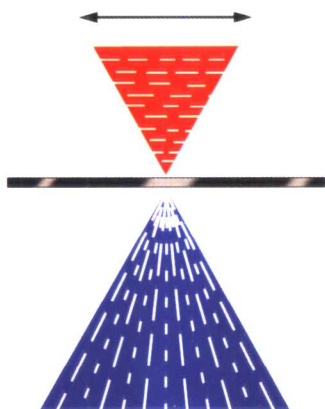


陈振华 著

多层喷射沉积 技术及应用

Multi-layer Spray Deposition Technology & Applications



湖南大学出版社

陈振华 著

多层喷射沉积 技术及应用

Multi-layer Spray Deposition Technology & Applications

湖南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多层喷射沉积技术及应用/陈振华著. —长沙:湖南
大学出版社, 2003. 10

ISBN 7-81053-612-5

I. 多... II. 陈... III. 喷射—沉积—技术
IV. TF111.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 088368 号

多层喷射沉积技术及应用

Multi-layer Spray Deposition Technology & Applications

陈振华 著

-
- | | |
|-------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 责任编辑 | 陈建华 |
| <input type="checkbox"/> 特邀编辑 | 袁作兴 |
| <input type="checkbox"/> 装帧设计 | 吴颖辉 |
| <input type="checkbox"/> 出版发行 | 湖南大学出版社
社址 长沙市岳麓山 邮码 410082
电话 0731-8821691 0731-8821593 |
| <input type="checkbox"/> 经 销 | 湖南省新华书店 |
| <input type="checkbox"/> 印 装 | 望城县湘江印刷厂 |
-

- | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|---|------|-----------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> 开本 | 880×1230 32 开 | <input type="checkbox"/> 印张 | 13.5 | <input type="checkbox"/> 字数 | 400 千 |
| <input type="checkbox"/> 版次 | 2003 年 10 月第 1 版 | <input type="checkbox"/> 2003 年 10 月第 1 次印刷 | | | |
| <input type="checkbox"/> 印数 | 1-3 000 册 | | | | |
| <input type="checkbox"/> 书号 | ISBN 7-81053-612-5/TG·5 | | | | |
| <input type="checkbox"/> 定价 | 38.00 元 | | | | |
-

(湖南大学出版社图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

**感谢华夏英才基金
的资助！**

**谨以此书献给黄
培云和赵新娜先生！**

前 言

喷射沉积是继铸造冶金和粉末冶金方法之后发展起来的第三类金属材料制备新方法。喷射沉积技术不仅克服了铸造冶金产品中成分偏析严重、性能低下的缺点,同时也克服了粉末冶金技术难于制备大件的困难及粉末氧化、脏化严重,产品塑性较低的缺点,是具有很强竞争力的新材料制备技术。采用喷射沉积技术可以制备出传统方法难以获得的高合金和超合金管、板、环、圆柱锭坯,不仅可以大幅度提升现有合金材料的力学性能,还可以开发新合金体系和制备金属基复合材料。近十几年来,喷射沉积技术在世界范围内获得了迅速发展,成为材料科学技术领域的研究热点和前沿课题,喷射沉积材料在航空、航天、汽车、兵器、交通等关键领域得到了广泛应用。随着现代科学技术的发展,传统的金属材料已经逐渐难以满足日益提高的需求,采用喷射沉积技术制备具有优异综合性能或特殊性能的金属结构材料及金属基复合材料有可能成为金属材料发展的主流方向。

为了解决我国列车、汽车、宇航、兵器等领域对大尺寸、高性能金属材料的需求问题,作者从20世纪80年代末期开始了喷射沉积新技术、材料及其应用的研究,并取得了很多具有原创性的标志性研究成果。作者和黄培云院士等人发明了一项喷射沉积新技术,即多层喷射沉积技术。该项技术具有喷射沉积坯冷速高、制备工件尺寸大、工艺操作简单、生产成本低、利于工业化生产等特点。采用自主发明的新技术及设备能够批量制备直径达 $\phi 3500\text{mm}$ 、壁厚200mm、高200mm以上的铝合金环件, $\phi_{\text{外}} 1300/\phi_{\text{内}} 600 \times 300\text{mm}$ 的铝基复合材料环件, $\phi_{\text{外}} 800/\phi_{\text{内}} 300 \times 1300\text{mm}$ 、重达1000kg的耐热铝合金和铝基复合材料管坯, $\phi 800 \times 900\text{mm}$ 的铝合金及其复合材料圆柱锭坯,这些都是目前国际上尺寸最大的铝合金及其复合材料喷射沉积坯件,并解决了喷射沉积坯的后

