

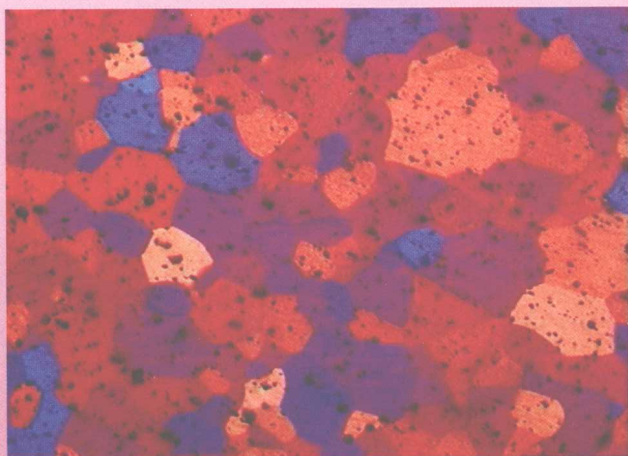
现代铝加工生产技术丛书

主编 李凤轶 周江

铝合金材料主要缺陷与 质量控制技术

LÜHEJIN CAILIAO ZHUYAO QUEXIAN YU
ZHILIANG KONGZHI JISHU

刘静安 单长智 侯 绎 谢水生 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

内 容 简 介

本书是《现代铝加工生产技术丛书》之一,详细介绍了铝合金加工材的分类、主要品种、规格、特性、生产方法、工艺流程及生产过程中的质量控制;重点论述了变形铝合金的铸锭、管、棒、型、线材,板、带、条、箔材,自由锻件与模锻件、粉材、表面处理深加工材等主要铝合金加工材在生产过程中,特别是在各主要生产工序中所产生的主要缺陷(废品)及其产生的原因和预防措施,同时还介绍了铝合金产品的质量检测方法与控制等。在内容组织和结构安排上,力求理论联系实际,切合生产实际需要,突出实用性、先进性和行业特色,为读者提供一本实用的技术著作。

本书是铝加工生产企业工程技术人员必备的技术读物,也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、教学、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用,同时可作为大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铝合金材料主要缺陷与质量控制技术 / 刘静安等编著.

—北京:冶金工业出版社,2012.3

(现代铝加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-5846-1

I. ①铝… II. ①刘… III. ①铝合金—工程材料

IV. ①TG146.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 019518 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5846-1

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销
2012 年 3 月第 1 版,2012 年 3 月第 1 次印刷

148mm×210mm, 12 875 印张;381 千字;389 页

42.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《丛书》前言

节约资源、节省能源、改善环境越来越成为人类生活与社会持续发展的必要条件，人们正竭力开辟新途径，寻求新的发展方向 and 有效的发展模式。轻量化显然是有效的发展途径之一，其中铝合金是轻量化首选的金属材料。因此，进入 21 世纪以来，世界铝及铝加工业获得了迅猛的发展，铝及铝加工技术也进入了一个崭新的发展时期，同时我国的铝及铝加工业也掀起了第三次发展高潮。2007 年，世界原铝产量达 3880 万吨（其中：废铝产量 1700 万吨），铝消费总量达 4275 万吨，创历史新高；铝加工材年产量达 3200 万吨，仍以 5%~6% 的年增长率递增；我国原铝年产量已达 1260 万吨（其中：废铝产量 250 万吨），连续五年位居世界首位；铝加工材年产量达 1176 万吨，一举超过美国成为世界铝加工材产量最大的国家。与此同时，我国铝加工材的出口量也大幅增加，我国已真正成为世界铝业大国、铝加工业大国。但是，我们应清楚地看到，我国铝加工材在品种、质量以及综合经济技术指标等方面还相对落后，生产装备也不甚先进，与国际先进水平仍有一定差距。

为了促进我国铝及铝加工技术的发展，努力赶超世界先进水平，向铝业强国和铝加工强国迈进，还有很多工作要做：其中一项最重要的工作就是总结我国长期以来在铝加工方面的生产经验和科研成果；普及和推广先进铝加工技术；提出我国进一步发展铝加工的规划与方向。

