

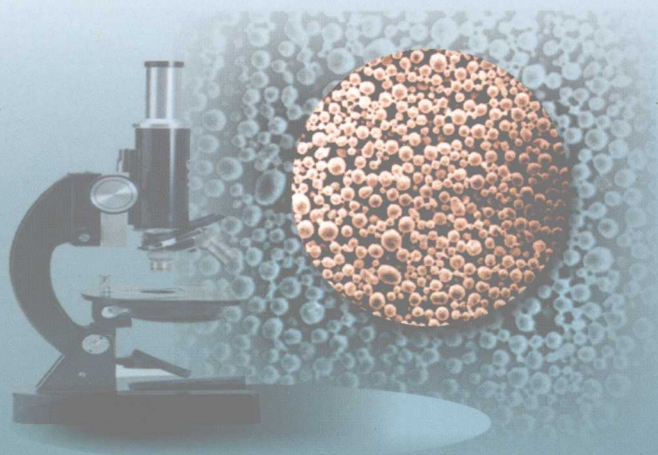
现代铝加工生产技术丛书

主编 钟利 赵世庆

铝及铝合金粉材生产技术

LÜ JI LÜHEJIN FENCAI SHENGCHAN JISHU

宋晓辉 吕新宇 谢水生 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

现代铝加工生产技术丛书

主编 钟 利 赵世庆

铝及铝合金粉材生产技术

宋晓辉 吕新宇 谢水生 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2008

内 容 简 介

本书是《现代铝加工生产技术丛书》之一,详细介绍和论述了铝粉的性能、生产工艺、设备、检测、危险事项等。全书共分13章,内容包括:绪论、铝粉的性能、铝粉性能的测量、铝粉的雾化、铝粉的研磨、铝粉的冲击粉碎、铝粉的分级、铝粉的改性、铝粉的脱水、铝粉的干燥、铝粉的制备与加工、铝粉生产的安全与防护、铝粉生产技术的发展趋势等。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

铝及铝合金粉材生产技术/宋晓辉等编著. —北京:冶金工业出版社, 2008. 8

(现代铝加工生产技术丛书)

ISBN 978-7-5024-4642-0

I. 铝… II. 宋… III. 铝粉—生产工艺 IV. TQ624

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 112539 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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 王雪涛 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4642-0

北京鑫正大印刷有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 8 月第 1 版, 2008 年 8 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 6.875 印张; 200 千字; 200 页; 1-3000 册

25.00 元

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 (100711) 电话: (010) 65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

《现代铝加工生产技术丛书》

编辑委员会

主 编	钟 利	赵世庆		
常务副主编	谢水生	刘静安		
副 主 编	吕新宇	尹晓辉	李建荣	熊柏青
编 委	杨焕文	吴小源	李学朝	
	(按姓氏笔画排列)			
	马英义	王华春	尹晓辉	方清万
	王德满	田 树	左宏卿	李 迅
	李 响	李学朝	李建荣	李念奎
	李建湘	刘 庆	刘玉珍	刘志铭
	刘静安	朱 毅	闫维刚	吕新宇
	何 峰	吴小源	陈昌云	陈思仁
	杨志兵	杨焕文	张宏伟	张登科
	宋晓辉	苏堪祥	周 江	单长智
	范生艳	武红林	周学博	钟 利
	侯 绎	侯 波	姜文举	赵世庆
	郭金龙	贺金宇	段瑞芬	凌 杲
	聂 波	唐 剑	黄 凯	黄国杰
	谢水生	谢延翠	谭学余	熊柏青
	樊建中	魏长传		

《现代铝加工生产技术丛书》

主要参编单位

东北轻合金有限责任公司

西南铝业（集团）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

《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可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产业也掀起了第三次发展高潮。2007 年，世界原铝产量达 3880 万 t（其中：废铝产量 1700 万 t），铝消费总量达 4275 万 t，创历史新高；铝加工材年产量达 3200 万 t，仍以 5%~6% 的年增长率递增；我国原铝年产量已达 1260 万 t（其中：废铝产量 250 万 t），连续五年位居世界榜首；铝加工材年产量达 1176 万 t，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、华北铝业有限责任公司的代表。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。

《现代铝加工生产技术丛书》编委会

2008 年 6 月

前言

铝粉作为铝合金材料的一个分支，具有一定的特殊性，它既具有粉末冶金材料的特征，又具有化学品的特点。这门技术涉及到粉末冶金学、选矿学、流体动力学、表面化学等多门学科，多年来一直属于边缘学科。近年来随着铝粉材料应用领域的逐渐扩大，这一特种材料加工技术不断提高并受到人们的重视。

