

# 异种难焊材料的焊接 新工艺新技术实用手册

第一卷

赵健军 主编

安徽文化音像出版社

# 《异种难焊材料的焊接新工艺新技术实用手册》

## 编委会

主 编 赵健军

编 委 (以姓氏笔画为序排名)

丁 学	马瑞林	王 峰	王志龙
孙一金	孙建彪	刘玉宁	刘亚南
李秀升	李静宜	张成湖	张志龙
周 涛	赵连成	高 峰	隋 志

# 前 言

现代工业的发展和科学技术的进步,对焊接构件的性能提出了更高、更苛刻的要求,除需满足普通性能之外,还要求满足如高温强度、耐磨性、耐腐蚀性、低温韧性、磁性、导电性、导热性等多方面的要求。在这种情况下,任何一种金属材料都不可能完全满足整体焊接结构的使用要求。即使可能有某种金属材料相对比较理想一些,也常由于十分稀缺、价格昂贵,而不能在工程中实际应用。

现代工程结构中不仅需要对接同材料进行焊接,也需要对异种材料进行焊接。在工程及制造中采用异种材料焊接结构,不仅能满足不同工作条件对材质的不同要求,而且还能节约贵重金属,降低结构整体成本,充分发挥不同材料的性能优势。在某些情况下,异种材料结构的综合性能甚至超过单一金属结构。因此,异种材料的焊接日益受到人们的重视,具有广阔的应用前景,近年来在航空航天、石油化工、电站锅炉、核动力、机械、电子、造船及其他一些领域获得越来越广泛的应用,是工业生产中不可缺少的一种先进制造技术。

但是,焊接异种材料通常要比焊接同种材料困难得多,因为除了材料本身的物理化学性能对焊接性的影响之外,两种材料性能的差异会在更大程度上影响它们之间的焊接性。

为了促进异种难焊材料焊接新工艺新技术的推广,我们特组织有关专家、学者编撰了本手册。手册分为总论、异种钢的焊接新工艺新技术、铸铁异种材料的焊接新工艺新技术、复合钢的焊接新工艺新技术、钢与高温合金、难熔金属的焊接新工艺新技术、钢与有色金属的焊接新工艺新技术、异种有色金属的焊接新工艺新技术、金属间化合物异种材料的焊接新工艺新技术、其他异种难焊材料的焊接新工艺新技术及相关标准规范,附录详尽论述了焊接安全技术,内容全面、新颖。

本手册在编撰过程中参考了相关资料,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大专家、学者批评指教。

手册编委会

2005年3月

# 目 录

## 第一卷

### 第一篇 总 论

<b>第一章 异种难焊材料概述</b> .....	(3)
<b>第一节 金属材料的基本特性</b> .....	(3)
一、常用金属的物理化学性能 .....	(3)
二、常用金属的力学性能 .....	(8)
<b>第二节 异种材料焊接的特点</b> .....	(11)
一、异种材料焊接存在的问题.....	(11)
二、金属固态下相互作用的特性.....	(12)
三、异种金属焊接缺陷及防止措施.....	(14)
<b>第二章 异种难焊材料分类及组合</b> .....	(20)
<b>第一节 钢铁材料的分类及性能</b> .....	(20)
一、碳钢的分类、成分及性能 .....	(20)
二、低合金钢的分类、成分及性能 .....	(29)
三、不锈钢的分类、成分及性能 .....	(40)
<b>第二节 有色金属的分类及性能</b> .....	(53)
一、有色金属材料的分类.....	(53)
二、有色金属的成分及性能.....	(53)
<b>第三节 异种难焊材料的焊接组合</b> .....	(75)
一、典型组织钢的组合分类.....	(75)