续加工成形技术难题,所研制出的铝合金及铝基复合材料的性能均达到了国际水平。多层喷射沉积技术和装置是我国学者在喷射沉积领域取得的一项重要知识产权,对于我国金属材料制备科学技术的发展具有重要意义。虽然国内外有关喷射沉积技术及材料的文献很多,但还没有一本全面介绍喷射沉积技术、理论、材料等方面的专著。为了全面、系统地总结这一研究成果,促进喷射沉积技术的进一步发展,作者出版了这本著作。本著作的主要特点是内容新颖、系统,理论与技术、研究与应用紧密结合,作者在介绍所取得的重要研究成果的同时,还对国内外相关的技术及进展作了相应介绍。

十多年来,参加此项研究工作的博士研究生有严红革、张豪、康智涛、袁武华、傅定发、蒋向阳、张福全等,硕士研究生有蒋宏、陈刚、吴仲海、赵礼颖、刘秋林、任胜钢、李小平、宁洪龙等。在书稿整理过程中得到了博士研究生陈吉华、全亚杰、王慧敏、陈鼎等人的协助,在此一并表示感谢。同时将此书献给我的导师黄培云教授和赵新娜教授,感谢他们多年来对我的培养和关心。

近年来,湖南大学材料科学与工程学院在快速凝固、喷射沉积、机械合金化、超微粉末与纳米材料、复合材料、陶瓷材料、炭素材料、材料表面科学、计算材料科学等领域的基础研究和制备技术以及工程化应用方面在国内外形成了特色并产生了一定的影响,计划将这些研究工作出版一套丛书以饕读者。

陈振华
2003年9月

本书主要符号说明

- A. 面积、表面积
C. 比热容
 C_p . 定压比热容
D. 旋转盘直径
 d . 粉末粒度、晶粒度
 d_m . 粉末中位径
 d_L . 金属液流直径
 d . 质量平均粒径
E. 弹性模量、自由能
F. 力、表面张力
f. 质量分数、体积分
GMR. 气体与液体质量流量比
H. 热焓
h. 导热系数、热换系数
k. 系数、热导率
 K_K . 断裂韧性
L. 液相、液体
M. 气体、金属液体质量流率
Ma. 马赫数
m. 质量
n. 转速
P. 压力
Nu. 努塞尔(Nusselt)数
Pe. 贝克莱特(Peclet)数
Pr. 普兰特(Prandtl)数
Q. 热量、流速
Re. 雷诺(Reynolds)数
R. 半径
T. 温度
t. 时间
V. 速度、体积、流速
We. 韦伯(Weber)数
wt%. 质量百分比
at%. 原子百分比
Z. 喷射高度
 λ . 波长、枝晶间距
 σ . 表面张力
 μ . 动力粘度
 ω . 角速度
 α . 雾化角度
 σ_b . 抗拉强度
 δ . 延伸率
 Ψ . 断面收缩率
v. 表面能
 σ_s . 屈服强度
 $\sigma_{0.2}$. 条件屈服强度
 ρ . 密度
 η . (粘结)效率
 γ . 界面能
下标:
max. 最大值
min. 最小值
g. 气体
s. 固体
l. 液体
c. 临界值
w. 水
f. 最可几值
d. 液滴
p. 颗粒

内 容 简 介

本书是关于喷射沉积技术的专著,介绍了喷射沉积工艺的发展、复合材料的喷射沉积制备工艺、喷射沉积理论和金属液体雾化技术及理论,特别是深入介绍了著者发明的一项喷射沉积新技术,即多层喷射沉积技术。

本书可供从事喷射沉积、金属基复合材料、金属液体雾化、粉末冶金、金属材料加工技术研究的工程技术及科研人员阅读,也可供大专院校冶金、材料、粉末冶金、塑性加工等专业的师生参考。

Introduction

Multi-layer Spray Deposition Technology & Its Applications is a monograph on spray deposition technology, involving progress in spray deposition process, spray deposition process for the preparation of composites and its theory, atomization technology and theory of molten metals. Especially a novel spray deposition technology, termed as multi-layer spray deposition, developed by the author, is deeply discussed.