几年前，中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社合作，组织国内 20 多家主要的铝加工企业、科研院所、大专院校的百余名专家、学者和工程技术人员编写出版了大型工具书——《铝加工技术实用手册》，该书出版后受到广大读者，特别是铝加工企业工程技术人员的好评，对我国铝加工业的发展起到一定的促进作用。但由于铝加工工业及技术涉及面广，内容十分

丰富,《铝加工技术实用手册》因篇幅所限,有些具体工艺还不尽深入。因此,有读者反映,能有一套针对性和实用性更强的生产技术类《丛书》与之配套,相辅相成,互相补充,将能更好地满足读者的需要。为此,中国有色金属学会合金加工学术委员会与冶金工业出版社计划在“十一五”期间,组织国内铝加工行业的专家、学者和工程技术人员编写出版《现代铝加工生产技术丛书》(简称《丛书》),以满足读者更广泛的需求。《丛书》要求突出实用性、先进性、新颖性和可读性。

《丛书》第一次编写工作会议于2006年8月20日在北戴河召开。会议由中国有色金属学会合金加工学术委员会主任谢水生主持,参加会议的单位有:西南铝业(集团)有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、华北铝业有限公司的代表。会议成立了《丛书》编写筹备委员会,并讨论了《丛书》编写和出版工作。2006年年底确定了《丛书》的编写分工。

第一次《丛书》编写工作会议以后,各有关单位领导十分重视《丛书》的编写工作,分别召开了本单位的编写工作会议,将编写工作落实到具体的作者,并都拟定了编写大纲和目录。中国有色金属学会的领导也十分重视《丛书》的编写工作,将《丛书》的编写出版工作列入学会的2007~2008年工作计划。

为了进一步促进《丛书》的编写和协调编写工作,编委会于2007年4月12日在北京召开了第二次《丛书》编写工作会议。参加会议的有来自西南铝业(集团)有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、上海瑞尔实业有限公司、广东中山市金胜铝业有限公司、华北铝业有限公司和冶金工业出版社的代表21位同志。会议进一步修订了《丛书》各册的编写大纲和目录,落实和协调了各册的编写工作和进度,交流了编写经验。

为了做好《丛书》的出版工作,2008年5月5日在北京召开

了第三次《丛书》编写工作会议。参加会议的单位有：西南铝业（集团）有限责任公司、东北轻合金有限责任公司、中国铝业股份有限公司西北铝加工分公司、北京有色金属研究总院、广东凤铝铝业有限公司、广东中山市金胜铝业有限公司、上海瑞尔实业有限公司和冶金工业出版社，会议代表共 18 位同志。会议通报了编写情况，协调了编写进度，落实了各分册交稿和出版计划。