二、异种材料焊接构件的组合特点 .....	(78)
三、异种钢的焊接组合 .....	(79)
四、钢与有色金属的焊接组合 .....	(80)
第四节 异种难焊材料的连接形式及应用 .....	(85)
一、异种材料直接连接的形式及特点 .....	(86)
二、异种材料间接连接的形式及特点 .....	(86)
三、异种焊接结构件的应用 .....	(86)
第三章 异种难焊材料的焊接性 .....	(91)
第一节 异种难焊材料的焊接性 .....	(91)
一、影响异种材料焊接性的因素 .....	(92)
二、异种材料焊接的困难 .....	(94)
第二节 异种难焊材料的焊接方法 .....	(94)
一、异种材料熔焊 .....	(96)
二、异种材料压焊 .....	(103)
三、异种材料钎焊 .....	(106)
四、其他焊接方法 .....	(106)
第三节 异种难焊焊接材料的选用 .....	(107)
一、异种焊接材料的选择原则 .....	(107)
二、根据接头强度、成分和组织选择焊接材料 .....	(108)
第四节 异种难焊材料焊接性试验 .....	(110)
一、异种材料的工艺焊接性试验 .....	(110)
二、异种材料的焊接裂纹试验 .....	(112)
三、异种材料的使用焊接性试验 .....	(118)
第四章 异种难焊材料焊接接头 .....	(122)
第一节 异种材料焊接接头力学性能检测 .....	(122)
一、异种材料焊接接头拉伸性能检测 .....	(122)
二、异种材料焊接接头失效检验 .....	(124)
三、异种材料焊接接头塑性检验 .....	(126)
第二节 异种难焊材料焊接接头成分及组织分析 .....	(128)

一、异种材料焊接区的化学成分分析 .....	(128)
二、异种材料焊接接头的组织分析方法 .....	(129)
三、异种材料焊接接头的微观结构分析方法 .....	(132)
第三节 异种难焊材料焊接接头耐蚀性检测 .....	(135)
一、异种材料焊接接头耐蚀性检测特点 .....	(135)
二、异种材料焊接接头耐蚀性检测方法 .....	(136)
三、异种材料焊接接头耐蚀性检测实例 .....	(136)
第四节 异种材料焊接接头应力检测 .....	(138)
一、检测方法 .....	(138)
二、检测的影响因素 .....	(139)

## 第二篇 异种钢的焊接新工艺新技术

第一章 异种珠光体钢的焊接新工艺新技术 .....	(145)
第一节 焊接特点 .....	(145)
第二节 焊接材料的选用 .....	(146)
一、电焊条 .....	(146)
二、焊丝 .....	(303)
第三节 焊接的工艺参数 .....	(347)
一、Q235 钢与 16Mn 钢的焊接(I + II 组合) .....	(347)
二、20g 钢与 16Mn 钢的焊接(I + II 组合) .....	(351)
三、异种低合金钢的摩擦焊 .....	(353)
第四节 焊后热处理 .....	(357)

## 第二卷

第二章 异种低合金高强钢的焊接新工艺新技术 .....	(359)
第一节 异种普通低合金钢的焊接新工艺新技术 .....	(359)
第二节 异种低碳调质钢的焊接新工艺新技术 .....	(361)

一、焊接工艺及参数 .....	(363)
二、焊接裂纹倾向 .....	(364)
三、焊接接头性能 .....	(367)
<b>第三章 珠光体钢与高铬钢的焊接新工艺新技术 .....</b>	<b>(373)</b>
<b>第一节 珠光体钢与高铬钢的焊接特点 .....</b>	<b>(373)</b>
一、珠光体钢与铁素体钢的焊接特点 .....	(373)
二、珠光体钢与马氏体钢的焊接特点 .....	(374)
<b>第二节 珠光体钢与铁素体钢的焊接材料 .....</b>	<b>(375)</b>
<b>第三节 焊接工艺及焊后热处理 .....</b>	<b>(380)</b>
<b>第四节 珠光体钢与高铬钢焊接举例 .....</b>	<b>(382)</b>
一、碳钢与铁素体钢的焊接 .....	(382)
二、Q235 钢与 2Cr13、3Cr13 马氏体钢的焊接 .....	(384)
<b>第四章 异种奥氏体钢的焊接新工艺新技术 .....</b>	<b>(385)</b>
<b>第一节 焊接特点 .....</b>	<b>(385)</b>
一、焊接接头的热裂纹 .....	(385)
二、焊接接头的塑性和韧性降低 .....	(387)
三、过渡区软化(脱碳层)和硬化(增碳层) .....	(388)
四、接头应力及应力腐蚀开裂 .....	(391)
<b>第二节 焊接方法 .....</b>	<b>(392)</b>
一、焊缝和近缝区易产生热裂纹 .....	(395)
二、保证焊接接头的耐蚀性 .....	(395)
三、保证焊缝金属的热强性 .....	(396)
<b>第三节 焊接材料的选择 .....</b>	<b>(396)</b>
一、奥氏体钢焊接材料 .....	(396)
二、异种奥氏体钢的焊接材料 .....	(400)
三、异种奥氏体钢焊接的工艺参数 .....	(401)
<b>第四节 奥氏体钢与珠光体钢的焊接新工艺新技术 .....</b>	<b>(404)</b>
一、奥氏体钢与珠光体钢焊接材料的选用 .....	(405)
二、焊接工艺及焊后热处理 .....	(407)

