缝焊工艺参数····· (398)	19.4.7.2 缝焊接头强度计算····· (415)
19.3.5 铝合金的点焊和缝焊····· (399)	19.4.7.3 焊点熔核直径(宽度)与被焊板 材厚度 δ 之间的关系····· (416)
19.3.5.1 特性及工艺措施····· (399)	19.4.7.4 点焊和缝焊接头强度标准····· (416)
	19.4.8 接头的质量指标、缺陷及允许范 围····· (418)
	19.4.8.1 焊点(缝)目视检验标准····· (418)
	19.4.8.2 焊点(缝)X 射线探伤标准····· (419)

19.4.8.3 金相检验标准····· (419)	21.2.6.4 铜及其合金的闪光对焊····· (435)
第20章 凸焊····· (421)	21.2.6.5 钛及其合金的闪光对焊····· (436)
20.1 凸焊方法与接头设计····· (421)	21.3 典型构件的对焊····· (436)
20.1.1 凸焊的分类····· (421)	21.3.1 线材的对焊····· (436)
20.1.2 凸焊过程····· (422)	21.3.2 棒材的对焊····· (437)
20.1.3 工艺参数对凸焊质量的影响····· (422)	21.3.3 管子对焊····· (437)
20.1.4 凸焊接头和凸点设计····· (423)	21.3.4 环形件对焊····· (438)
20.1.4.1 接头设计····· (423)	21.3.5 刀具对焊····· (438)
20.1.4.2 凸点设计····· (423)	第22章 电阻焊设备····· (440)
20.2 常用金属的凸焊····· (424)	22.1 焊机的分类及组成····· (440)
20.2.1 低碳钢的凸焊····· (424)	22.2 点、凸、缝焊机的加压机构····· (441)
20.2.2 镀层钢板的凸焊····· (425)	22.2.1 对加压机构的要求····· (441)
20.2.3 不锈钢的凸焊····· (425)	22.2.2 常用的加压机构····· (441)
20.2.4 其他金属材料的凸焊····· (426)	22.2.2.1 弹簧杠杆式····· (441)
第21章 对焊····· (427)	22.2.2.2 电动凸轮式····· (441)
21.1 电阻对焊····· (427)	22.2.2.3 气压式····· (442)
21.1.1 电阻对焊的电阻和加热····· (427)	22.3 缝焊机的传动与导电机构····· (444)
21.1.2 电阻对焊的焊接循环····· (428)	22.3.1 常用的传动机构····· (444)
21.1.3 工艺参数对接头质量的影响····· (428)	22.3.2 导电机构····· (446)
21.1.3.1 调伸长度 l_0 ····· (428)	22.4 对焊机的送进与夹紧机构····· (447)
21.1.3.2 焊接电流密度 j_h 和焊接时间 t_h ····· (428)	22.4.1 常用的送进机构····· (447)
21.1.3.3 焊接压力 P_f 与顶锻力 P_d ····· (429)	22.4.2 常用的夹紧机构····· (449)
21.1.4 接头设计与焊前准备····· (429)	22.5 电阻焊机的焊接回路····· (451)
21.2 闪光对焊····· (429)	22.5.1 焊接回路的构成····· (451)
21.2.1 闪光对焊的两个阶段····· (429)	22.5.2 电极····· (452)
21.2.1.1 闪光阶段····· (429)	22.5.2.1 电极的作用····· (452)
21.2.1.2 顶锻阶段····· (430)	22.5.2.2 电极的使用····· (452)
21.2.2 闪光对焊的电阻和加热····· (430)	22.5.2.3 电极材料····· (452)
21.2.3 闪光对焊的焊接循环····· (431)	22.5.2.4 电极的形式和冷却····· (454)
21.2.4 工艺参数对接头质量的影响····· (431)	22.6 电阻焊机的电源····· (457)
21.2.4.1 调伸长度 l_0 ····· (431)	22.6.1 单相交流焊机电源····· (458)
21.2.4.2 闪光电流 I_f 和顶锻电流 I_d ····· (432)	22.6.1.1 原理、特点及适用范围····· (458)
21.2.4.3 闪光余量 δ_f ····· (432)	22.6.1.2 电阻焊机变压器特点及功率调 节····· (458)
21.2.4.4 闪光速度 v_f ····· (432)	22.6.2 电容储能焊机电源····· (459)
21.2.4.5 顶锻余量 δ_d ····· (433)	22.6.2.1 原理····· (459)