The book is intended to offer instructions for technicians and researchers in the domains of spray deposition, metal matrix composite, molten metal atomization, powder metallurgy and metal forming, and provide reference for teachers and students in the fields of metallurgy, materials science, powder metallurgy and plastic deformation etc. .

目 次

前 言

第 1 章 金属液体喷射沉积工艺的进展

1.1 喷射沉积工艺的发展及现状	(1)
1.2 喷射沉积工艺的基本原理和特点	(4)
1.2.1 基本原理	(4)
1.2.2 喷射沉积工艺的主要特点	(6)
1.3 喷射沉积工艺和装置	(9)
1.3.1 喷雾沉积	(10)
1.3.2 离心喷射沉积	(11)
1.3.3 喷射轧制	(12)
1.3.4 喷射锻造	(13)
1.3.5 喷射涂层	(14)
1.3.6 同时喷射喷丸	(15)
1.3.7 喷射沉积坯的快速原型技术	(16)
1.3.8 喷射共沉积法	(16)
1.3.9 反应喷射沉积	(18)
1.4 喷射沉积的一些重要专利和技术简介	(22)
1.4.1 扫描喷嘴和金属液粒扫描系统	(22)
1.4.2 增加喷射沉积坯的冷速和过喷料重新返喷系统	(23)
1.4.3 ECS 工艺和 Spraycast-X 工艺	(24)
1.4.4 多程喷射沉积技术	(25)

1.5 喷射沉积材料	(26)
1.5.1 铁基合金	(26)
1.5.2 铝合金	(32)
1.5.3 铜合金	(42)
1.5.4 镁合金	(44)
1.5.5 贵金属领域	(47)
参考文献	(47)

第2章 喷射共沉积制备颗粒增强金属基复合材料

2.1 颗粒增强金属基复合材料的制备方法简述	(56)
2.1.1 固相工艺	(56)
2.1.2 液相工艺	(58)
2.1.3 液-固两相工艺	(59)
2.2 喷射共沉积制备颗粒增强金属基复合材料的原理 与特点	(60)
2.2.1 增强颗粒的插入动力学过程	(61)
2.2.2 颗粒插入过程的物理模型	(64)
2.2.3 颗粒插入深度	(71)
2.2.4 影响陶瓷颗粒插入行为的因素	(71)
2.2.5 增强颗粒插入固态粉末	(74)
2.2.6 凝固前沿对增强颗粒的捕获机制	(75)
2.2.7 增强颗粒与基体间的传热及凝固过程	(81)
2.3 喷射共沉积技术研究现状	(84)
2.3.1 喷射共沉积装置的研究与应用	(84)
2.3.2 喷射沉积制备 MMCs 技术的其他方法	(91)
2.3.3 喷射共沉积颗粒增强金属基复合材料的研究与 应用	(92)
2.4 喷射共沉积技术的特点和优越性	(104)
参考文献	(106)

第3章 金属液体的雾化技术

3.1 金属液体的主要雾化方法	(113)
3.1.1 双流雾化法	(113)
3.1.2 真空雾化	(115)
3.1.3 离心雾化法	(116)
3.1.4 机械等作用力雾化法	(118)
3.1.5 多级雾化法	(119)
3.1.6 一种新的金属液体雾化法——固体雾化法	(120)
3.2 影响雾化粉末性能的工艺参数	(123)
3.2.1 雾化介质的压力和速度	(123)
3.2.2 雾化流体与金属液体的质量流量比	(126)
3.2.3 金属液体和雾化介质的物理性能	(126)
3.2.4 离心雾化工艺参数对粉末性能的影响	(129)
3.3 雾化喷嘴的结构	(130)
3.3.1 喷嘴结构的分类	(130)
3.3.2 雾化喷嘴结构对粉末性能和雾化工艺的影响	(135)
参考文献	(138)

