

多层喷射沉积工艺^①

陈振华 蒋向阳 杨伏良 周多三 黄培云

(中南工业大学非平衡材料科学与工程研究所, 长沙 410083)

摘 要 首先对多层喷射沉积工艺的发展及现状进行了简要评述。考虑到传统喷射沉积工艺的不足, 著者发展了一种新的喷射沉积工艺。这种新的喷射沉积工艺的特点为: 沉积方式为多层沉积, 冷却方式为强制外冷和基体内水冷相结合。新工艺与传统工艺相比, 具有喷射沉积物冷凝速度高, 沉积物尺寸精度高, 制备大型板、管坯时工艺简单等优点。著者采用新的喷射沉积工艺制得了耐热铝合金(Al-Fe-V-Si系) $\phi 150\text{ mm} \times 180\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的管坯和 $500\text{ mm} \times 350\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的板坯, 坯块经过热轧后, 获得良好的室温和高温力学性能。

关键词 多层喷射沉积 外冷 内冷 管坯 板坯 耐热铝合金

1 喷射沉积工艺的发展及现状

喷射沉积的概念和原理最早是由英国 Swansea 大学的 Singer A 教授于 1968 年提出, 1970 年首次公开报导的^[1]。1974 年英国 Osprey 金属有限公司的 Bokks R 等人成功地将喷射沉积原理应用于锻造坯的生产, 并逐渐发展成为著名的 Osprey 工艺^[2]。他们对 Osprey 工艺进行了深入研究, 开发了一系列喷射沉积合金系, 设计和制造了 Osprey 成套设备, 制备了传统方法难于获得的高合金和超合金管、环、筒、棒状坯件, 并申请了两项专利^[3, 4]。70 年代后期, 美国麻省理工学院的 Grant N 教授采用超声气体雾化制备极细液粒, 然后沉积在一个冷载体上, 发展成“LDC”工艺, 即“液体动态压实工艺”^[5]。该工艺冷速较高, 可以获得大块的快凝材料。80 年代初英国 Aurora 钢铁公司将喷射沉积工艺应用于高合金工具钢和高速钢的生产, 进一步发展了喷射沉积工艺, 并被称为“CSD”工艺, 即“受控喷射沉积法”。在该工艺中, 喷雾所形成的液粒尺寸较粗^[6], 可一次连续雾化生产 2 t 工具钢, 沉积物孔隙度接近于零, 析出物细小、均匀。

喷射沉积实质上是一种从熔融金属直接得到预成形坯或产品的工艺。喷射沉积工艺是一种介于铸造和粉末冶金之间的工艺, 同时兼备了两者的部分优点, 而克服了各自的部分缺点。它的主要优越性表现为: 较高的冷却速度, 小的氧化程度及良好的经济性。

虽然喷射沉积工艺日趋成熟, 但现有的喷射沉积工艺存在一定的局限性, 主要表现在以下几个方面: 沉积物的冷凝速度受到一定限制; 喷射沉积坯尺寸精度不高; 工艺操作难度较大。为了克服传统喷射沉积工艺的缺点和不足, 著者发明了一种多层喷射沉积工艺。

2 一种新型的喷射沉积工艺

如图 1 和图 2 所示, 传统的喷射沉积工艺在制备板、管坯材时一般加热坩埚不移动, 沉积坯一次经过而成。在喷射大型板坯和棒坯时采用 V 型喷嘴和摇动(扫描)喷嘴或采用多个喷嘴。新型的喷射沉积工艺在制备板、管坯材时如图 3 和图 4 所示, 采用移动的加热坩埚, 沉积坯为多次合成构成。新型喷射沉积工艺的主要特点为:

① 国家“八·五”攻关课题、国家教委博士点基金资助项目、湖南省自然科学基金资助项目 收稿日期: 1995-05-02

(1) 由于沉积坯为多次合成构成, 沉积坯的冷凝速度高于传统的喷射沉积坯, 特别是采用液氮或惰性气体对每层沉积物进行强制外冷, 沉积坯的冷凝速度可达 $10^3 \sim 10^4$ K/s, 真正地起到了喷射沉积和快速冷凝双重效果。