《丛书》因各分册由不同单位承担，有的分册是合作编写，编写进度有快有慢。因此，《丛书》的编写和出版工作是统一规划，分步实施，陆续尽快出版。

由于《丛书》组织和编写工作量大，作者多和时间紧，在编写和出版过程中，可能会有不妥之处，恳请广大读者批评指正，并提出宝贵意见。

另外，《丛书》编写和出版持续时间较长，在编写和出版过程中，参编人员有所变化，敬请读者见谅。

《现代铝加工生产技术丛书》编委会

2008 年 6 月

前 言

21 世纪以来,世界铝及铝合金加工材产业和技术获得了飞速的发展,成为许多国家的支柱产业之一。2010 年世界电解铝产量达 4500 万吨,其中中国逾 1600 万吨,连续 9 年超过美国,位居世界首位,电解铝的 80% 以上以各种加工方法制成不同品种、规格、性能和用途的板、带、条、箔、管、棒、型、线材和模锻件、粉材等主要铝合金加工材。2010 年世界各种铝合金加工材产量达 3800 万吨,其中,中国逾 1680 万吨,连续 3 年位居世界首位。目前,铝及铝合金加工产品的品种、规格达数万种之多,已广泛用于国民经济各部门,并成为重要的基础材料之一。但是,随着经济的发展和人们生活水平的提高,对铝及铝合金加工材的质量要求越来越高,由于铝及铝合金加工材品种规格多、形状复杂、生产加工方式各异、性能和用途多样化、个性化,在生产过程中不可避免地会产生各种缺陷,甚至出现废品,对产品质量和成品率会带来很大的挑战,会大大影响产品的使用性能和经济效益,甚至会造成资源和能源浪费。为此,世界各国围绕提高铝及铝合金加工材质量问题进行了大量的研发工作,在技术上提出了“零缺陷”口号,并取得了可喜的成绩,如有些发达国家铝材的综合成品率达到 70% 左右。我国在提高铝材质量方面也进行了大量工作(包括质量管理工作),并有突破性进展,在大大减少产品几何废料的同时,也大大减少了技术缺陷废料,但总体来看,与世界先进水平仍有较大差距。因此,为了提高铝及铝合金加工产品的质量,减少或杜绝不该产生的技术缺陷(废品),大幅度提高产品成品率,作者在总结多年来在铝材生产、科研及产品质量检验和管理中积累的经验 and 成果基础上,参阅了国内外大量文献资料,编写了本书,以期对我国铝加工材质量的提高有所裨益。

本书详细介绍了铝及铝合金加工材的分类、主要品种、规格、特

性、生产方法、工艺流程及生产过程中的质量控制；重点论述了变形铝合金的铸锭、管、棒、型、线材，板、带、条、箔材，自由锻件与模锻件、粉材、表面处理深加工材等主要铝合金加工材在生产过程中，特别是在各主要生产工序中所产生的主要缺陷（废品）及其产生的原因和预防措施，同时还介绍了铝合金产品的质量检测方法与生产过程的控制等。在内容组织和结构安排上，力求理论联系实际，切合生产实际需要，突出实用性、先进性和行业特色，并从生产和应用中精选了大量典型缺陷实例，深入浅出地分析缺陷的特征、产生的原因和防止的办法，力争为读者提供一本实用的技术著作。

本书是铝加工生产企业工程技术人员必备的技术读物，也可供从事有色金属材料与加工的科研、设计、教学、生产和应用等方面的技术人员与管理人员使用，同时可作为大专院校有关专业师生的参考书。

本书第1、7、8章由刘静安编写，第3章由单长智、侯绎编写，第2、5章由单长智、侯绎、刘静安编写，第4章由单长智、侯绎、刘静安、谢水生编写，第6章由刘静安、谢水生编写。全书由刘静安教授与谢水生教授审定。

本书在编写过程中，邵莲芬、刘煜、刘鲁等同志做了大量工作，同时参考了国内外有关专家、学者一些文献资料、图表和数据等，并得到中国有色金属学会合金加工学术委员会和冶金工业出版社的支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

作 者

2012年1月



录

1 概论	1
1.1 铝合金加工材料的分类、品种规格、性能与用途	1
1.1.1 铝及铝合金材料的分类	1
1.1.2 铝及铝合金加工材料的分类及主要品种与规格	1
1.1.3 铝及铝合金加工材料的性能与主要用途	6
1.2 铝合金加工材料的加工成形方法与生产工艺流程	33
1.2.1 铝及铝合金塑性加工成形方法的分类与特点	33
1.2.2 铝及铝合金加工材料的生产工艺流程	40
1.3 铝合金加工材料在塑性加工成形时的组织与性能变化	40
1.3.1 热变形对铝合金加工材料组织性能的影响	40
1.3.2 冷变形对铝合金加工材料组织性能的影响	47
1.4 铝及铝合金加工材料生产技术现状与发展趋势	49
1.4.1 铝及铝合金材料加工业进入了一个崭新的发展时代	49
1.4.2 现代铝合金加工业及技术的发展特点	51
1.4.3 铝加工技术的发展趋势	52
1.4.4 铝合金加工材料的发展现状与研发方向	54
2 铝合金加工材料的质量控制及主要缺陷检测技术	65
2.1 铝合金加工材料的质量指标、废品分布及成品率	65
2.1.1 铝合金加工材料的质量指标	65
2.1.2 铝合金加工材料的废品（缺陷）及成品率控制	66
2.2 铝合金加工材料的质量控制	74
2.2.1 概述	74
2.2.2 质量控制方法	74
2.3 变形铝合金加工材料的主要缺陷检测技术	76