三、奥氏体钢与珠光体钢焊接接头组织性能 .....	(408)
第五节 奥氏体钢与铁素体钢的焊接新工艺新技术 .....	(413)
一、奥氏体钢与铁素体钢的熔焊工艺 .....	(413)
二、异种奥氏体钢的电阻焊工艺 .....	(415)
三、异种奥氏体钢的摩擦焊 .....	(417)

### 第三篇 铸铁异种材料的焊接新工艺新技术

第一章 概 述 .....	(421)
第一节 电弧焊基础知识 .....	(421)
一、焊接电弧 .....	(421)
二、焊丝的熔化与熔滴过渡 .....	(448)
三、母材熔化与焊缝成形 .....	(459)
第二节 焊条电弧焊 .....	(470)
一、焊条电弧焊的原理及特点 .....	(471)
二、焊条电弧焊设备及工具 .....	(472)
三、焊条电弧焊工艺 .....	(481)
第三节 二氧化碳气体保护电弧焊 .....	(497)
一、CO <sub>2</sub> 焊的特点及应用 .....	(497)
二、CO <sub>2</sub> 焊设备 .....	(500)
三、CO <sub>2</sub> 焊的冶金特性和焊接材料 .....	(510)
四、CO <sub>2</sub> 焊工艺 .....	(520)
五、CO <sub>2</sub> 焊的其他方法 .....	(533)
第四节 等离子弧焊接与切割 .....	(538)
一、等离子弧的形成及其特性 .....	(538)
二、等离子弧焊 .....	(547)
三、等离子弧堆焊与喷涂 .....	(561)
四、等离子弧切割 .....	(567)

第五节 铸铁的种类和性能 .....	(579)
一、铸铁的分类 .....	(580)
二、影响铸铁性能的因素 .....	(585)
第二章 铸铁与钢的焊接新工艺新技术 .....	(588)
第一节 灰口铸铁与碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(589)
一、灰口铸铁与碳钢的焊接特点 .....	(589)
二、灰口铸铁与碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(590)
第二节 可锻铸铁与碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(594)
一、电弧热焊和冷焊 .....	(594)
二、CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	(595)
第三节 球墨铸铁与碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(596)
一、手工电弧焊 .....	(596)
二、CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	(597)
第三章 铸铁与铜的焊接新工艺新技术 .....	(599)
第一节 铸铁与铜的焊接性 .....	(599)
一、铸铁基体与铜基体不易结合 .....	(599)
二、异质焊缝成分不均匀 .....	(599)
三、焊接接头区容易产生裂纹 .....	(600)
四、焊接接头变形大 .....	(600)
第二节 铸铁与铜的焊接工艺要点 .....	(600)
一、焊前预处理 .....	(600)
二、填充材料的选择 .....	(601)
三、制定合理的焊接工艺 .....	(601)
四、焊缝的焊后处理 .....	(601)
第三节 铸铁与铜的焊接实例 .....	(601)
第四章 铸铁与钢的焊接实例 .....	(604)
第一节 灰口铸铁与碳钢的焊接实例 .....	(604)
第二节 可锻铸铁与碳钢的焊接实例 .....	(606)
第三节 球墨铸铁与碳钢的焊接实例 .....	(607)

一、汽车传动轴的焊接 .....	(607)
二、QT400-15 与 15 号钢的 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	(608)
第四节 铸铁与不锈钢的焊接 .....	(608)
一、铸铁与不锈钢焊接存在的问题 .....	(608)
二、铸铁与不锈钢焊接的工艺要点 .....	(609)