(2) 由于沉积坯为雾化金属喷嘴多次往复

移动喷射沉积而成, 管坯尺寸可以制得很厚, 并且冷凝速度不受影响。制备板坯由移动加热坩埚和水冷基板合成构成, 因而板的宽度可以制得很宽。当需要制造长管和长板时, 可以采用图 5 和图 6 所示装置那样使用多个喷嘴。在

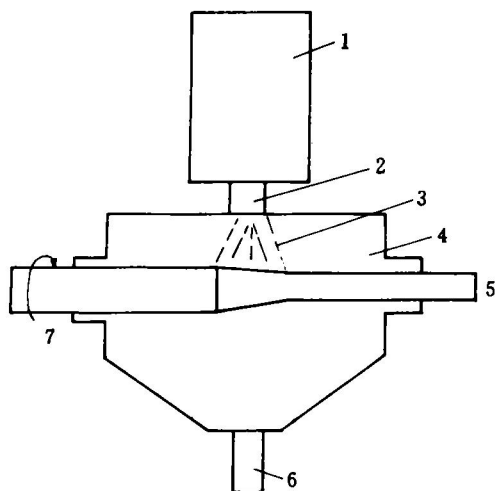


图1 传统喷射沉积管件生产装置

1—加热坩埚; 2—喷嘴; 3—金属液流;
4—雾化室; 5—管; 6—排气口;
7—旋转内水冷装置

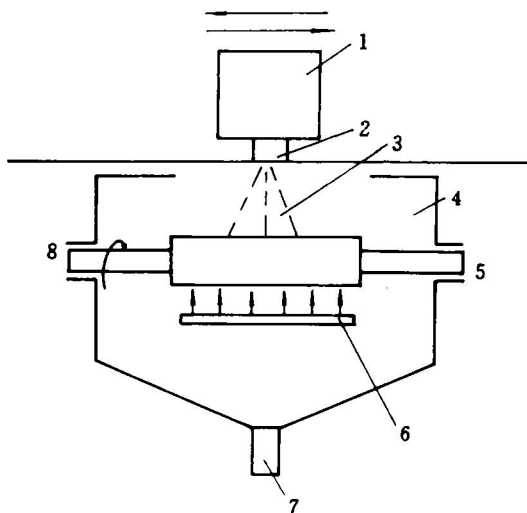


图3 新型喷射沉积管件生产装置

1—加热坩埚; 2—喷嘴; 3—金属液流;
4—雾化室; 5—管; 6—强制外冷装置;
7—排气口; 8—旋转内水冷装置

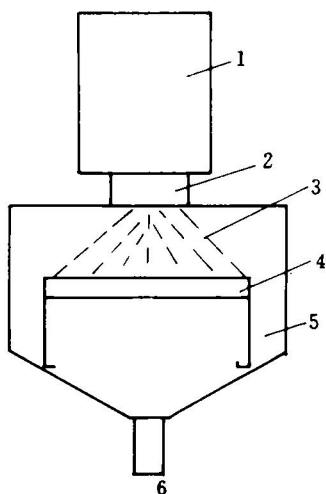


图2 传统喷射沉积板材生产装置

1—加热坩埚; 2—喷嘴; 3—金属液流;
4—水冷小车; 5—雾化室; 6—排气口

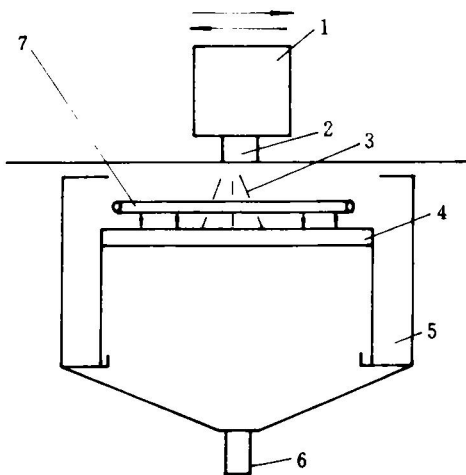


图4 新型喷射沉积板材生产装置

1—加热坩埚; 2—喷嘴; 3—水冷小车;
4—雾化室; 5—排气口; 6—强制外冷装置;
7—金属液流

制备长、宽均很大的板材时,可以在两个方向均采用多个喷嘴。在理论上来说,新的喷射沉积比传统的喷射沉积工艺所制得的管、板坯尺寸要大得多,并且采用一般雾化喷嘴即可,工艺操作也简单得多。