2.3.1	变形铝及铝合金加工材料的显微组织检测方法	76
2.3.2	变形铝及铝合金加工材料的低倍和 断口组织检测方法	88
2.3.3	变形铝及铝合金加工材料的超声波探伤检测方法	94
2.3.4	变形铝及铝合金管材涡流探伤检测方法	98
3	变形铝合金铸锭缺陷分析与质量控制	103
3.1	偏析	103
3.1.1	晶内偏析	103
3.1.2	逆偏析	104
3.2	偏析瘤	105
3.2.1	偏析瘤的宏观组织特征	105
3.2.2	偏析瘤显微组织特征	105
3.2.3	形成机理	106
3.2.4	偏析瘤防止措施	107
3.2.5	偏析瘤对制品性能的影响	107
3.3	缩孔	107
3.4	疏松	107
3.4.1	疏松的宏观组织特征	107
3.4.2	疏松的显微组织特征	108
3.4.3	疏松的形成机理	109
3.4.4	疏松的防止措施	109
3.4.5	疏松对制品性能的影响	109
3.5	气孔	110
3.5.1	气孔的组织特征	110
3.5.2	气孔形成机理及防止措施	111
3.6	夹杂	112
3.6.1	非金属夹杂	112
3.6.2	金属夹杂	113
3.7	氧化膜	114
3.7.1	宏观组织特征	114

3.7.2 显微组织特征	114
3.7.3 形成机理	115
3.7.4 氧化膜防止措施	115
3.7.5 氧化膜对制品性能的影响	116
3.8 白亮点	116
3.8.1 宏观组织特征	116
3.8.2 显微组织特征	117
3.8.3 形成机理	117
3.8.4 白亮点防止措施	117
3.8.5 白亮点对制品性能的影响	117
3.9 白斑	117
3.9.1 白斑的组织特征	117
3.9.2 形成机理	118
3.9.3 防止措施	118
3.9.4 白斑对制品性能的影响	118
3.10 光亮晶粒	119
3.10.1 宏观组织特征	119
3.10.2 显微组织特征	119
3.10.3 形成机理	120
3.10.4 防止措施	120
3.10.5 光亮晶粒对制品性能的影响	120
3.11 羽毛状晶	120
3.11.1 羽毛状晶宏观组织特征	121
3.11.2 羽毛晶显微组织特征	121
3.11.3 羽毛晶形成机理	121
3.11.4 羽毛晶防止措施	122
3.11.5 羽毛晶对制品性能的影响	122
3.12 粗大晶粒	122
3.12.1 宏观组织特征	122
3.12.2 显微组织特征	123
3.12.3 形成机理	123

3. 12. 4	粗大晶粒防止措施	123
3. 12. 5	粗大晶粒对制品性能的影响	123
3. 13	晶层分裂	124
3. 13. 1	宏观组织特征	124
3. 13. 2	显微组织特征	125
3. 13. 3	晶层分裂形成机理	125
3. 13. 4	防止措施	125
3. 13. 5	晶层分裂对制品性能的影响	125
3. 14	粗大金属化合物	126
3. 14. 1	宏观组织特征	126
3. 14. 2	显微组织特征	127
3. 14. 3	形成机理	127
3. 14. 4	防止措施	128
3. 14. 5	粗大金属化合物对制品性能的影响	128
3. 15	裂纹	128
3. 15. 1	冷裂纹	129
3. 15. 2	热裂纹	130
3. 15. 3	中心裂纹	131
3. 15. 4	环状裂纹	132
3. 15. 5	放射状裂纹	132
3. 15. 6	表面裂纹	133
3. 15. 7	横向裂纹	133
3. 15. 8	底部裂纹	133
3. 15. 9	浇口裂纹	134
3. 15. 10	晶间裂纹	134
3. 15. 11	侧面裂纹	134
3. 16	冷隔	135
3. 16. 1	宏观组织特征	135
3. 16. 2	显微组织特征	135
3. 16. 3	形成机理	135
3. 16. 4	防止措施	136