本书详细介绍了铝粉的性能、生产工艺、设备、检测、危险事项等。全书共分 13 章，内容包括：绪论、铝粉的性能、铝粉性能的测量、铝粉的雾化、铝粉的研磨、铝粉的冲击粉碎、铝粉的分级、铝粉的改性、铝粉的脱水、铝粉的干燥、铝粉的制备与加工、铝粉生产的安全与防护、铝粉生产技术的发展趋势等。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。

本书第 4~12 章由宋晓辉编写，第 1、2、3、13 章由吕新宇编写，全书最后由谢水生教授审定。由于铝粉材技术涉及学科较多，书中的阐述未必全面、详细和透彻，望读者多提宝贵意见。

本书在编写过程中，得到了东北轻合金有限责任公司的支持以及我们的同事、朋友和家人的关心和帮助，同时书中参阅了国

内外有关专家、学者的一些文献资料，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，敬请广大读者批评指正。

作 者

2008 年 6 月

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 铝粉的应用	2
1.3 铝粉的制备	3
1.4 铝粉的分类	3
2 铝粉的性能	5
2.1 铝粉的一般性能	5
2.2 颗粒形状	10
2.2.1 形状指数	10
2.2.2 形状系数	11
2.3 粒度分布	12
2.3.1 粒度	12
2.3.2 粒度分布表示方法	13
2.4 密度	15
2.5 盖水面积	16
2.6 附着率(漂浮力)	17
2.7 化学性能	17
3 铝粉性能的测量	18
3.1 铝粉试样的制备	18
3.1.1 取样规则	18
3.1.2 试样的缩分	19
3.2 颗粒形状检测	19
3.3 粒度分布测定	20
3.3.1 筛分析法	20

3.3.2	沉降法	24
3.3.3	激光法测定粒度分布	29
3.3.4	各种粒度测试方法的优缺点	32
3.4	密度测定	33
3.4.1	松装密度测定	33
3.4.2	振实密度测定	35
3.5	盖水面积的测定	35
3.5.1	干磨铝粉盖水面积的测定	35
3.5.2	铝粉浆水面遮盖力的测定	35
3.6	附着率(漂浮力)的测定	36
3.6.1	干式球磨铝粉附着率的测定	36
3.6.2	湿磨铝粉浆漂浮力的测定	37
3.7	制漆外观的测定	37
3.8	化学性能的测定	37
3.8.1	活性的测定	37
3.8.2	铝含量的测定	39
3.8.3	油脂及溶剂含量的测定	39
3.8.4	水含量的测定	41
3.8.5	铜、硅、铁、锰、锌、氯含量测定	42
3.8.6	铅(Pb)含量测定	45
4	铝粉的雾化	46
4.1	气体雾化法工作原理	48
4.2	雾化器	49
4.3	气体雾化工艺理论计算	50
5	铝粉的研磨	53
5.1	研磨理论	53
5.1.1	面积说	54
5.1.2	体积说	55
5.1.3	裂缝说	56

5.2 研磨机械的分类	57
5.2.1 按磨机长度分类	57
5.2.2 按磨机内装入的研磨介质形状分类	57
5.2.3 按传动方式分类	58
5.2.4 其他分类	59
5.3 球磨机的工作原理	59
5.4 球磨机的结构	60
5.4.1 筒体	60
5.4.2 衬板	61
5.4.3 橡胶衬板	63
5.5 球磨机工艺参数的确定	64
5.5.1 筒体转速的计算	64
5.5.2 装球量的计算	67
5.5.3 钢球尺寸	68
5.5.4 钢球配比	71
5.6 搅拌球磨机	73
5.7 振动球磨机	75
6 铝粉的冲击粉碎	77
6.1 粉碎原理	77
6.2 粉碎机械	78
6.2.1 锤式破碎机	78
6.2.2 涡流粉碎机	79
7 铝粉的分级	81
7.1 筛分分级	82
7.1.1 自定中心振动筛	83
7.1.2 旋振筛	86
7.2 重力分级	88
7.2.1 湿式重力分级	89
7.2.2 干式重力分级	90

7.3 离心分级	92
7.3.1 水力旋流器	92
7.3.2 旋风分离器	95
7.4 组合式分级	98
7.4.1 粗分离器	98
7.4.2 强制涡分级机	100
7.4.3 卧式螺旋分级机	101
8 铝粉的改性	104
8.1 改性机制	104
8.2 常用改性剂	106
8.2.1 烃类	107
8.2.2 脂肪酸	108
8.2.3 其他改性剂	109
8.3 改性方法	110
8.3.1 包覆处理改性	110
8.3.2 沉淀包膜改性	111
8.3.3 表面化学改性	111
8.3.4 机械力化学改性	111
8.3.5 高能处理改性	112
8.3.6 胶囊化改性	112
8.4 影响粉体表面改性效果的主要因素	112
8.4.1 粉体原料的性质	112
8.4.2 表面改性剂配方	113
8.4.3 表面改性剂的选择	113
8.4.4 表面改性剂的用量	114
8.4.5 表面改性剂的使用方法	115
8.4.6 表面改性工艺	116
8.5 表面改性设备	117
8.5.1 捏合机	118
8.5.2 抛光机	119