(3) 由于新的喷射沉积工艺是多层扫描而成,加热坩埚和基底的移动速度可调,因而沉积坯的尺寸精度较高,沉积物表面平整、均匀,并且雾化金属在基体上沉积率高。

(4) 新的喷射沉积工艺在制备金属-氧化物复合材料、互不固溶的双金属材料及其他特殊材料方面有很大的优越性。由于是多层沉积,所制备的各种复合材料均匀性非常好。

3 Al-Fe-V-Si 耐热铝合金的喷射沉积

80 年代中期,美国联合信号公司(Allied Signal Inc.)利用快速冷凝和粉末冶金技术开发了具有良好高温性能的 Al-Fe-V-Si 系耐热合金,引起了世界材料科学界的广泛重视。

3.1 两种喷射沉积工艺对沉积物组织的影响^[7]

图 7 为两种工艺制得的沉积物的 X 射线衍射图。X 射线分析结果表明,传统喷射沉积工艺得到的沉积物组织中含有 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$

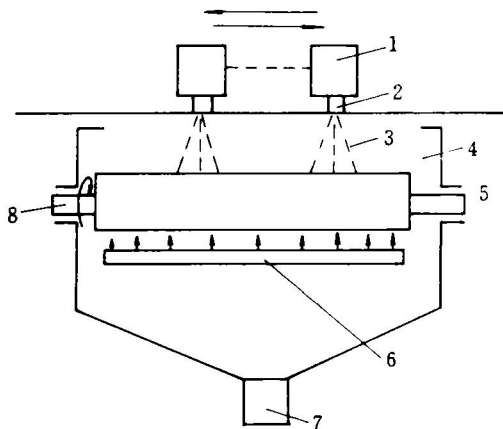


图 5 新型喷射沉积大型管件生产装置

图注同图 3

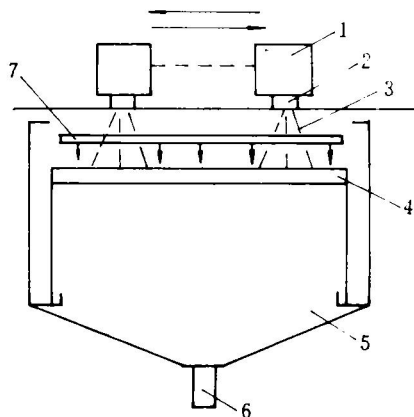


图 6 新型喷射沉积大型板材生产装置

图注同图 4

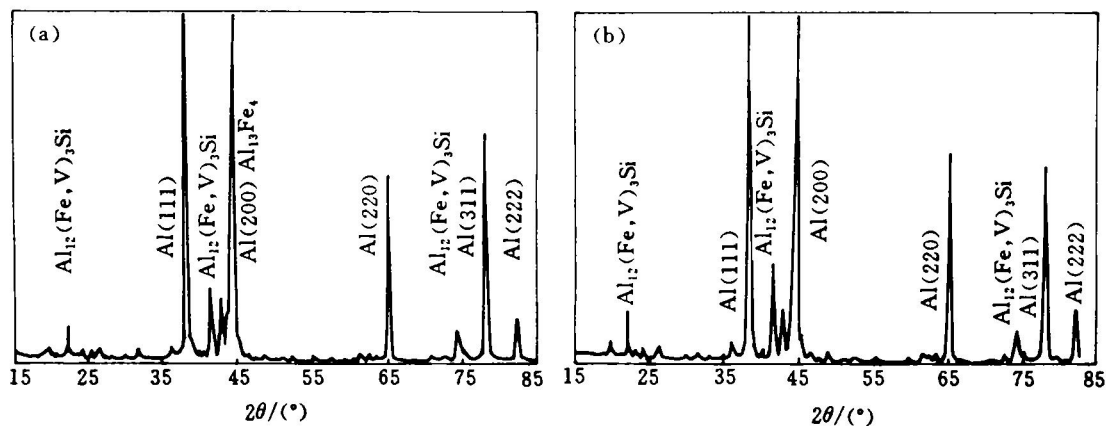


图 7 两种沉积工艺所得沉积物的 X 射线衍射图

(a)—传统喷射沉积工艺; (b)—新型喷射沉积工艺

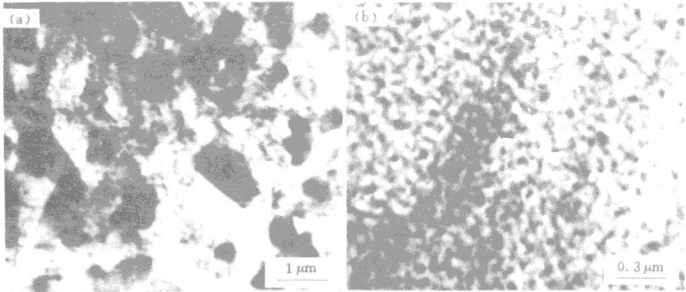


图8 两种喷射沉积工艺所得沉积物的TEM形貌照片
(a)—传统喷射沉积工艺；(b)—新型喷射沉积工艺

以及 Al_{13}Fe 沉淀相，而由强制外冷和内冷相结合的喷射沉积工艺所得到的沉积物组织只含有 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 沉淀相。图8为两种沉积物的TEM形貌照片，由图可见，传统的喷射沉积工艺所得的沉积物中有针、棒状的 $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ 相，而强制外冷和内冷相结合的喷射沉积工艺所制得的沉积物只有 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 析出相。

