

大尺寸多层喷射沉积 6066Al/ SiC_p/ Gr 复合材料管坯的制备

康智涛, 陈振华, 傅定发, 袁武华, 陈 刚

(中南大学 材料科学与工程系, 湖南 长沙 410083)

摘要: 采用多层喷射沉积技术与双喷嘴雾化系统制备了外径为 650 mm, 内径为 300 mm, 长为 800 mm 的大尺寸 6066Al/ SiC_p/ Gr 颗粒增强复合材料管坯, 并成功挤压外径为 350 mm, 内径为 250 mm 的管材. 在大尺寸管坯制备工艺中, 喷射距离较短, 金属液流率较大, 以保证喷射流具有较高液相比, 与固相沉积坯表面结合良好, 避免层间开裂. 与传统喷射沉积工艺相比, 多层喷射沉积复合材料坯冷速较高, 但致密度稍低, 平均致密度约为 (88 ± 3)%. 采用双环复合雾化器结构以粉包液的方式在雾化前加入增强颗粒, 操作简单, 影响工艺因素少, 能实现增强颗粒的均匀连续加入, 适用于大尺寸喷射沉积复合材料的连续制备. 分析了多层喷射沉积大型管坯制备工艺中有待解决的一些问题, 为工业化制备大尺寸喷射沉积复合材料奠定了实验基础.

关键词: 多层喷射沉积; SiC 颗粒; 铝基复合材料

中图分类号: TG132

文献标识码: A

文章编号: 1005-9792(2001)02-0165-04

金属基复合材料具有优异的物理和力学综合性能, 如优良的强度、刚度、抗蠕变、耐磨损、低密度、可控膨胀等, 成为近年来高技术新材料研究开发的重要领域. 颗粒增强型金属基复合材料由于具有低成本、高性能的优点, 应用前景十分广阔. 采用喷射共沉积技术制备颗粒增强金属基复合材料具有其它方法无法比拟的优点, 因而成为近年来研究的热点^[1~3]. 运用该技术可以获得微细化的快速凝固组织, 实现增强颗粒在基体中的均匀分布, 有效防止陶瓷颗粒与基体金属间的有害界面反应, 可直接从熔体经雾化沉积制备复合材料坯, 工艺简单, 成本较低, 基本上消除了金属粉末表面的氧化、脏化现象, 材料性能良好; 此外, 还能制备难成形材料, 如 TiAl, NiAl 等金属间化合物为基体的近成形件. 国外许多公司已能实现喷射沉积颗粒增强铝基复合材料的工业化生产, 而我国在这方面的研究尚处于起步阶段. 作者在较小规格喷射沉积复合材料制备与性能系统研究的基础上, 试图解决大尺寸喷射沉积复合材料的成形问题, 制备大直径厚壁多层喷射沉积复合材料管坯, 以挤压成外径为 300 mm 级的复合材料管材.

1 多层喷射共沉积装置与技术

1.1 多层喷射沉积制管设备系统

大型多层喷射沉积管坯制备系统为自行设计加工的专利设备.

1.2 增强颗粒的输送与加入装置

增强颗粒的输送与加入是大尺寸喷射共沉积复合材料坯制备中的关键技术. 颗粒的输送要求连续量化, 而颗粒的加入则要求其均匀分布于基体合金中. 常用的加入方式有雾化锥外插管加入、液流雾化前粉包液加入和雾化前液包粉加入 3 种^[4,5]. 本实验中增强颗粒的输送与加入装置如图 1 和图 2 所示. 密闭贮料罐中的增强颗粒经螺杆系统送出, 再由氮气流以一定压力送入自行设计的双环复合雾化器. 增强颗粒的输送可半连续化, 其输送量由螺杆转速设定. 双环雾化器可使增强颗粒在金属液流被雾化前, 呈粉包液的方式加入基体合金中.

1.3 多层喷射共沉积技术

采用多层喷射共沉积技术制备颗粒增强复合材料时, 操作上只需将普通雾化器更换为与增强颗粒输送系统相连的双环雾化器, 其它技术过程与基体

收稿日期: 2000-04-12

基金项目: 国家“九五”科技攻关计划项目(95-Y5-005)

作者简介: 康智涛(1973-), 男, 湖南新化人, 中南大学博士研究生, 从事喷射沉积、快速凝固及复合材料研究.