第4章 金属液体的雾化理论

4.1 金属液体双流雾化的破碎机理	(140)
4.2 金属液体双流雾化模型	(141)
4.2.1 金属液体双流雾化的理论模型	(142)
4.2.2 金属液体雾化的经验方程	(146)
4.3 金属液体离心雾化的破碎机理	(149)
4.4 离心雾化液粒的尺寸	(152)
参考文献	(153)

第 5 章 喷射沉积过程理论研究的进展

5.1 喷射沉积过程原理和控制参量	(157)
5.2 喷射沉积过程的物理模型	(158)
5.2.1 整体过程与子过程	(158)
5.2.2 雾化模型	(159)
5.2.3 喷射模型和凝固模型	(161)
5.2.4 颗粒固结模型	(168)
5.2.5 形状模型	(169)
5.2.6 结构模型	(171)
参考文献	(173)

第 6 章 多层喷射沉积的装置和原理

6.1 多层喷射沉积的提出	(176)
6.2 多层喷射沉积技术及装置	(178)
6.3 多层喷射沉积过程原理分析	(181)
6.3.1 金属液滴的沉积轨迹	(181)
6.3.2 沉积层与基体及沉积层之间的粘结问题	(182)
6.3.3 沉积层的凝固规律	(182)
6.3.4 热应力问题	(183)
6.3.5 沉积密度与冷却速度	(184)
6.4 多层喷射沉积技术的应用	(184)
6.4.1 8009 铝合金管坯的制备	(184)
6.4.2 8009 铝合金板坯的制备	(185)
6.4.3 7093Al/15%SiC 复合材料的制备	(186)
6.5 多层喷射沉积与多程喷射沉积的区别	(187)
6.6 多层喷射沉积工艺的特点	(188)
参考文献	(189)

第 7 章 坩埚移动式喷射共沉积制取铝基复合材料

7.1 坩埚移动式喷射共沉积制备复合材料的装置和方法	(191)
7.1.1 传统的喷射共沉积装置与坩埚移动式喷射共沉积装置的比较	(191)
7.1.2 颗粒增强相加入方式和装置	(191)
7.2 喷射共沉积制备 SiC 颗粒增强铝基复合材料的规律	(193)
7.2.1 SiC 增强颗粒的捕获与分布	(193)
7.2.2 喷射共沉积传热与凝固特征分析	(196)
7.2.3 喷射沉积工艺参数对复合材料制备的影响	(197)
7.2.4 复合材料的后续处理	(202)
7.3 SiC 颗粒增强铝基复合材料	(213)
7.3.1 6000Al/SiC _p 复合材料制备	(213)
7.3.2 Al-8Fe-1V-2Si/SiC _p 和 7075 Al/SiC _p 复合材料的制备	(215)
参考文献	(216)

第 8 章 多层喷射沉积的传热凝固规律

8.1 Grant P S 理论简介	(217)
8.1.1 液相冷却	(219)
8.1.2 形核和再辉	(219)
8.1.3 偏析凝固	(220)
8.1.4 共晶凝固	(220)
8.1.5 固相冷却	(221)
8.2 多层喷射沉积过程雾化阶段的传热凝固规律	(222)
8.2.1 对流传热系数的计算	(222)
8.2.2 颗粒固相分数的计算	(223)
8.2.3 颗粒飞行速度与时间	(223)
8.2.4 气流飞行速度变化	(224)

8.3 多层喷射沉积过程沉积阶段的传热凝固规律	(224)
8.3.1 移动的雾化溅射斑	(224)
8.3.2 沉积坯的冷速计算	(226)
参考文献	(230)