经大量电镜测试，得知传统工艺所得沉积物中 $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ 相长度为 $2\sim 4\mu\text{m}$ ，宽度为 $0.3\sim 1\mu\text{m}$ 。 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 相尺寸为 $0.3\sim 1\mu\text{m}$ 。而新工艺所得 $\text{Al}_{12}(\text{Fe}, \text{V})_3\text{Si}$ 析出相尺寸在 $10\sim 200\text{nm}$ 之间。

3.2 两种喷射沉积工艺对材料性能的影响^[8]

两种喷射沉积工艺所得沉积物在723K温度下，加热后轧制，累计变形量为50%~60%，所得到的室温性能和高温性能如附表所示。由表可知，采用强制外冷和内冷相结合的喷射沉积工艺所得材料的性能明显优于传统工艺所得材料的性能。著者目前采用新的喷射沉积工艺已经制得了尺寸为 $d_{\text{内}}150\text{mm}\times 180\text{mm}$ ，壁厚为10mm，致密度为96%的管坯和

尺寸为 $500\text{mm}\times 350\text{mm}\times 10\text{mm}$ 的板坯，坯块表面平整、均匀。

附表 两种喷射沉积工艺对
Al-8Fe-2V-2Si材料性能的影响

工艺	密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	室温		室温		623K, 7min	
		σ_s/MPa	$\delta/\%$	HB	σ_s/MPa	$\delta/\%$	
传统喷射沉积	2.84	409.8	3.5	1410	—	—	
多层喷射沉积	2.84	545.3	5.7	1580	208.9	4.1	

参考文献

1 Singer A. Metal Mater. 1970, 4: 246.
2 Books R *et al.* Powder Met, 1977, 2: 100.
3 Books R. US 3909927, 1975.
4 Singer A. UK 1262471, 1972.
5 Lavernia E. Met Powder Rep, 1986, 4: 225.
6 Rickinson B *et al.* Powder Metall. 1981, 1: 1.
7 赵丽源. 中南工业大学硕士学位论文, 1994.
8 吴仲海. 中南工业大学硕士学位论文, 1993.

(编辑 彭超群)