3.16.5 冷隔对制品性能的影响	136
3.17 断流冷隔	136
3.18 竹节	136
3.19 拉痕和拉裂	137
3.19.1 组织特征	137
3.19.2 形成机理	137
3.19.3 防止措施	137
3.19.4 拉痕和拉裂对制品性能的影响	138
3.20 竖道皱褶	138
3.21 弯曲	139
3.21.1 形成原因及防止措施	139
3.21.2 对制品性能的影响	139
3.22 偏心	139
3.22.1 形成原因及防止措施	139
3.22.2 对制品性能的影响	139
3.23 尺寸不符	139
3.24 周期性波纹	140
3.25 枞树组织	140
3.25.1 枞树组织的宏观组织特征	140
3.25.2 枞树组织的显微组织特征	141
3.25.3 枞树组织的形成机理	141
3.25.4 枞树组织的防止措施	141
3.26 表面气泡	141
3.26.1 宏观组织特征	141
3.26.2 显微组织特征	141
3.26.3 形成机理	142
3.26.4 表面气泡防止措施	143
3.26.5 表面气泡对制品性能的影响	143
4 铝合金管、棒、型、线材缺陷分析与质量控制	144
4.1 挤压工序的主要缺陷分析及质量控制方法	144

4.1.1	缩尾	144
4.1.2	粗晶环	146
4.1.3	成层	148
4.1.4	焊合不良	149
4.1.5	挤压裂纹	150
4.1.6	气泡	151
4.1.7	起皮	152
4.1.8	划伤	152
4.1.9	磕碰伤	153
4.1.10	擦伤	154
4.1.11	模痕	155
4.1.12	扭拧、弯曲、波浪	155
4.1.13	硬弯	156
4.1.14	麻面（表面粗糙）	157
4.1.15	金属压入	158
4.1.16	非金属压入	159
4.1.17	表面腐蚀	159
4.1.18	橘皮	160
4.1.19	凹凸不平	161
4.1.20	振纹	161
4.1.21	夹杂	162
4.1.22	水痕	162
4.1.23	间隙（平面间隙）	163
4.1.24	壁厚不均	163
4.1.25	扩（并）口	164
4.1.26	矫直痕	165
4.1.27	停车痕、瞬间印痕、咬痕	165
4.1.28	内表面擦伤	166
4.1.29	力学性能不合格	167
4.1.30	铝合金热挤压无缝管材（厚壁管、异形管） 常见缺陷分析	167

4.2 铝合金管材冷轧工序主要缺陷分析及质量控制方法	169
4.2.1 压坑（或金属压入）	169
4.2.2 裂口、裂纹	170
4.2.3 耳子	171
4.2.4 飞边	172
4.2.5 内表面波浪	173
4.2.6 孔型啃伤	174
4.2.7 棱子	174
4.2.8 横向壁厚不均	174
4.2.9 纵向壁厚不均	175
4.2.10 壁厚超差	176
4.2.11 管材椭圆	176
4.2.12 表面圆环	176
4.2.13 外表面波浪	177
4.2.14 表面划伤、擦伤	178
4.3 铝合金管、棒、线材冷拔工序主要缺陷分析与质量控制	178
4.3.1 铝合金管材冷拔时的主要缺陷分析和质量控制	179
4.3.2 铝合金棒、线材冷拔工序常见的缺陷及防止方法	180
4.4 铝合金管、棒、型、线材的质量检测与质量控制	181
4.4.1 概述	181
4.4.2 挤压工序检验与质量控制	182
4.4.3 管、棒、型、线材组织性能检验取样 规定与审查处理	189
4.4.4 挤压材成品检查与质量控制	192
5 铝合金板、带、箔材缺陷分析与质量控制	193
5.1 铝合金铸轧制品缺陷分析与质量控制	193
5.1.1 夹杂	193
5.1.2 热带	194
5.1.3 气道	195
5.1.4 偏析	196