21.2.4.6 顶锻速度 v_d ····· (433)	22.6.2.2 优缺点····· (460)
21.2.4.7 顶锻压力 P_d ····· (433)	22.6.2.3 适用范围····· (460)
21.2.4.8 预热时间和预热温度····· (433)	22.6.3 直流脉冲焊机电源····· (460)
21.2.5 接头设计与焊前准备····· (433)	22.6.3.1 原理····· (460)
21.2.6 常用金属材料的闪光对焊····· (435)	22.6.3.2 优缺点····· (461)
21.2.6.1 碳素钢的闪光对焊····· (435)	22.6.3.3 适用范围····· (461)
21.2.6.2 合金钢的闪光对焊····· (435)	22.6.4 三相低频焊机电源····· (461)
21.2.6.3 铝及其合金的闪光对焊····· (435)	22.6.4.1 原理····· (461)

22.6.4.2 优缺点	(462)	23.1.3 影响钎料润湿作用的因素	(478)
22.6.5 次级整流焊机电源	(462)	23.2 钎料与母材的相互作用	(479)
22.6.5.1 原理	(462)	23.2.1 母材向钎料的溶解	(479)
22.6.5.2 特点	(463)	23.2.2 钎料组分向母材的扩散	(480)
22.6.5.3 适用范围	(463)	23.2.3 钎焊接头的显微组织	(480)
22.6.6 逆变式焊机电源	(463)	第24章 钎焊生产工艺与钎焊方法	
22.6.6.1 原理	(463)	(482)
22.6.6.2 优缺点	(463)	24.1 钎焊方法	(482)
22.6.6.3 适用范围	(464)	24.1.1 烙铁钎焊	(482)
22.7 电阻焊机的控制系统	(464)	24.1.2 火焰钎焊	(482)
22.7.1 开关装置	(464)	24.1.3 浸沾钎焊	(483)
22.7.2 同步控制装置	(465)	24.1.3.1 盐浴浸沾钎焊	(483)
22.7.2.1 同步控制装置的功能	(465)	24.1.3.2 金属浴浸沾钎焊	(484)
22.7.2.2 同步控制装置的类型	(465)	24.1.4 炉中钎焊	(484)
22.8 电阻焊的质量监控	(466)	24.1.4.1 气体保护钎焊	(485)
22.8.1 恒流监控	(466)	24.1.4.2 真空炉中钎焊	(489)
22.8.2 动态电阻监控	(468)	24.1.5 电阻钎焊	(494)
22.8.3 热膨胀监控	(468)	24.1.6 感应钎焊	(495)
22.8.4 能量监控	(469)	24.1.7 电热毡钎焊	(496)
22.9 点焊和缝焊机的参数测量与检验		24.1.8 波峰钎焊	(497)
.....	(470)	24.1.9 气相钎焊	(498)
22.9.1 测量的意义	(470)	24.1.10 红外钎焊	(499)
22.9.2 焊接电流的检测	(471)	24.1.11 束流钎焊	(501)
22.9.2.1 测量方法	(471)	24.1.12 电弧钎焊	(501)
22.9.2.2 测量标准	(472)	24.2 钎焊接头设计	(502)
22.9.2.3 检测周期	(472)	24.2.1 钎焊接头	(502)
22.9.3 焊接时间的测量	(472)	24.2.2 钎焊接头的基本形式	(502)
22.9.3.1 测量方法	(472)	24.2.3 接头间隙	(504)
22.9.3.2 测量标准	(472)	24.3 钎焊工艺	(506)
22.9.3.3 检查周期	(472)	24.3.1 表面预处理	(506)
22.9.4 电极压力的测量	(472)	24.3.1.1 除油	(506)
22.9.4.1 测量方法	(472)	24.3.1.2 除锈	(507)
22.9.4.2 测量标准	(473)	24.3.1.3 出光	(508)
22.9.4.3 检查周期	(473)	24.3.1.4 预镀覆	(508)
22.9.5 二次回路电阻的测量	(473)	24.3.2 装配和固定	(508)
22.9.5.1 测量方法	(473)	24.3.3 涂止焊剂	(510)
22.9.5.2 一般标准	(474)	24.3.4 钎焊温度	(510)
22.9.5.3 二次回路各接点电阻	(474)	24.3.5 钎焊后清洗	(510)
22.9.5.4 检查周期	(474)	24.3.6 钎焊缺陷	(511)
第4篇 钎焊	(477)	第25章 钎焊材料	(513)
第23章 钎焊概述	(477)	25.1 钎料	(513)
23.1 液态钎料的填缝过程	(477)	25.1.1 钎料概述	(513)
23.1.1 钎料的润湿作用	(477)	25.1.2 软钎料	(514)
23.1.2 毛细作用	(478)	25.1.2.1 锡基及铅基钎料	(514)