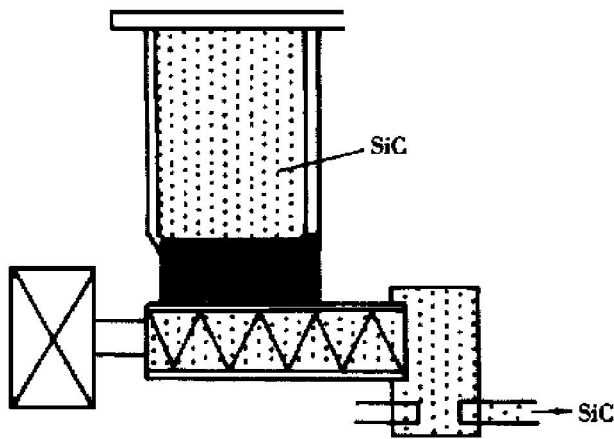


图 1 增强颗粒输送装置

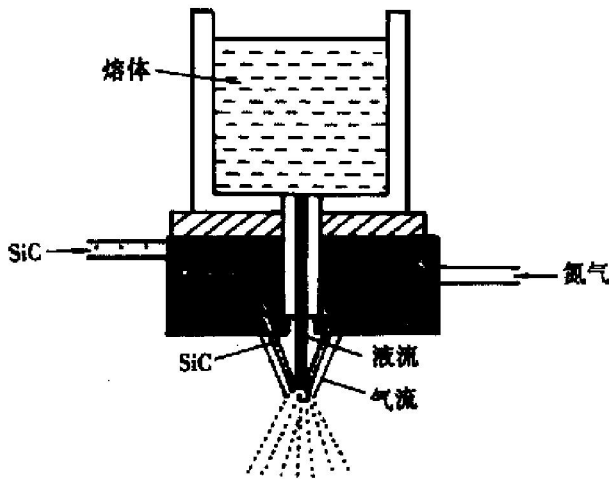


图 2 双环复合雾化器加入增强颗粒示意图

合金喷射沉积坯的制备基本相同。采用多层喷射沉积专利技术可以制备大尺寸的厚壁快速凝固喷射沉积管坯^[6,7]。此外,采用该技术制备颗粒增强复合材料,增强相分布更为均匀,制备的复合材料性能优异^[8,9]。

2 大尺寸 6066Al/SiC_p/Gr 复合材料管坯的制备过程

2.1 基本工艺参数

通过工艺优化,制备大尺寸喷射沉积复合材料管坯的基本工艺参数见表 1。

2.2 工艺过程

6066 铝合金配好料后于多个电阻炉中熔炼。20 μm 级 α 型 SiC 颗粒与 15 μm 级石墨颗粒经 20:1 (质量比)混料后于 200 °C 烘干,装入送粉系统贮料罐中待用。预先铸造纯铝基体管,加工至内径为 300 mm,厚为 15 mm,长为 300 mm,共 4 节,表面粗糙化处理并用丙酮清洗后,套于水冷旋转芯棒上连接成沉

积基体管,经环形加热炉预热至表面温度 400 °C 以上时准备喷射。采用 2 套雾化及送粉系统同时雾化沉积,以制备较长的喷射沉积复材管坯,两雾化器扫描总长度为 900 mm,间距为 450 mm。中间包加热至 900 °C,合金熔体不断从熔炉中手工转入中间包。在喷射沉积过程中,由于设备条件的限制,料、气、颗粒输送不能保证连续化供应,沉积过程分多次完成。随着管坯直径的增大,沉积坯缓慢下降,以维持恒定的喷射高度。最后制得外径为 650 mm,内径为 300 mm,平行段长度为 800 mm 的喷射沉积复合材料管坯。

表 1 大尺寸 6066Al/SiC_p/Gr 多层喷射沉积复材管坯制备工艺参数

金属雾化温度/°C	880~920
雾化压力/MPa	0.9~1.0
复合颗粒输送压力/MPa	0.4~0.5
金属液流直径/mm	4.0~4.2
单雾化器熔体流率/(kg·min ⁻¹)	5~6
喷射距离/mm	150~250
基体转速/(r·min ⁻¹)	60~180
往复扫描周期/s	30
雾化扫描总长度/mm	900
使用雾化器个数	2
雾化锥角/(°)	30

