

# ⑬ 喷射沉积金属基颗粒复合材料的研究

77-82

## METAL MATRIX PARTICULATE COMPOSITES BY SPRAYING CODEPOSITION

彭晓东  
Peng Xiaodong

钱翰城  
Qian Hancheng

张晓梅  
Zhang Xiaomei

TB331

(重庆大学机械工程二系)

**摘要** 对喷射沉积金属基颗粒复合材料的工艺过程及其主要影响因素进行了分析,对制得的复合材料进行了结构观察和性能试验,对喷射沉积凝固特点进行了讨论。试验结果表明,采用该工艺制取金属基颗粒复合材料,能够克服传统方法的某些不足,增强颗粒在基体中呈弥散分布,无凝固偏析。与基体合金比较,复合材料硬度有较大提高,且具有优良的耐磨性。

**关键词** 金属基复合材料;喷射;沉积

中国图书资料分类法分类号 TB331;TF124.39

**ABSTRACT** The spraying codeposition process is used to produce metal matrix particulate composites, whose technical procedure and main processing parameters are analyzed. The microstructure of the composites is examined and the properties are tested. The solidification characteristics in the spraying deposition and solidification process are discussed. The results indicate that several problems involved in conventional methods can be overcome with this technique to produce metal matrix particulate composites. The reinforce particles are dispersed in the matrix homogeneously without solidification segregation. Compared with the matrix alloy, the composite proves to be harder and has excellent wear resistance.

**KEY WORDS** metal matrix composites; spraying; deposition

## 0 引言

金属基复合材料的研究是当前材料学科中最引人注目的前沿领域之一,目前,以纤维或晶须增强的铝基、镁基复合材料为代表,在航空航天等高新技术领域得到了有限的应用<sup>[1~3]</sup>。材料复合技术亦有较大发展,在颗粒增强金属基复合材料方面,相继研究开发出搅熔铸造、挤压铸造、真空压力吸铸等工艺,但这些制备工艺仍存在一些问题难以克服,如金属基体与增强颗粒的界面相容性差,合金熔体中增强颗粒由于润湿性差或由于比重不同而造成增强

\* 收文日期 1991-09-07

国家自然科学基金资助项目

颗粒的偏聚,或在凝固时由于结晶前沿对固相颗粒的排斥作用而形成凝固偏析。此外,由于增强颗粒与合金熔体接触时间长,不可避免地会发生界面反应,从而影响材料的性能。

近年来,一种新的材料复合技术—喷射沉积工艺,日益受到重视,该工艺结合粉末冶金和快速凝固技术的特点,克服了增强颗粒在金属熔体中的偏聚问题和凝固偏析问题,同时避免了增强颗粒与金属基体之间的界面反应,具有很好的研究发展前景<sup>[4~6]</sup>。目前,这一技术在国外已开始进入工业性试验,而国内在这方面的研究工作才开始起步,本文的目的在于运用自行研制的试验装置,探讨采用喷射沉积技术制备金属基颗粒复合材料的工艺过程及主要影响因素,并对材料样品的结构和性能进行了分析试验。

## 1 试验过程

试验材料采用锌铝合金(ZA)为基体,其化学成分范围为10~13%Al,0.25~0.60%Cu,余为Zn,增强颗粒为 $Al_2O_3$ 粉末,不进行表面处理,在120℃下烘干水气后直接装入送粉器中待用。

自行研制的喷射沉积试验装置如图1示意。基体合金用石墨坩埚在电阻炉中熔炼,合金熔化后按常规方法精炼除气,不进行变质处理,浇注前测量合金的温度,使其过热度控制在80℃左右,熔融合金浇入保温坩埚后经导流管流出,在一定压力的气体喷射作用下发生雾化,形成合金液滴喷射流。在雾化熔融合金的同时,将增强颗粒喷入合金液滴射流中,使液固两相颗粒在飞行过程中进行混合,共同沉积到金属衬底上,凝固得到金属基颗粒复合材料。

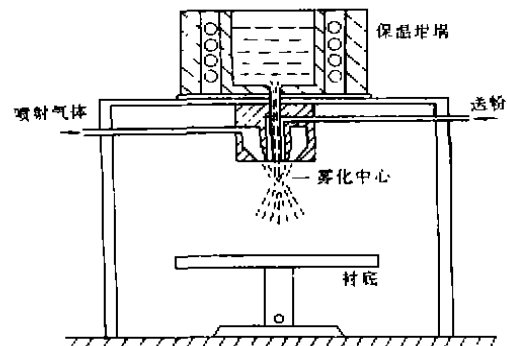


图1 喷射沉积试验装置示意图

对制得的复合材料样品,进行了初步的微观结构观察,及抗拉、磨损性能试验,并对喷射沉积凝固过程特点进行了分析讨论。

## 2 工艺参数选择

喷射沉积工艺主要包括熔融合金雾化和沉积凝固两个过程。本试验中主要的工艺参数选择如下:

### 2.1 合金温度和流量

当合金成分确定之后,其主要的工艺变量就是温度和流量。本试验中,为保证合金熔体具有足够的流动性,其过热度控制在80℃左右。合金液流直径为3mm,浇注过程中使得保温坩埚内合金液面处于同一位置以保持恒定的液流压头,在本试验条件下,合金熔体的理论计算流量为2.9kg/min。

### 2.2 雾化介质

采用氮气作为雾化介质,工艺试验表明:随雾化气体压力增大,合金液滴尺寸减小,当雾

化气体压力为0.8~1.2MPa时,合金液流已充分雾化。因此,本试验选择雾化压力为0.9~1.0MPa。

### 2.3 喷射参数

喷射顶角直接影响合金的雾化和沉积效果,喷射角太小,合金射流很集中,则雾化不充分;太大将造成合金过于分散,不利于沉积,本试验中喷射顶角为30°。

沉积距离是指从雾化中心到衬底的距离,在本试验条件下,适宜的沉积距离为150~250mm。

### 2.4 送粉压力与送粉量

本试验采用的送粉器是以气流为载体,由伺服电机驱动,送粉压力为0.2MPa,实测得到的送粉量为0.28~0.33kg/min。

### 2.5 衬底

本试验采用灰铸铁材料作衬底,表面加工平整,清除各种污迹,试验前在120℃下预热以去除表面水气。

## 3 试验结果及分析

### 3.1 微观结构

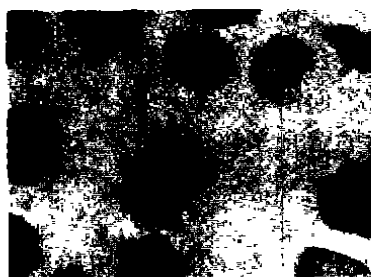
运用光学显微镜和扫描电镜对复合材料试样进行观察分析发现:

1) 增强颗粒弥散分布于合金基体中,未发现偏聚现象。图2a所示即为复合材料沿沉积方向的微观结构;

2) 在抗拉试样的断口表面,观察到一些尺寸较大的凹坑,如图2b所示,这是由于材料受拉伸时,增强颗粒与合金基体分离所致;

3) 增强颗粒与合金基体接触紧密,未观察到明显的反应过渡层,如图2c、d所示。分析认为,由于增强颗粒与合金液滴是在飞行过程中实现混合,液、固两相接触时间短,且喷射沉积过程具有快速凝固的特点,同时,增强颗粒表面亦未经活化处理,因此,沉积凝固时增强颗粒与合金基体之间没有界面反应发生,界面主要为机械结合;

4) 复合材料基体中存在着一一定的显微孔隙,在本试验条件下,采用适当的工艺参数可减少孔隙,但不能消除,应借助后处理技术(如压力加工)以获得全致密的材料。



(a)  $\times 100 \times 3$



(b)  $\times 750$

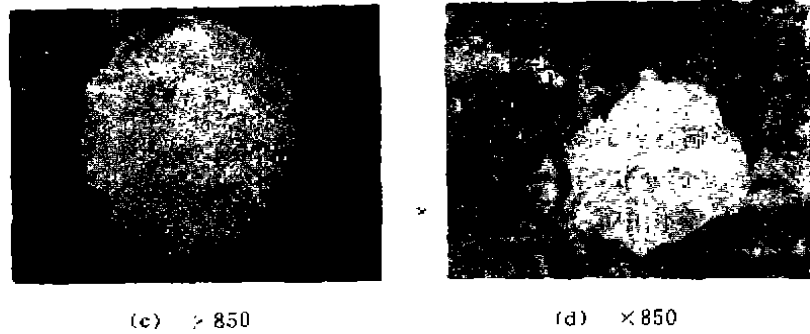


图 2 复合材料的微观特征

### 3.2 性能测试

试验材料的拉伸和硬度测试结果列于表1,磨损失重( $\Delta W$ )和相对耐磨性列于表2。

表 1 拉伸和硬度试验结果

试样类型	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	HB
铸造基体合金	230~273	2	80~110
复合材料 (15% Vol. $Al_2O_3$ )	235~268	1~2	120~146

表 2 磨损试验结果(配对材料为 HT200)

