

# 体育装备中包覆颗粒增强铝基复合材料的组织与性能

赵盼

(广西民族师范学院, 广西崇左 532200)

**摘要:** 采用化学镀法制备镀层分布均匀的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>包覆粉末, 以制备Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075体育装备用复合材料, 使用X射线衍射仪、光学显微镜、扫描电镜和万能实验机等研究分析了包覆颗粒及复合材料的显微组织、硬度和力学性能。结果显示, Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>包覆粉末可有效提高增强颗粒与基体之间的润湿性, 有效减少Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒的聚集现象和缺陷的产生, 当Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)含量为1.5%时, 复合材料的微观组织细化程度最显著, 平均晶粒尺寸最小, 平均硬度、密度、抗拉强度和伸长率最大, 过量的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)会导致Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒的团聚。1.5wt%Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075拉伸断口出现大量韧窝, 表现为准解离断裂, 力学性能提升主要是细晶强化和固溶强化的共同作用。

**关键词:** 化学镀; 包覆颗粒; 7075; 体育装备; 力学性能

铝基复合材料因其优异稳定的性能广泛应用于机械制造、汽车、航空航天等领域<sup>[1-3]</sup>, 陶瓷颗粒增强铝基复合材料可以明显提高材料的硬度、力学性能、耐磨损性能、耐腐蚀性能等<sup>[4-6]</sup>, 但陶瓷颗粒与铝合金之间的结合效果不好, 润湿性较差, 因此如何将陶瓷增强颗粒有效添加进铝合金基体中成为研究热点。目前, 在铝合金基体中添加陶瓷增强颗粒的方法主要有外加法<sup>[7]</sup>、原位合成法<sup>[8]</sup>等, 然后通过原位合成的方式在铝合金基体中反应生成陶瓷颗粒的反应条件较苛刻, 环境较复杂, 难以控制反应的进程。而通过外加法会由于陶瓷相与基体间的润湿性差, 导致陶瓷颗粒在基体中难以分散均匀, 容易造成颗粒团聚现象<sup>[9-10]</sup>。因此改善陶瓷颗粒与铝合金之间的润湿性是改善陶瓷颗粒增强铝基复合材料微观组织, 提升其力学性能的关键。有研究表明在陶瓷颗粒表面镀一层金属涂层可有效提高陶瓷颗粒与铝合金之间的润湿性<sup>[11-12]</sup>。Abolkassem等<sup>[13]</sup>研究了在SiC颗粒表面化学镀Ni来提高SiC颗粒与铝合金基体之间的润湿性, 发现核壳式结构包覆型颗粒可有效将Ni包覆SiC颗粒分散至基体中, 硬度和磁性均显著提高。Mithun等<sup>[14]</sup>发现将Cu@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)颗粒加入到6061铝合金中, 由于Cu包覆Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒与基体之间的润湿性得到极大的改善, 复合材料的力学性能得到显著提升。本研究通过化学镀法制备Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)颗粒, 利用高能超声分散核壳式包覆型粉末制备Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075体育装备用复合材料, 研究了不同含量核壳式包覆型Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)粉末对复合材料微观组织、力学性能的影响, 以期为实现高性能体育装备用复合材料的制备提供一种方法。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p) 包覆粉末的制备

将Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末(粒径1~10 μm)放置于氢氧化钠溶液中煮沸, 去除表面的油脂, 过滤烘干。为了在颗粒表面形成有利于金属离子附着的微小孔洞, 再将颗粒放在浓酸中加热粗化, 随后用去离子水清洗、烘干。再进行敏化、活化, 活化后的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>进行超声振荡30 min。待反应完全后, 将颗粒粉末离心洗涤到所需的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)核壳

作者简介:

赵盼(1988-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为民族传统体育文化研究、体育教学教具研究。E-mail: 876263315@qq.com

中图分类号: TB333

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)07-0878-05

基金项目:

2020年度广西高等教育本科教学改革工程项目(2020JGB121)。

收稿日期:

2021-12-13 收到初稿, 2022-01-26 收到修订稿。

结构包覆粉末。

## 1.2 Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075 复合材料的制备

将得到的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)核壳结构包覆粉末与纯铝粉混合,混合比为1:1:4,将混合粉末通过冷压成预制块。将7075铝合金(化学成分如表1所示)放入石墨坩锅中,然后放在电阻炉中加热至740℃至熔融态。待铝合金完全熔化后,进行除气扒渣。随后将挤压预制好的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/Al预制块加入到合金熔体中,通过预制块的加入量来控制复合材料中包覆颗粒的含量,随后对熔体进行高能超声处理。超声结束后保温处理3 min,然后对合金熔体进行除渣去杂。最后将合金熔体倒入预热好的模具中,预热温度为400℃,并在凝固的过程中进行高能超声振动3 min。从而制备出不同含量的Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075复合材料。

表1 7075铝合金的化学成分

							W <sub>B</sub> /%
Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Si	Fe	Al
5.64	2.51	1.57	0.34	0.25	0.28	0.21	余量

## 1.3 Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075 复合材料的性能测试

将不同含量Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)的试样经过Keller试剂腐蚀后,通过光镜来表征复合材料的显微结构,并通过扫描电镜(JEOL, JSM-6701F, Japan)来分析增强相在基体中的分散情况。

将不同含量的复合材料制成如图1所示的ASTM-B557M标准拉伸试样(直径为Φ6 mm、长度为42 mm);放置在万能实验机model Sansi JXYA105(Netherlands)上,进行拉伸试验,拉伸速率为1 mm/min。为了保证试验的准确性,每组拉伸试样至少做5次后取平均值。随后将试样通过SEM观察断口的形貌。此外,为了测量并对比各个组分试样的硬度,将试样放置于维氏硬度机中,在0.3 kg的载荷下加载15 s,为了减小误差,将在每个试样上选取至少9个硬度点进行测试并取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 镀层 Ni 对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/Al 界面的影响

Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)如图2所示,在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)颗粒的表面

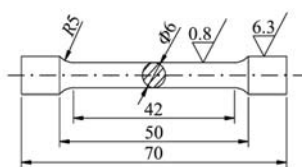


图1 拉伸试样示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tensile specimens

具有一层突起状的涂层,并且所得的粉末在经过EDS面扫描后,得到在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)颗粒的表面具有分布较为均匀的Ni元素,且其分布位置与Al元素的分布位置较为一致。同时,将获得的增强相颗粒经过XRD测试后得到如图3所示的结果,可见经过化学镀后,在Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)颗粒的表面得到了一层分布较为均匀的Ni镀层。

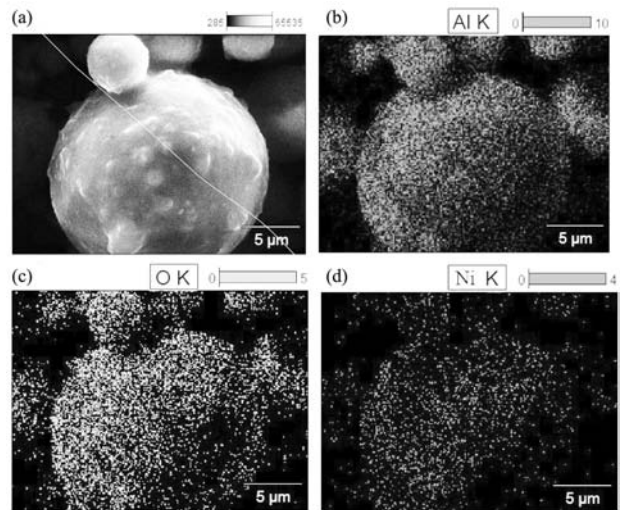


图2 处理后颗粒的元素分布

Fig. 2 Element distributions of treated particles

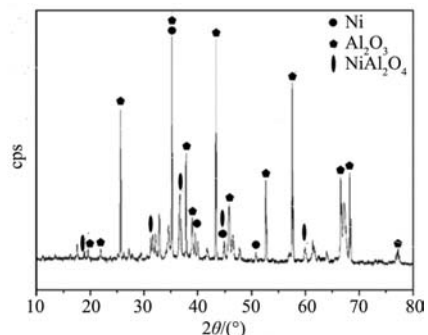


图3 处理后颗粒XRD图

Fig. 3 XRD pattern of treated particles

在加入Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)时,颗粒表面包裹了一层微气膜,在高能超声的作用下其发生如式(1)、(2)所示的反应:

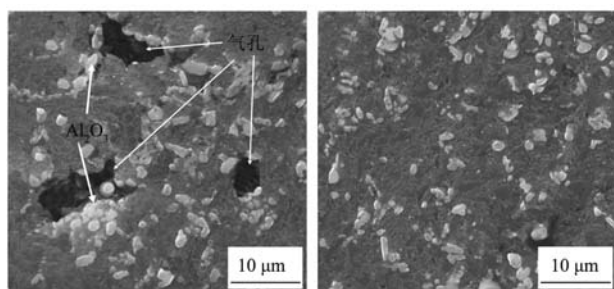


在Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)加入合金液内时,经过高能超声作用下,增强相颗粒在空化作用下均匀分散。同时在分散的过程中,镀层与气膜反应生成NiO。同时,在高温的作用下,NiO与Al相及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒发生反应生成NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>,从而将Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>颗粒固溶在基体之中。

### 2.2 Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075 复合材料微观组织

图4是Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075和Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(p)/7075复合材料的扫描电镜(SEM)下的微观组织图,从图4a中可

以明显看到,  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$  复合材料中部分  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒中出现团聚现象, 复合材料有气孔缺陷产生, 而图4b中  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$  复合材料的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  增强颗粒则均匀地分布在基体之中, 且复合材料无明显缺陷。出现这一差异现象的原因是, 作为增强相的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷颗粒与铝合金基体的润湿性较差, 影响了增强颗粒与基体之间接触表面的粗糙度、界面能和界面反应<sup>[15]</sup>, 通过在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷颗粒表面化学镀形成了粗糙的网状  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  层, 将  $\text{Ni}$  熔合后形成一道  $\text{Ni}$  包覆层, 最终使  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒与铝合金基体表面张力和固液界面能降低、表面能增加, 润湿性提高<sup>[16-17]</sup>。



(a)  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$  (b)  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$

图4 复合材料的扫描电镜图

Fig. 4 SEM images of composite

图5显示了在不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的复合材料的光学显微镜 (OM) 下的金相组织图。图中可以看出, 基体的组织粗大, 晶粒尺寸较大, 随着  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的增加, 复合材料的晶粒大小随之减少, 枝晶数量也不断减少。当  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量达到1.5wt%时所得的晶粒较小, 平均晶粒大小在  $78\ \mu\text{m}$ , 黑色  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒均匀分布在晶界; 在  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量达到2.5wt%时, 平均

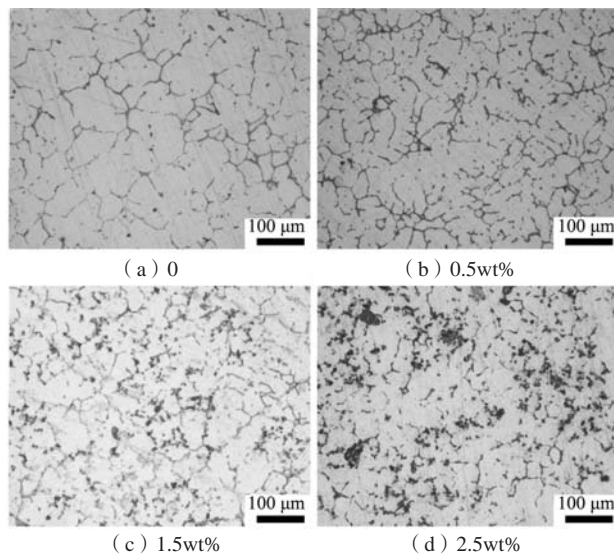


图5 不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的7075复合材料的微观组织

Fig. 5 Microstructures of 7075 composites with different

$\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  content

晶粒大小在  $109\ \mu\text{m}$ , 但有部分黑色  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒团聚在晶界。