3 实验结果与分析

3.1 大尺寸复材管坯的喷射成形

采用表 1 工艺进行实验,成功制备了大尺寸的 6066Al/SiC_p/Gr 复合材料喷射沉积管坯(见图 3)。

实验共消耗合金原料约 500 kg,13~14 MPa 瓶装氮气约 280 瓶,SiC 及石墨混合粉约 180 kg。沉积管坯实重约 530 kg,测得 SiC 含量约 12%~16% (质量分数)。经计算,总收得率约为 78%,但过喷射粉末中 SiC 含量约 53%~58%,表明 SiC 收得率较低。

采用多层喷射沉积扫描喷射,在管坯制备过程中,单位流量金属液铺展面积大,各层间沉积间隔时间长,因而喷射密度^[4]低,冷速高,在第 2 层雾化颗粒喷射下来时沉积坯表面已完全凝固,管坯表面温度维持在约 300 °C。与较小规格复合材料锭坯的喷射沉积工艺相比,因管坯的制备扫描长度大大增加,散热面积远大于锭坯,冷却速度提高,因而要求金属液流量增大,同时喷射距离缩短,以保证雾化液滴在碰撞至沉积坯表面时具有高的液相比,才能与固相表面粘结良好。若液相比过小,则层间粘结不牢,且容易因层间温差引起的热应力而造成起翘、开裂,

使沉积失败.

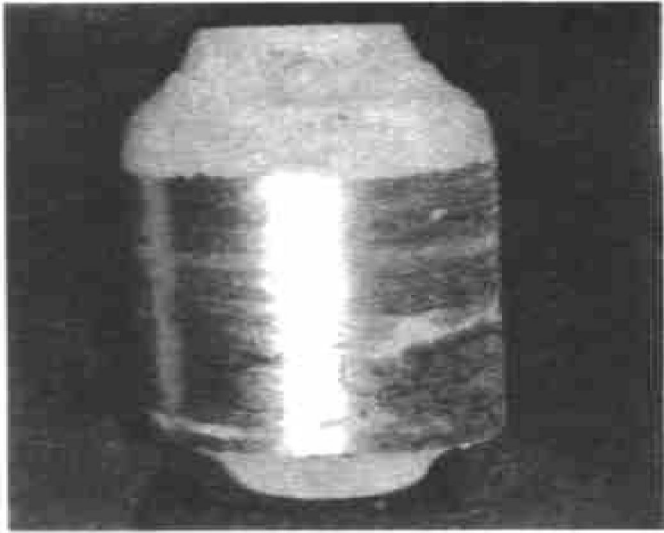


图3 大尺寸6066Al/SiC_p/Gr多层喷射沉积复材管坯

喷射流液相比大,沉积坯表面固相比大或已完全凝固,这也是多层喷射沉积工艺与传统Osprey工艺的显著区别之处.由于沉积坯表面不存在Osprey工艺中的薄层液膜^[10],沉积坯补缩能力不够,且固态粉末易搭接形成冷孔,因而多层喷射沉积复合材料坯致密度稍低,平均致密度约为(88±3)%,需进行进一步的后续压力加工.

3.2 碳化硅及石墨颗粒的加入与捕获

采用双环复合雾化器,能够实现增强颗粒的均匀加入(图2).在操作过程中可观察到增强颗粒被高速惰性气流带出,呈膜状包裹于金属液流柱周围,并聚焦至雾化焦点附近,与金属液同时被气流雾化开,并共同沉积到基体上形成沉积坯.该加入方式操作简单,容易控制,增强颗粒的捕获不受如外加法中多个控制因素的影响^[5],在连续喷射过程中,不会产生采用外加法时因插管端口容易沉积粘结金属粉末而影响颗粒加入与金属沉积的现象,因而尤其适合于大尺寸喷射沉积复合材料坯的连续制备.由于增强颗粒输送气流可充当二次风,消除负压,因而采用该雾化器进行喷射沉积时很少产生细直径液流限制式雾化中易于发生的堵嘴现象,避免了限制式雾化沉积过程存在的一个大问题.从其雾化模式看,气流聚焦点明显,不存在金属液在导液管端面铺展成膜过程,类似于非限制性雾化.