试样类型	磨损失重 $\Delta w$ (g)			相对耐磨性		
	1h	2h	3h	1h	2h	3h
铸造基体合金	0.849	0.836	0.759	1.0	1.0	1.0
复合材料 (15% Vol. $Al_2O_3$ )	0.190	0.181	0.175	4.47	4.62	4.43

注:复合材料的相对耐磨性为铸造基体合金的磨损失重与复合材料的磨损失重的比值

试验结果表明:与基体合金相比较,复合材料的宏观硬度有较大程度的增加,耐磨性显著提高。

在本试验条件下,复合材料的抗拉强度与基体合金相当。分析认为影响复合材料抗拉强度的因素主要有两个,一是增强颗粒与合金基体界面结合强度较差,承受拉伸载荷时颗粒与基体分离,从而失去增强作用;其次,沉积凝固后的合金基体中存在着一一定量的微观孔隙,亦削弱了材料的承载能力。

### 3.3 沉积凝固特点分析

沉积凝固与铸造凝固过程有明显的区别,当大量合金液滴在气流喷射作用下撞击到衬底上时,合金液滴将发生变形铺展,并在气流和衬底的强制冷却作用下迅速凝固。尽管每一合金液滴都是分别沉积到衬底上,且沉积的位置和时间先后具有随机性,但从统计学的观点,大量的合金液滴可被看作连续的射流,沉积到衬底上形成连续均匀的合金层。因此,沉积凝固包括两个同时进行的过程,一方面,已沉积的合金不断凝固;另一方面,后续合金不断沉

积,使凝固过程得以继续进行。图3所示为沉积凝固后的典型断面结构,分析认为,在适宜的工艺条件下,合金液滴的喷射沉积速度和强制冷却条件下的合金凝固生长速度达到一定的动态平衡量,当先沉积的合金尚未完全凝固、表面处于一种液固过渡状态时,后续合金沉积上来,产生良好的相互融合,得到均匀连续结构。若后续合金沉积时,先沉积合金已完全凝固,则可能融合不好,造成明显的层状结构。这一独特的凝固方式具有如下的特征:

- 1) 强制冷却条件;
- 2) 液态合金供给速度与凝固生长速度达到动态平衡;
- 3) 合金逐层凝固,凝固前沿处于液固过渡状态,无液态合金的累积和流动。

当合金液滴喷射流中混入固相颗粒时,对沉积凝固方式没有明显的影响,当固相颗粒和合金液滴一同沉积到衬底上,合金液滴立刻变形铺展,并迅速开始凝固,同时将固相颗粒定位。在随后的沉积凝固过程中,凝固前沿始终处于液固过渡状态,没有液态合金的流动,对固相颗粒没有排斥作用,避免了凝固偏析。因此,增强颗粒在基体中分布均匀性主要取决于喷射过程中两相颗粒混合的均匀程度。



(a) 层状结构



(b) 连续结构

图3 沉积凝固的断面结构(沿沉积厚度方向)

## 4 结 论

采用自行研制的金属喷射沉积试验装置,能稳定地制备  $Al_2O_3$  颗粒增强的金属基复合材料。试验表明:该工艺简单可行,在制备金属基颗粒复合材料方面具有较大的发展潜力,能够制备某些用传统方法难以生产的新型复合材料。 $Al_2O_3$  颗粒能有效地加入到合金基体中,并呈弥散分布。 $Al_2O_3$  颗粒的数量可通过调节其输送量来控制。

结构观察表明:复合材料组织均匀,增强颗粒与合金基体接触紧密,未观察到明显的反应过渡层,界面主要为机械结合。

在本试验条件下,复合材料的抗拉强度与基体合金相当,宏观硬度有较大提高,具有优良的耐磨性能。

沉积凝固具有与铸造凝固过程不同的特征,没有凝固偏析产生,但存在着一定量的分散微观孔隙,应在沉积凝固后进行适当的压力加工以获得完全致密的材料。

## 参 考 文 献

- 1 Mehrabian R, Rick R G, Flemings M C. Metall. Trans, 1974, 5: 1899
- 2 于琨, 李成斌. 金属基复合材料的现状与发展. 材料科学与工程, 1989, 7(1): 6~12
- 3 吴人浩. 金属基复合材料的进展. 见第六届全国复合材料会议论文集(一). 北京, 宇航材料工艺编辑部, 1990
- 4 Singer A R F. Recent Developments in the Spray Forming of Metals. The Intern J of Powder Metall& Tech, 1985, 21(3): 219~234
- 5 Singer A R F, O'buk S. Metal Matrix Composites Produced by Spray Codeposition. Powder Metall, 1985, 28(2): 72~78