25.1.2.2 镉基钎料·····	(517)	26.7.3 钎焊工艺·····	(558)
25.1.2.3 锌基钎料·····	(517)	26.8 硬质合金的钎焊·····	(559)
25.1.2.4 半导体和微电子器件用钎料 ·····	(518)	26.9 陶瓷与金属的钎焊·····	(560)
25.1.3 硬钎料·····	(518)	26.10 金属基复合材料的钎焊 ·····	(561)
25.1.3.1 铝基钎料·····	(518)	第5篇 固态焊 ·····	(563)
25.1.3.2 银基钎料·····	(519)	第27章 固态焊概述 ·····	(563)
25.1.3.3 铜基钎料·····	(521)	27.1 固态焊的特点·····	(563)
25.1.3.4 锰基钎料·····	(524)	27.2 固态焊的必要条件和充分条件·····	(563)
25.1.3.5 镍基钎料·····	(524)	27.3 分类·····	(564)
25.1.3.6 钴基钎料·····	(529)	第28章 扩散焊 ·····	(565)
25.1.3.7 金基钎料·····	(529)	28.1 扩散焊原理·····	(565)
25.1.3.8 钼基钎料·····	(529)	28.2 扩散焊过程·····	(566)
25.1.3.9 真空级钎料·····	(530)	28.3 扩散焊分类·····	(568)
25.1.4 钎料的选择·····	(530)	28.4 扩散焊工艺·····	(568)
25.2 钎剂·····	(533)	28.5 扩散焊设备·····	(571)
25.2.1 软钎剂·····	(533)	28.6 扩散焊的应用·····	(573)
25.2.1.1 有机软钎剂·····	(533)	28.6.1 扩散焊对材料的适用性·····	(573)
25.2.1.2 无机软钎剂·····	(535)	28.6.2 扩散焊对接头形式的适用性·····	(574)
25.2.1.3 铝用软钎剂·····	(535)	28.6.3 扩散焊对结构的适用性·····	(575)
25.2.2 硬钎剂·····	(537)	28.7 扩散钎焊·····	(578)
25.2.3 气体钎剂·····	(538)	28.7.1 扩散钎焊特点·····	(578)
25.2.4 钎料铺展性和填缝性试验 ·····	(539)	28.7.2 扩散钎焊中间层材料的选择·····	(579)
第26章 航空材料的钎焊 ·····	(541)	28.7.3 扩散钎焊的应用·····	(580)
26.1 材料的钎焊性·····	(541)	28.8 超塑成形/扩散连接组合工艺 ·····	(582)
26.2 碳钢与低合金钢的钎焊·····	(541)	28.8.1 超塑性金属材料的特征及超塑成 形·····	(582)
26.3 铜及铜合金的钎焊·····	(543)	28.8.2 超塑成形/扩散连接组合工艺 ···	(582)
26.4 铝及铝合金的钎焊·····	(545)	28.8.3 SPF/DB 组合工艺及工艺参数 ·····	(583)
26.4.1 钎焊性·····	(545)	28.8.3.1 工艺方法和结构形式·····	(583)
26.4.2 软钎焊·····	(546)	28.8.3.2 主要工艺参数·····	(583)
26.4.3 硬钎焊·····	(547)	28.8.3.3 工艺质量·····	(587)
26.4.4 铝与其他金属的钎焊·····	(548)	28.8.4 TC4 钛合金 SPF/DB 构件质量主 要技术要求·····	(589)
26.5 不锈钢的钎焊·····	(549)	28.8.5 工艺装备及设备·····	(590)
26.5.1 钎焊特点·····	(549)	28.8.5.1 工艺装备·····	(590)
26.5.2 软钎焊·····	(549)	28.8.5.2 设备·····	(590)
26.5.3 硬钎焊·····	(549)	28.8.6 应用实例 ·····	(590)
26.6 高温合金的钎焊·····	(552)	第29章 摩擦焊 ·····	(592)
26.6.1 钎焊特点·····	(552)	29.1 摩擦焊特点及分类·····	(592)
26.6.2 钎料·····	(552)	29.1.1 摩擦焊的优点·····	(592)
26.6.3 钎焊工艺·····	(555)	29.1.2 摩擦焊的缺点和局限性·····	(593)
26.6.4 大间隙钎焊·····	(556)	29.1.3 方法分类·····	(593)
26.7 钛及钛合金的钎焊·····	(557)		
26.7.1 钎焊特点·····	(557)		
26.7.2 钎料·····	(557)		

29.1.3.1 按能量获取特点分类·····	(593)	30.2.2.1 工艺特点·····	(621)
29.1.3.2 按相对运动摩擦形式分类·····	(594)	30.2.2.2 工艺参数的选择·····	(621)