在多层喷射共沉积管坯制备过程中,因沉积坯表面已呈固态,难以捕获外加固相颗粒,增强颗粒主要在共雾化与飞行过程中,或被弹离沉积坯表面时被雾化液滴捕获.由于快速凝固,增强颗粒易于在基体中实现均匀分布,不会发生铸造过程中增强颗粒

被凝固界面前沿推移而产生偏聚的现象.冷颗粒一旦射入液滴,由于颗粒与液相间存在很大的温度梯度,金属液容易在增强颗粒表面形核,使颗粒被捕获.

3.3 喷射沉积复材管坯的挤压加工

喷射沉积管坯的挤压在12 500 t卧式挤压机上完成.挤压筒内径为650 mm,挤压模内径为350 mm,挤压针直径为300 mm.管坯外径车削加工至630 mm,内部纯铝基体管未车除,可起到固体润滑作用.挤压成外径为350 mm,内径为250 mm的管材,挤压比为5.5.挤压模具加热至约375℃,管坯开挤温度为460℃,挤出的管材前端1 300 mm的表面有少许周向裂纹,后端1 500 mm管材完好,切得长为800 mm管材2根,如图4所示.管材的成功挤压表明喷射沉积6066Al/SiC_p/Gr复材管坯具有较好的塑性加工性能,可通过挤压实现非致密粉体结构粉末颗粒间的变形粘结与冶金结合,达到致密化,充分发挥喷射沉积微晶材料的力学性能.

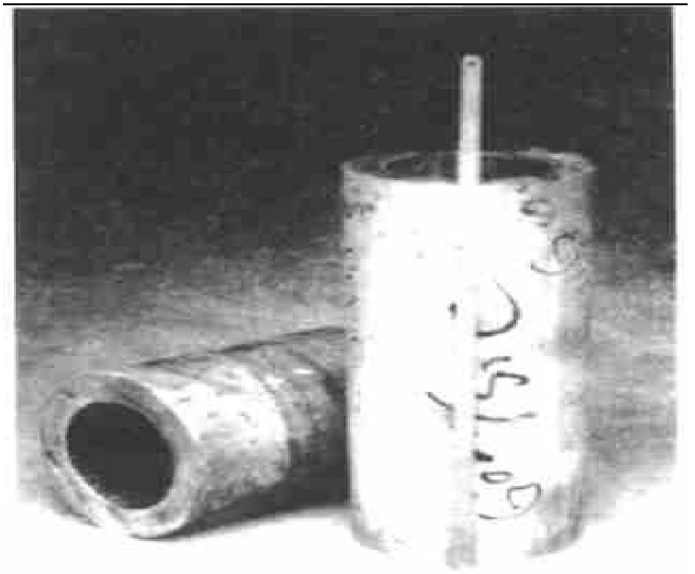


图4 喷射沉积6066Al/SiC_p/Gr复合材料挤压管材

3.4 存在问题及分析

a. SiC增强颗粒的输送量不太稳定.从雾化器出口状态可观察到包裹在液流柱周围的SiC膜存在浓度的变化,表明采用正压力气流系统输送粉体流量不是很稳定,受气流状态与粉末余量影响较大,并且贮粉罐需要密封,否则反压会把粉末吹出,因而增强颗粒只能半连续加入.现正建立负压力输送系统,以实现增强颗粒的均匀连续加入.

b. 管坯车削加工后局部位置可看到圈状花纹.这主要是由于首次制备大型复材管坯,沉积工艺参数控制不是很稳定,部分区域位置存在冷速差异而

造成组织不均匀现象. 有待建立自动控制系统, 以实现工艺的的稳定控制.

c. 沉积过程不连续. 由于熔炼系统、高压氮气系统的限制, 沉积过程中需停顿较长时间以等待料、气的供应, 容易造成层间结合不牢固. 需要进一步改进扩大熔炼与氮气系统, 以实现大尺寸喷射沉积复材管坯的工业化规模连续制备. 现正建立铝合金熔炼能力达 1 t 的反射炉系统.