## 第四篇 复合钢的焊接新工艺新技术

第一章 概 述 .....	(613)
第一节 埋弧焊 .....	(613)
一、埋弧焊的原理及特点 .....	(613)
二、埋弧焊的自动调节原理 .....	(619)
三、埋弧焊设备 .....	(630)
四、埋弧焊的焊接材料与冶金过程 .....	(643)
五、埋弧焊工艺 .....	(650)
六、埋弧焊的其他方法 .....	(674)
第二节 钨极惰性气体保护焊 .....	(678)
一、TIG 焊的特点及应用 .....	(678)
二、TIG 焊的电流种类和极性 .....	(680)
三、TIG 焊设备 .....	(688)
四、TIG 焊工艺 .....	(700)
五、TIG 焊的其他方法 .....	(710)
第三节 复合钢的基本性能 .....	(716)
一、复合钢的力学性能 .....	(716)
二、不锈复合钢的种类与性能 .....	(718)
三、复合钢板的接头设计 .....	(720)
第二章 钛钢复合板的焊接新工艺新技术 .....	(723)
第一节 钛-钢复合板的分类及性能 .....	(723)
第二节 钛-钢复合板焊接工艺特点 .....	(724)

第三节 钛-钢复合板焊接实例·····	(727)
第三章 不锈复合钢的焊接新工艺新技术·····	(728)
第一节 不锈复合钢板的加工特点·····	(728)
一、复合钢板的切割·····	(728)
二、复合钢板的成型加工·····	(729)
第二节 焊接性特点·····	(730)
一、奥氏体系复合钢的焊接性·····	(730)
二、铁素体系复合钢的焊接性·····	(732)
第三节 焊接程序·····	(733)
一、复合钢板的焊接方法·····	(733)
二、复合钢焊接的坡口形式·····	(733)
三、复合钢焊接材料的选用·····	(736)
四、复合钢的焊接工艺·····	(739)
第四节 焊后热处理新工艺新技术·····	(741)
一、退火处理·····	(742)
二、借助变形法消除应力·····	(742)
三、喷丸处理·····	(742)

## 第三卷

第四章 铜钢复合钢板的焊接新工艺新技术·····	(743)
第一节 铜-钢复合钢板的焊接特点·····	(743)
第二节 铜-钢复合钢板焊接工艺·····	(743)
第五章 复合渗铝钢的焊接新工艺新技术·····	(746)
第一节 渗铝钢的特性·····	(746)
第二节 渗铝钢焊接问题及解决措施·····	(748)
一、渗铝钢焊接中存在的问题·····	(748)
二、解决渗铝钢焊接问题的途径·····	(749)
第三节 渗铝钢的焊接新工艺新技术·····	(749)

第四节 渗铝钢的焊接接头性能·····	(751)
一、渗层厚度及显微硬度·····	(751)
二、渗层中的铝含量及相结构·····	(752)
三、渗层的抗变形能力·····	(754)
四、焊接接头的抗氧化性和耐蚀性·····	(754)
<b>第五篇 钢与高温合金、难熔合金的焊接新工艺新技术</b>	
<b>第一章 概 述</b> ·····	(759)
第一节 熔化极惰性气体保护电弧焊·····	(759)
一、MIG 焊的特点及应用·····	(759)
二、MIG 焊设备·····	(761)
三、MIG 焊工艺·····	(770)
四、MIG 焊的其他方法·····	(783)
第二节 电阻焊·····	(788)
一、电阻焊的实质、分类及特点·····	(788)
二、电阻焊的基本原理·····	(791)
三、点焊、凸焊与缝焊·····	(799)
四、对 焊·····	(825)
第三节 钎焊·····	(834)
一、钎焊原理及特点·····	(834)
二、钎焊材料·····	(839)
三、钎焊方法及工艺·····	(846)
第四节 高温合金、难熔金属的分类及应用·····	(864)
一、高温合金的分类、性能及应用·····	(864)
二、难熔金属的性能及应用·····	(865)
第五节 钢与高温合金、难熔金属的焊接特点·····	(869)
一、钢与高温合金的焊接特点·····	(869)
二、钢与难熔金属的焊接特点·····	(873)

<b>第二章 钢与高温合金的焊接新工艺新技术</b> .....	(875)
第一节 钢与高温合金的氩弧焊新工艺新技术 .....	(875)
第二节 钢与高温合金的电阻焊新工艺新技术 .....	(877)
第三节 钢与高温合金的钎焊新工艺新技术 .....	(878)
<b>第三章 钢与难熔金属的焊接新工艺新技术</b> .....	(880)
第一节 钢与钨的焊接新工艺新技术 .....	(880)
一、钢与钨的焊接特点 .....	(880)
二、钢与钨的焊接工艺措施 .....	(881)
三、钢与钨的焊接工艺 .....	(881)
四、钢与钨的电子束焊 .....	(882)
第二节 钢与铌的焊接新工艺新技术 .....	(883)
一、钢与铌的焊接特点 .....	(883)
二、钢与铌的焊接工艺 .....	(884)
第三节 钢与钼的焊接新工艺新技术 .....	(886)
一、钢与钼的焊接特点 .....	(886)
二、钢与钼的焊接工艺 .....	(888)