### 2.3 $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$ 复合材料的性能

图6显示了不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的复合材料的硬度变化, 从图中可以看出, 添加  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  后, 复合材料的硬度明显提高, 基体的平均硬度为  $\text{HV}124.5$ , 硬度分布比较均匀。当  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量为0.5%时, 复合材料的硬度变化有较小起伏, 平均硬度增大到  $\text{HV}148.4$ ; 当  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量为1.5%时, 复合材料的硬度变化起伏依旧较小, 分布比较均匀, 平均硬度增大到  $\text{HV}168.2$ ; 当  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量为2.5%时, 复合材料硬度变化起伏较大, 分布不均匀, 平均硬度为  $\text{HV}153.3$ 。这是因为, 尽管  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  颗粒能改善与7075铝合金基体之间的润湿性, 但过量的  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  粉末还是会导致  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒出现团聚现象, 使得复合材料的整体硬度分布不均匀。

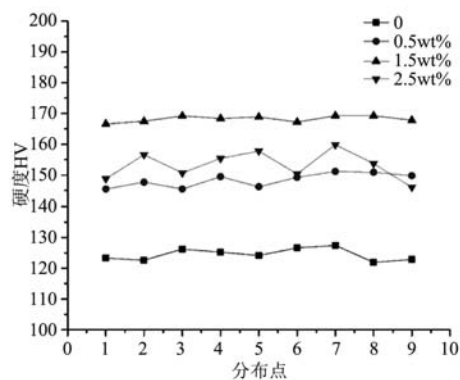


图6 不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量复合材料的硬度变化

Fig. 6 Hardness changes of composites with different  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  contents

表2是不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的复合材料的力学性能, 随着  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的增大, 复合材料的密度、抗拉强度、伸长率先增大后减小, 当  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量为1.5%时, 复合材料的密度、抗拉强度和伸长率分别较基体提高了11.7%、19.4%和28.4%。这说明, 通过在凝固过程中对加入  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  复合材料施加高能超声, 对复合材料的力学性能有着明显的强化作用。复合材料的力学性能提升主要是细晶强化、固溶强化

表2 不同  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  含量的复合材料的力学性能  
Table 2 Mechanical properties of composites with different  $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  contents

材料	密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	抗拉强度/MPa	伸长率/%
7075	2.83	489	6.7
0.5% $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$	3.01	568	7.2
1.5% $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$	3.16	584	8.6
2.5% $\text{Ni}@\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/7075$	3.08	574	7.4



和高能超声的复合作用效果,  $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  包覆颗粒与基体之间的润湿性较好, 且高能超声能在进一步改善了增强颗粒与基体之间的润湿性的同时减少缺陷的产生, 使得 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒均匀固溶于基体中, 起到固溶强化作用, 且 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒可作为异质形核的核心, 能有效细化晶粒, 在受力作用下, 均匀分布于晶界的增强颗粒能有效阻碍位错的运动, 显著提升复合材料力学性能。但当 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量过高时, 团聚的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒使增强颗粒于基体间的结合效果变差, 在受力时不能有效阻碍位错的运动, 对复合材料力学性能的提升效果变差。图7是不同 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量复合材料拉伸断口SEM形貌图。图7a所示为未添加 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 的7075铝合金断口, 材料的断裂机理属于明显的解离断裂, 断口主要呈现出沿晶断裂, 由于材料的晶界强度较