9 铝粉的脱水（固液分离）	121
9.1 浓密	121
9.2 过滤	121
9.2.1 过滤的基本原理	121
9.2.2 过滤的方法和设备	124
9.3 影响固液分离的主要因素	126
10 铝粉的干燥	127
10.1 干燥原理	127
10.2 湿物料的干燥过程	128
10.3 干燥方法	131
10.4 干燥设备选型	131
10.4.1 干燥机选型注意事项	132
10.4.2 影响干燥机生产能力的因素	133
10.4.3 干燥设备选型计算	135
10.5 干燥操作的评价	136
10.6 干燥设备	136
10.6.1 箱式干燥机	137
10.6.2 双锥回转真空干燥机	137
10.6.3 真空耙式干燥机	138
11 铝粉的制备与加工	140
11.1 雾化法	140
11.1.1 空气雾化	140
11.1.2 惰性气体雾化工艺	142
11.2 研磨法	144
11.2.1 干式研磨工艺	144
11.2.2 湿式研磨工艺	148
11.3 铝镁合金粉制备工艺	150
11.3.1 铸造阶段	151
11.3.2 粉碎阶段	154

11.4 冲击粉碎	155
11.4.1 开路粉碎	156
11.4.2 闭路粉碎	157
12 铝粉生产的安全与防护	158
12.1 铝粉的危险特性	158
12.1.1 燃烧特性	159
12.1.2 爆炸特性	163
12.1.3 健康危害	164
12.2 铝粉的事故预防	165
12.2.1 预防原理	165
12.2.2 预防措施	165
12.2.3 人身防护	167
12.3 铝粉的事故救援	167
12.3.1 铝粉泄漏应急处理	167
12.3.2 自燃或爆炸应急处理	168
12.3.3 急救	168
13 铝粉生产技术的发展趋势	170
13.1 新型雾化技术	170
13.1.1 层流雾化技术	170
13.1.2 超声紧耦合雾化技术	171
13.1.3 热气体雾化技术	171
13.2 闪光铝粉加工技术	172
13.3 水性铝颜料生产技术	172
13.3.1 添加剂技术	173
13.3.2 包覆技术	173
13.4 多彩铝粉技术	174
13.5 全球涂料行业用金属颜料新产品研发动态	176
附录	179
附录 A 铝镁粉加工粉尘防爆安全规程	179
附录 B 粉尘防爆安全规程	192
参考文献	199

1 绪 论

1.1 概述

铝及铝合金粉材是以金属铝为主要成分,根据不同用途,适当加入其他成分,采用不同的加工方法制备而成的金属粉末,其外形尺寸一般小于 $1000\mu\text{m}$ 。通常把纯铝为原料制备加工而成的粉末称为铝粉,铝和其他合金制备成的粉末称为铝合金粉。铝及其合金粉末一般是银灰色颗粒,形状有球形、准球形、粒状、片状和纤维状等。

铝粉的制备技术是粉末冶金加工技术的一部分。20 世纪初,金属粉体的雾化加工技术脱颖而出,并自成体系发展起来。由于雾化铝粉工艺的成熟,为球磨工艺提供了优质的原料。20 世纪 20 ~ 30 年代,正处于“二战”时期,由于武器弹药的大量使用,粉末需求量迅速增长,使铝粉的加工规模迅速扩大,促进了加工技术的逐渐成熟。50 ~ 60 年代,随着苏联对我国的大规模技术援助,在哈尔滨建成了我国第一家较大型的铝镁粉生产厂,这一项目被列为国家“一五”期间 156 项重点工程之一。经过四十多年的发展,在全国各地建起了多家大小不等的铝镁粉制备加工厂。

铝粉作为颜料已有 100 多年的历史,由于用途广、需求量大、品种多,成为金属颜料中的一大类。颜料用的铝粉主要是鳞片状的,也正是由于这种鳞片状的形态,使铝粉具有良好的金属色泽和屏蔽功能。最早是用捣冲法把铝碎屑加工成细小的片状铝粉,即把铝碎屑放在捣冲机的凹槽内,捣杵以机械振动方式连续冲打凹槽内的铝屑,在冲击下铝屑逐渐变成薄片并且破碎。在铝屑变得非常微薄细小后进行筛选,取出合乎要求的铝粉作为产品。捣冲法的生产效率很低,产品质量不易掌握,而且生产过程中粉尘很多,非常容易起火和爆炸。1894 年,德国 Hamtag 用球磨机生产铝粉,在球磨机内放入钢球、铝屑和润滑剂,利用飞动的钢球击碎铝屑之后成为鳞片状铝粉,在球磨