## 第六篇 钢与有色金属的焊接新工艺新技术

<b>第一章 钢与铝及铝合金的焊接新工艺新技术</b> .....	(893)
第一节 焊接特点 .....	(893)
一、熔焊特点 .....	(894)
二、压焊特点 .....	(894)
第二节 钢与铝及铝合金的熔化焊新工艺新技术 .....	(895)
一、钢与铝及铝合金的氩弧焊 .....	(895)
二、碳钢与铝的气焊 .....	(898)
三、钢与铝的电子束焊接 .....	(898)
第三节 钢与铝及铝合金的压焊新工艺新技术 .....	(899)
一、钢与铝及铝合金的摩擦焊 .....	(899)

---

二、钢与铝及铝合金的扩散焊 .....	(900)
三、钢与铝及铝合金的爆炸焊 .....	(902)
第四节 钢与铝的焊接实例 .....	(903)
第二章 钢与铜及铜合金的焊接新工艺新技术 .....	(905)
第一节 焊接特点 .....	(905)
一、焊缝易产生热裂纹 .....	(906)
二、热影响区产生铜的渗透裂纹 .....	(906)
三、焊接接头力学性能降低 .....	(906)
第二节 低碳钢与铜的焊接新工艺新技术 .....	(907)
一、低碳钢与铜的手工电弧焊 .....	(907)
二、低碳钢与铜的埋弧焊 .....	(910)
三、低碳钢与铜的电子束焊 .....	(911)
四、钢与铜的闪光对焊和电阻对焊 .....	(912)
五、钢与铜的其他焊接方法 .....	(913)
第三节 不锈钢与铜的焊接新工艺新技术 .....	(913)
一、不锈钢与铜的手工电弧焊 .....	(913)
二、不锈钢与铜的埋弧焊 .....	(914)
三、不锈钢与铜的钨极氩弧焊 .....	(915)
四、不锈钢与铜的钎焊 .....	(917)
第三章 钢与镍及镍合金的焊接新工艺新技术 .....	(919)
第一节 焊接特点 .....	(919)
第二节 焊接新工艺新技术 .....	(920)
一、低碳钢与镍的焊接 .....	(920)
二、不锈钢与镍的焊接 .....	(921)
第三节 焊接实例 .....	(923)
一、不锈钢与镍的埋弧焊 .....	(923)
二、不锈钢与镍的氩弧焊 .....	(925)
第四章 钢与钛及钛合金的焊接新工艺新技术 .....	(926)
第一节 焊接特点 .....	(926)

第二节 焊接新工艺新技术 .....	(927)
一、钢与钛及钛合金的氩弧焊 .....	(927)
二、钢与钛及钛合金真空电子束焊 .....	(928)
三、钢与钛及钛合金的扩散焊 .....	(928)
四、钢与钛及钛合金的钎焊 .....	(932)
第五章 钢与其他有色金属及其合金的焊接新工艺新技术 .....	(933)
第一节 钢与铍及铍合金的焊接新工艺新技术 .....	(933)
一、钢与铍及铍合金的扩散焊 .....	(933)
二、钢与铍及铍合金的钎焊 .....	(935)
第二节 钢与锆及锆合金的焊接新工艺新技术 .....	(936)
一、钢与锆及锆合金的焊接特点 .....	(936)
二、钢与锆及锆合金的焊接工艺 .....	(937)
第三节 钢与铅及铅合金的焊接新工艺新技术 .....	(940)