弱, 塑性能力表现差。0.5% $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 的复合材料断口如图7b所示, 复合材料的断裂机理属于解离断裂, 断口呈现出较多的撕裂韧。图7c为1.5% $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 的复合材料断口, 断口出现较多深韧窝, 复合材料的断裂机理转变为准解离断裂, 塑性能力得到提升。当 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量达到2.5%时, 复合材料断口形貌如图7d所示, 断口韧窝数量减少, 出现部分解离面, 断裂机理仍为准解离断裂。由复合材料的断口形貌判断均匀分布在晶界的 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 能强化晶界强度, 提升材料的力学性能, 当 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量为1.5%时, 复合材料的拉伸性能最佳, 过量的 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 会导致增强颗粒在基体中产生团聚, 使得材料的力学性能变差。

### 3 结论

(1) 采用化学镀法在 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒表面镀Ni, 得到一层均匀的Ni层, 且 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒表面反应形成了粗糙的 $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ 层, 最终制备得到 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 核壳包覆粉末。

(2)  $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 核壳包覆粉末有效提高了 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒与7075铝合金基体之间的润湿性, 使 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒在基体中均匀分布, 抑制 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒的团聚现象。不同 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量的复合材料微观组织得到不同程度的细化, 当 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量为1.5%时, 平均晶粒尺寸最小, 枝晶数量减少, 过量的 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 使平均晶粒尺寸增大,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒团聚在晶界。

(3) 随着 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量的增大, 复合材料的平均硬度、密度、抗拉强度和伸率先增大后减小, 当 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量为1.5%时, 达到平均硬度、密度、抗拉强度和伸长率最大, 相比于基体分别提高了35.1%、11.7%、19.4%和28.4%。拉伸断口出现大量韧窝, 呈现为准解离断裂, 复合材料力学性能提升的主要原因是 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 与7075铝合金基体的润湿性提高,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒在基体中起到了细晶强化和固溶强化的作用。

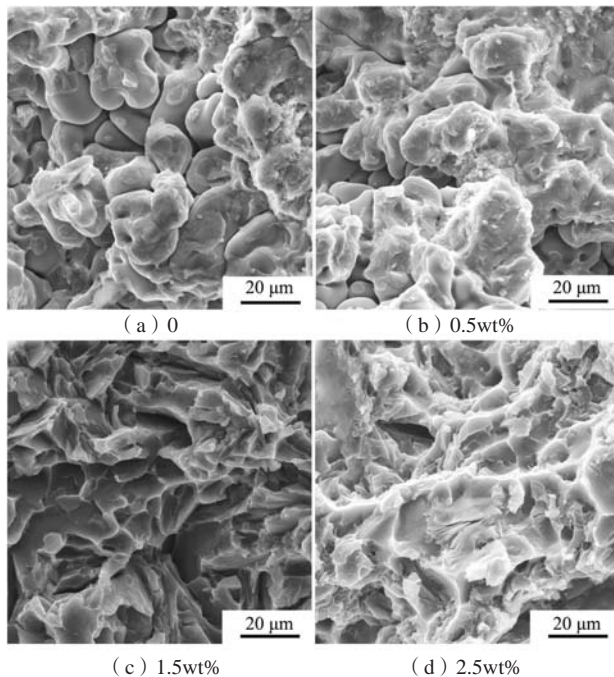


图7 不同 $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$ 含量复合材料拉伸断口SEM形貌图  
Fig. 7 SEM morphologies of tensile fractures of composites with different  $\text{Ni@Al}_2\text{O}_3(\text{p})$  contents