5.1.5	粗大晶粒	197
5.1.6	板形	198
5.1.7	裂纹	200
5.1.8	粘辊	201
5.1.9	表面条纹	202
5.2	铝合金热轧制品的缺陷分析与质量控制	203
5.2.1	铝合金热轧制品的质量控制	203
5.2.2	铝合金热轧工序常见缺陷与控制	206
5.3	铝合金中厚板的缺陷分析与质量控制	214
5.3.1	铝合金中厚板的主要缺陷分析	214
5.3.2	铝合金热轧中厚板材的检验与质量控制	224
5.4	铝合金冷轧板带材的缺陷分析与质量控制	234
5.4.1	铝合金冷轧板带材的缺陷分析	234
5.4.2	铝合金冷轧板、带材的质量控制	248
5.5	铝箔的主要缺陷及质量控制	251
5.5.1	铝箔的质量控制	251
5.5.2	箔材主要缺陷分析	252
6	铝合金锻件的缺陷分析与质量控制	262
6.1	铝合金锻件缺陷分析	262
6.1.1	铝合金锻件缺陷分类	262
6.1.2	铝合金锻件原材料引起的锻件缺陷及控制	263
6.1.3	锻造过程中缺陷的产生原因及预防措施	266
6.1.4	加热及热处理类缺陷及控制	277
6.1.5	其他工序产生的缺陷及控制	280
6.2	铝合金锻件质量检验的内容和方法	284
6.3	铝合金锻件检验及质量控制	286
6.3.1	锻件设计过程中的质量控制	286
6.3.2	锻造坯料的质量检验和控制	288
6.3.3	备料工序检验与质量控制	290
6.3.4	生产工艺编制过程的质量控制	291

6.3.5 锻造前加热工序的检验与质量控制	292
6.3.6 锻模的检验及质量控制	294
6.3.7 锻造过程各工序的检验与质量控制	300
6.3.8 模锻件切边、洗修及淬火前工序检验与质量控制	302
6.3.9 热处理工序检验与质量控制	304
6.3.10 组织、性能检验和取样规定及审查处理	310
6.3.11 锻件成品检验与质量控制	314
6.3.12 技术文件的控制	319
7 铝合金加工材热处理、精整和检查工序的缺陷分析与 质量控制	320
7.1 常见的缺陷(废品)或问题及防止的方法	320
7.1.1 热处理过程中常见的缺陷(废品)及控制方法	320
7.1.2 制品精整矫直工序中常见的缺陷及 防止与控制措施	326
7.1.3 检查工序常出现的质量问题及控制方法	332
7.2 质量控制举例(以铝合金热轧中厚板为例)	334
7.2.1 中厚板热处理工序检验与质量控制	334
7.2.2 中厚板精整工序检验与质量控制	336
7.2.3 中厚板材成品验收工序检验与质量控制	341
7.2.4 中厚板材组织性能检验取样规定与审查处理	345
7.2.5 中厚板板材成品检查程序	347
8 其他铝合金加工材料的缺陷分析与质量控制举例	348
8.1 铝及铝合金粉材的主要缺陷及质量控制	348
8.1.1 铝及铝合金粉材的生产工艺流程	348
8.1.2 粉材废品(缺陷)分类及产生原因与控制方法	349
8.2 铝及铝合金粉材的检查与质量控制	354
8.2.1 粉材的检查规则	354
8.2.2 粉材取样规定	354
8.2.3 粉材检测内容与方法	355

8.3 铝及铝合金挤压材表面处理过程出现的缺陷分析与 质量控制	359
8.3.1 机械磨光、抛光处理中常出现的缺陷及控制对策	359
8.3.2 铝型材化学抛光与电化学抛光处理中 常见缺陷及控制对策	360
8.3.3 铝型材阳极氧化着色产品的主要缺陷分析与对策	363
8.3.4 电泳涂装发生的缺陷	377
8.3.5 铝合金建筑型材静电粉末涂装常见 缺陷及质量控制	382
8.3.6 液相静电喷涂涂层常见缺陷分析及控制措施	386
参考文献	388