4 结 论

a. 采用多层喷射共沉积技术, 成功制备了外径为 630 mm, 内径为 300 mm, 长为 800 mm 的 6066Al/SiC_p/Gr 复合材料管坯, 并顺利挤压成外径为 350 mm, 内径为 250 mm 的管材, 基本解决了喷射沉积工艺制备大尺寸颗粒增强铝基复合材料管坯的成形问题.

b. 采用双环复合雾化器结构, 以粉包液的方式在雾化前加入增强颗粒, 操作简单, 影响工艺因素少, 且不堵嘴, 能实现增强颗粒的均匀连续加入, 尤其适用于大尺寸喷射沉积复合材料的连续制备.

c. 通过分析多层喷射沉积制备大尺寸复材管坯中存在的部分问题, 提出了改进设想, 为工业化制备

大尺寸喷射沉积颗粒增强铝基复合材料奠定了实验基础.

参考文献:

- [1] 王渠东. 喷射沉积金属基复合材料的研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 1994, 17(2): 11-17.
- [2] WU Yue, Lavernia E J. Interaction mechanisms between ceramic particles and atomized metallic droplets [J]. Metall Trans A, 1992, 23A(10): 2923-2937.
- [3] ZHANG Ji-shan, LIU X J, CUI Hua, *et al.* Microstructure and properties of spray-deposited 2014+ 15Vol pct SiC particulate reinforced metal matrix composite[J]. Metall Mater Trans A, 1997, 28A(5): 1261-1269.
- [4] Singer A R E. Metal matrix composites made by spray forming[J]. Mater Sci Eng, 1991, 135A(1): 13-17.
- [5] WU Yue, Lavernia E J. Spray-atomized and Codeposited 6061 Al/SiC_p composites[J]. JOM, 1991, 43(8): 16-23.
- [6] CHEN Zhen-hua, ZHANG Hao, CHEN Gang, *et al.* A novel multi layer spray deposition technology[A]. Wood J V. Proc 3rd Int Conf On Spray Forming [C]. Cardiff UK: Woodhead Pub Ltd, 1996. 329-336.
- [7] 康智涛, 陈振华, 袁武华, 等. 多层喷射沉积制备大型厚壁耐热铝合金管坯[J]. 兵器材料科学与工程, 2000, 23(5): 41-44.
- [8] 陈振华, 张 豪, 刘秋林, 等. 多层喷射共沉积制备 6066 铝合金/SiC 颗粒复合材料[J]. 中国有色金属学报, 1996, 6(4): 83-86.
- [9] 张 豪. 多层喷射沉积过程及其材料的研究[D]. 长沙: 中南大学材料科学与工程系, 1998.
- [10] Liang Xing, Lavernia E J. Evolution of interaction domain microstructure during spray deposition[J]. Metall Mater Trans, 1994, 25A(11): 2341-2355.

Preparation of large-sized 6066Al/SiC_p/Gr composite tube by multi-layer spray deposition

KANG Zhi-tao, CHEN Zhen-hua, FU Ding-fa, YUAN Wu-hua, CHEN Gang

(Department of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Large scale 6066Al/SiC_p/Gr composite tube with size up to 650mm in outer diameter, 300 mm in inner diameter and 800 mm in length has been prepared by multi-layer spray deposition and twin atomizer system, and then extruded into tube product of 350 mm in outer diameter and 250 mm in inner diameter. Using the preparation technology of large-sized tube, the spray distance becomes shorter and the metal flux is larger, so that larger liquid proportion of spray and good combination between layers may be, and obtained crack between layers avoided. Compared to traditional spray deposition technology, the cooling rate of multi-layer spray deposited tube is higher and the density is relatively low, with a mean density of $(88 \pm 3) \%$. By the application of dual-looped atomizer, reinforced particulate can be incorporated uniformly with liquid metal stream in the surrounding of flying particulate. And the process can be easily controlled with relatively few influencing factors, especially suitable for the continual preparation of large-sized spray-formed composites. Some problems to be solved in the preparation process have been analyzed, which lays experimental foundation for the industrialized production of large-sized spray-formed composites.

Key words: multi-layer spray deposition; SiC particulate; aluminum MMCs