## 第七篇 异种有色金属的焊接新工艺新技术

第一章 铜与铝及铝合金的焊接新工艺新技术 .....	(945)
第一节 焊接特点 .....	(945)
第二节 铜与铝及铝合金的熔焊新工艺新技术 .....	(948)
一、铜与铝的氩弧焊 .....	(948)
二、铜与铝的埋弧自动焊 .....	(949)
三、铜与铝的电子束焊 .....	(950)
第三节 铜与铝及铝合金的压焊新工艺新技术 .....	(951)
一、铜与铝的闪光对焊 .....	(951)
二、铜与铝的摩擦焊 .....	(953)
三、铜与铝的冷压焊 .....	(956)
四、铜与铝的电容储能焊 .....	(957)
五、铜与铝的真空扩散焊 .....	(958)
第四节 铜与铝及铝合金的钎焊新工艺新技术 .....	(959)

---

一、钎料的选用 .....	(959)
二、钎剂的选用 .....	(960)
第五节 铜与铝的焊接实例 .....	(961)
第二章 铜与钛及钛合金的焊接新工艺新技术 .....	(963)
第一节 焊接特点 .....	(963)
第二节 铜与钛及钛合金的氩弧焊新工艺新技术 .....	(964)
第三节 铜与钛及钛合金的扩散焊 .....	(966)
第三章 铜与镍及镍合金焊接新工艺新技术 .....	(969)
第一节 焊接特点 .....	(969)
第二节 焊接新工艺新技术 .....	(970)
一、铜与镍及镍合金的氩弧焊 .....	(970)
二、铜与镍及镍合金的真空扩散焊 .....	(972)
第四章 铜与钼的焊接新工艺新技术 .....	(974)
第一节 铜与钼的焊接特点 .....	(974)
第二节 铜与钼的扩散焊新工艺新技术 .....	(975)
第五章 铝与钛的焊接新工艺新技术 .....	(977)
第一节 焊接特点 .....	(977)
一、钛与铝极易氧化,合金元素容易烧损蒸发 .....	(977)
二、钛与铝在不同温度下发生反应和其他杂质形成脆性化合物 .....	(978)
三、钛与铝的相互溶解度小,高温时吸气性大 .....	(978)
四、钛与铝的焊接变形大 .....	(979)
第二节 焊接新工艺新技术 .....	(979)
一、铝与钛的氩弧焊 .....	(979)
二、铝与钛的扩散焊 .....	(980)
三、铝与钛的冷压焊 .....	(982)
第六章 铝与镁的焊接新工艺新技术 .....	(984)
第一节 铝与镁的焊接特点 .....	(984)
第二节 铝与镁的扩散焊新工艺新技术 .....	(985)
一、焊前准备 .....	(985)

二、铝与镁的扩散焊工艺及参数 .....	(985)
----------------------	-------

## 第八篇 金属间化合物异种材料的焊接新工艺新技术

<b>第一章 概述</b> .....	(989)
第一节 金属间化合物的分类 .....	(989)
第二节 金属间化合物的特性 .....	(990)
一、Ti - Al系金属间化合物 .....	(990)
二、Ni - Al系金属间化合物 .....	(991)
三、Fe - Al系金属间化合物 .....	(992)
<b>第二章 Ti - Al金属间化合物异种材料的焊接新工艺新技术</b> .....	(996)
第一节 TiAl与40Cr钢的焊接新工艺新技术 .....	(996)
一、TiAl与40Cr钢的扩散焊 .....	(996)
二、TiAl与40Cr钢的钎焊 .....	(999)
第二节 TiAl与SiC陶瓷的焊接新工艺新技术 .....	(1000)
一、TiAl与SiC的扩散焊 .....	(1000)
二、TiAl与SiC的钎焊 .....	(1003)
第三节 Ti - Al金属间化合物与其他材料的焊接新工艺新技术 .....	(1005)
<b>第三章 Ni - Al金属间化合物异种材料的焊接新工艺新技术</b> .....	(1007)
第一节 Ni <sub>3</sub> Al与碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(1007)
第二节 Ni <sub>3</sub> Al与不锈钢的焊接新工艺新技术 .....	(1009)
第三节 Ni <sub>3</sub> Al与工具钢的焊接新工艺新技术 .....	(1011)
第四节 NiAl与Ni的焊接新工艺新技术 .....	(1013)
<b>第四章 Fe - Al金属间化合物异种材料的焊接新工艺新技术</b> .....	(1015)
第一节 Fe <sub>3</sub> Al与低碳钢的焊接新工艺新技术 .....	(1015)
一、焊前准备 .....	(1015)
二、焊接工艺及参数 .....	(1015)
三、扩散焊接头的力学性 .....	(1016)
四、扩散界面附近的微观组织 .....	(1018)