#### 参考文献:

- [1] 许幸新, 张晓辉, 刘传绍, 等.  $\text{SiC}$ 颗粒增强铝基复合材料的超声振动钻削试验研究[J]. 中国机械工程, 2010(21): 2573-2577.
- [2] 朱晓波. 锻造工艺参数对汽车用石墨烯增强铝基复合材料的影响[J]. 热加工工艺, 2020, 49(23): 80-83.
- [3] 朱宸煜.  $\text{SiC}_p$ 增强高合金化7000系铝基复合材料的制备与组织性能研究[D]. 江苏: 江苏大学, 2020.
- [4] 郝世明, 毛建伟, 谢敬佩. 原位内生颗粒增强 $\text{TiB}_2/7055$ 铝基复合材料的组织[J]. 材料热处理学报, 2015, 36(5): 29-34.
- [5] 王光磊, 曲迎东, 李广龙, 等. 原位 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒增强 $\text{Al-20Si}$ 复合材料的制备及微观组织[J]. 铸造, 2020, 69(8): 834-838.
- [6] 范涛, 刘博文, 孙艳荣, 等.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒增强铝基复合材料的耐磨性研究[J]. 粉末冶金技术, 2015, 33(3): 186-189.
- [7] 郝世明, 毛建伟, 谢敬佩, 等. 陶瓷颗粒增强 $\text{SiC}_p/\text{Al}$ 铝基复合材料制备和性能研究[J]. 铸造, 2017, 66(4): 332-336.
- [8] 格日乐, 田芳. 原位反应 $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{p})/\text{Al-Cu}$ 复合材料的强化机理研究[J]. 热加工工艺, 2015, 44(14): 172-173.
- [9] 张开鑫.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 颗粒增强7075铝基复合材料制备工艺研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2019.

- [10] 陈小会. 纳米颗粒增强铝基复合材料的制备及其半固态模锻成形研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [11] 高经, 唐鑫, 黄世源, 等. 超声波处理Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>包覆颗粒增强铝基复合材料的研究进展 [J]. 热加工工艺, 2015, 44 ( 22 ) : 20-22, 26.
- [12] 高经, 唐鑫, 黄世源, 等. 化学镀Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>纳米颗粒增强铝基复合材料的显微组织及性能 [J]. 铸造, 2015, 64 ( 6 ) : 531-537.
- [13] SHIMAA A A, OMA YMAA E, A YMAN H E, et al. Effect of consolidation techniques on the properties of Al matrix composite reinforced with nano Ni-coated SiC [J]. Results in Physics, 2018, 9: 1102-1111.
- [14] MITHUN B R, NAGARAL M, AURADI V, et al. Microstructure and mechanical properties of Cu-coated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particulate reinforced 6061 Al metal matrix composite [J]. Materials Today: Proceedings, 2017, 4 ( 10 ) : 11015-11022.
- [15] LEÓN C A, DREW R A. The influence of nickel coating on the wettability of aluminum on ceramics [J]. Composites Part A, 2002, 33 ( 10 ) : 1429-1432.
- [16] IP S W, SRIDHAR R, TOGURI J M, et al. Wettability of nickel coated graphite by aluminum [J]. Materials Science & Engineering A, 1998, 244 ( 1 ) : 31-38.
- [17] YOUNG J K, JUIL Y, JOONHO L, et al. Effects of Cu interlayer on the wettability of aluminum on carbon [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2013, 574: 526-531.

---

## Microstructure and Properties of Coated Particle Reinforced Aluminum Matrix Composites in Sports Equipment

ZHAO Pan

(Guangxi Normal University for Nationalities, Chongzuo 532200, Guangxi, China)

### Abstract:

Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated powders with uniformly distributed coating prepared by electroless plating were used to prepare Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)7075</sub> composite for sports equipment. The microstructure, hardness and mechanical properties of coated particles the composites were studied and analyzed by optical microscope, scanning electron microscope, microhardness tester and universal experimental machine. The results showed that the Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated powder effectively improved the wettability between the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and the matrix, inhibited the agglomeration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles and the generation of defects. When the Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> content was 1.5%, the microstructure refinement degree of the composite was the most obvious, the average grain size was the smallest, the average hardness, density, tensile strength and elongation were the largest. Excessive Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> led to the agglomeration of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. The tensile fracture of 1.5wt%Ni@Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)7075</sub> showed a large number of dimples, which showed quasi-dissociation fracture. The improvement of the mechanical properties was mainly due to the joint effect of fine grain strengthening and solid solution strengthening.

### Key words:

electroless plating; coated particles; 7075; sports equipment; mechanical properties

---