29.2 材料摩擦焊的焊接性·····	(596)	30.2.3 在航空工业中的应用·····	(623)
29.2.1 常用航空材料的焊接性·····	(596)	第6篇 典型航空结构的焊接 ·····	(624)
29.2.2 评定材料摩擦焊的焊接性应考虑 的因素·····	(597)	第31章 飞机典型构件的焊接 ·····	(624)
29.2.3 可以获得良好接头的材料·····	(597)	31.1 起落架的焊接·····	(624)
29.2.4 不适宜摩擦焊的材料·····	(598)	31.1.1 起落架的结构特点·····	(624)
29.2.5 摩擦焊接头的力学性能·····	(599)	31.1.1.1 结构形式·····	(624)
29.3 摩擦焊接头设计·····	(600)	31.1.1.2 起落架用材料·····	(627)
29.4 摩擦焊工艺·····	(602)	31.1.2 起落架的工艺流程·····	(627)
29.4.1 焊接表面准备·····	(602)	31.1.3 焊接工艺·····	(630)
29.4.2 工件装夹·····	(603)	31.1.3.1 焊接方法·····	(630)
29.4.3 参数选择·····	(604)	31.1.3.2 焊接工艺·····	(630)
29.4.3.1 连续驱动摩擦焊·····	(604)	31.1.4 质量要求·····	(634)
29.4.3.2 惯性摩擦焊·····	(606)	31.1.4.1 焊接质量要求·····	(634)
29.5 质量控制·····	(609)	31.1.4.2 检测方法·····	(634)
29.5.1 试验方法·····	(609)	31.2 油箱焊接·····	(634)
29.5.2 控制方法·····	(609)	31.2.1 油箱结构特点·····	(635)
29.5.3 质量检查·····	(609)	31.2.2 油箱装配焊接工艺流程·····	(639)
29.6 摩擦焊在航空构件上的应用举例 ·····	(609)	31.2.3 焊接工艺·····	(639)
29.6.1 飞机构件·····	(609)	31.2.3.1 油箱的焊接特点·····	(639)
29.6.2 喷气发动机构件·····	(610)	31.2.3.2 焊接方法的选择·····	(639)
第30章 爆炸焊与超声波焊 ·····	(613)	31.2.3.3 焊前准备·····	(641)
30.1 爆炸焊接·····	(613)	31.2.3.4 定位焊·····	(642)
30.1.1 爆炸焊机理·····	(613)	31.2.3.5 油箱焊接技术·····	(643)
30.1.2 爆炸焊接参数的选择·····	(614)	31.2.3.6 油箱焊接工艺装备·····	(643)
30.1.2.1 v_c 的选择·····	(614)	31.2.4 焊接质量要求及检验方法·····	(644)
30.1.2.2 β 的选择·····	(615)	31.2.4.1 焊接质量要求·····	(644)
30.1.3 爆炸焊接工艺·····	(615)	31.2.4.2 焊接质量检测方法·····	(644)
30.1.3.1 炸药爆速 v_d ·····	(615)	31.3 航空压力容器的焊接·····	(645)
30.1.3.2 单位面积药量 m_a 的确定·····	(616)	31.3.1 航空压力容器的结构特点·····	(645)
30.1.3.3 间距 s 的确定·····	(616)	31.3.2 工艺流程·····	(646)
30.1.3.4 其他工艺因素·····	(616)	31.3.2.1 工艺流程的主要工序·····	(646)
30.1.4 材料适应性·····	(617)	31.3.2.2 典型气瓶的组合顺序·····	(647)
30.1.5 焊接质量·····	(617)	31.3.3 焊接工艺·····	(649)
30.1.5.1 界面组织形貌·····	(618)	31.3.3.1 焊前准备·····	(649)
30.1.5.2 接头力学性能·····	(618)	31.3.3.2 定位焊·····	(649)
30.1.6 焊后热处理·····	(619)	31.3.3.3 焊接方法·····	(649)
30.1.7 在航空工业中的应用·····	(619)	31.3.3.4 焊接缺陷的修补·····	(650)
30.2 超声波焊·····	(620)	31.3.4 质量检验·····	(651)
30.2.1 原理·····	(620)	31.3.4.1 检验方法·····	(651)
30.2.2 工艺特点及工艺参数选择·····	(621)	31.3.4.2 质量标准·····	(651)
		31.4 机尾罩的焊接·····	(653)
		31.4.1 结构特点·····	(653)