第 9 章 多层喷射沉积制备大尺寸坯件的原理及工艺

9.1 多层喷射沉积制备大尺寸管坯的设备、原理和工艺	(232)
9.1.1 Osprey 制备管坯技术	(232)
9.1.2 多层喷射沉积制备管坯原理	(233)
9.1.3 多层喷射沉积制备大尺寸管坯工艺	(233)
9.1.4 大尺寸管坯的组织结构和性能	(239)
9.2 多层喷射沉积制备大尺寸圆柱坯工艺及材料性能	(244)
9.2.1 垂直喷射与倾斜喷射制备圆柱坯比较	(244)
9.2.2 多层喷射沉积制备圆柱坯原理	(246)
9.2.3 制坯工艺	(246)
9.2.4 大尺寸圆柱坯的显微结构及致密后性能	(251)
9.3 多层喷射沉积板坯制备工艺及材料性能	(254)
9.3.1 Osprey 制备板坯原理	(254)
9.3.2 多层喷射沉积制备板坯原理及设备	(255)
9.3.3 制坯工艺	(256)
9.3.4 多层喷射沉积耐热铝合金板坯的显微结构和力学性能	(258)
参考文献	(261)

第 10 章 多层喷射沉积坯的热致密化

10.1 多孔材料的变形理论概论	(263)
10.1.1 粉末压制成形中的致密化理论	(264)
10.1.2 多孔预成形坯的致密化及变形理论	(267)

10.1.3	多孔材料的断裂机理	(273)
10.2	耐热铝合金大尺寸管坯的挤压成形	(275)
10.2.1	大尺寸耐热铝合金管坯的挤压	(276)
10.2.2	耐热铝合金挤压管材的微观组织和性能	(280)
10.3	耐热铝合金挤压管的旋压成形	(286)
10.3.1	大尺寸耐热铝合金挤压管的旋压工艺和规程	(286)
10.3.2	耐热铝合金旋压管的微观组织和性能	(290)
10.4	耐热铝合金挤压块料的锻造和轧制	(293)
10.4.1	耐热铝合金挤压管材切割块料的锻造和轧制 工艺	(293)
10.4.2	耐热铝合金板材的微观组织和性能	(293)
10.5	耐热铝合金多孔板坯的轧制成形	(296)
10.5.1	多层喷射沉积坯包套轧制工艺	(296)
10.5.2	热轧温度与变形控制	(299)
10.5.3	轧制板材的微观组织与力学性能	(301)
10.6	耐热铝合金多孔坯轧制板材的冲压成形	(302)
	参考文献	(303)

第 11 章 喷射沉积坯的半固态成形

11.1	喷射沉积坯的半固态加工技术发展概况	(305)
11.1.1	半固态加工技术的发展	(305)
11.1.2	半固态加工技术的特点	(306)
11.1.3	喷射沉积与半固态加工技术的结合	(307)
11.2	喷射沉积坯的半固态成形实验方案	(308)
11.2.1	半固态加工过程中组织变化	(308)
11.2.2	半固态压铸或挤压	(309)
11.3	沉积坯等温处理	(310)
11.3.1	6066 铝合金的等温处理	(310)
11.3.2	6066 Al/5% SiC _p 复合材料的等温处理	(314)

11.4	沉积坯半固态压铸	(316)
11.4.1	6066Al 和 6066Al/5% SiC _p 的半固态压铸	(316)
11.4.2	6061Al 和 6061Al/5% SiC _p 的半固态压铸	(320)
11.5	半固态挤压	(322)
11.5.1	成形性	(322)
11.5.2	显微组织与力学性能	(322)
	参考文献	(328)

第 12 章 多层喷射沉积制备高硅铝合金

12.1	快速凝固铝硅合金概述	(330)
12.2	多层喷射沉积高硅铝合金的制备	(333)
12.2.1	工艺参数对沉积坯状态的影响	(333)
12.2.2	高硅铝合金雾化粉末特性	(335)
12.2.3	沉积坯的显微组织	(338)
12.3	多层喷射沉积高硅铝合金后续致密化	(340)
12.3.1	热压	(341)
12.3.2	热挤压	(342)
12.4	多层喷射沉积高硅铝合金热处理	(345)
12.4.1	时效温度及时间对合金硬度的影响	(346)
12.4.2	时效对合金强度的影响	(347)
12.4.3	热处理后合金的微观组织	(348)
12.5	多层喷射沉积高硅铝合金的力学性能	(350)
12.5.1	合金的力学性能	(350)
12.5.2	合金断口分析	(351)
12.6	合金耐磨性研究	(354)
	参考文献	(358)