

# 纳米陶瓷粉改性环氧树脂研究

王大伟 段长兵 王宝铭

(威海光威复合材料股份有限公司,威海 264202)

**摘 要** 使用超声波细胞粉碎机将纳米陶瓷粉按照不同比例添加到环氧树脂体系中,制备了纳米陶瓷粉/环氧树脂复合材料,研究了纳米陶瓷粉对复合材料硬度及力学性能的影响。使用扫描电子显微镜、巴氏硬度仪、万能试验机表征和分析了纳米陶瓷粉/环氧树脂复合材料的断面形貌、硬度及力学性能。结果表明,纳米陶瓷粉对环氧树脂有增强增韧的效果,当纳米陶瓷粉添加量为 15% 时,复合材料的力学性能提高,硬度增加。

**关键词** 环氧树脂,纳米陶瓷粉,硬度,增韧,增强

## Study on nano-ceramic powder modified epoxy resin

Wang Dawei Duan Changbing Wang Baoming

(Weihai Guangwei Composites Co., Ltd., Weihai 264202)

**Abstract** The nano-ceramic powders were added into the epoxy resin system by ultrasonic cell pulverizer, and the epoxy resin composite was prepared to study the effect of nano-ceramic powders on the hardness and mechanical properties. The morphology, hardness and mechanical properties of composites were analyzed by scanning electron microscopy (SEM), pasteurizer and universal testing machine. Nano-ceramic powders enhanced the effect of epoxy resin, the toughening, mechanical properties, hardness were increased. When adding nano-ceramic powders to the amount of 15%, the best results were obtained.

**Key words** epoxy resin, nano-ceramic powder, hardness, toughening, strengthening

环氧树脂(EP)是一种性能优异的热固性树脂,具有粘附力强、内聚强度高、机械强度高、收缩率低、介电性能优良等特点,广泛应用于涂料、胶粘剂、航空航天、先进复合材料基体等领域<sup>[1-3]</sup>。但 EP 固化物存在脆性大、内应力大、冲击强度低以及耐冲击性差等缺陷,在一定程度上制约了其在工程上的应用<sup>[4]</sup>。因此 EP 改性技术一直是国内外高分子材料专家关注的研究课题<sup>[5-6]</sup>。

纳米陶瓷粉为白色蓬松粉末,粒度分布均匀、纯度高、容易分散,其比表面积大,具有耐高温的惰性、高活性和多孔性特点。除此之外,纳米陶瓷粉的硬度高、尺寸稳定性好,具有较强的表面酸性和一定的表面碱性,耐酸碱,可广泛应用于塑料、橡胶、陶瓷、耐火材料、复合材料等产品的补强增韧,对提高产品的致密性、光洁度、冷热疲劳性、断裂韧性、抗蠕变性能和高分子材料产品的耐磨性能尤为显著<sup>[7-10]</sup>。

本研究使用超声波细胞粉碎机将纳米陶瓷粉加入到 EP 中,考察了纳米陶瓷粉添加量对 EP 体系硬度、力学性能的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 原料

EP, NPEL-128, 南亚电子材料(昆山)有限公司;纳米陶瓷粉,合肥翔正化学科技有限公司;触变剂(TS720),上海裕子实业有限公司;固化剂(DYHARD® 100S),上海默曼化工有限公司;促进剂(DYHARD® UR300),上海默曼化工有限公司。

### 1.2 仪器

巴氏硬度仪(HBa-1),上海精密仪器仪表有限公司;Nova Nano SEM450 扫描电子显微镜(SEM),上海铸金分析仪器有限公司;英斯特朗 2382 万能试验机,上海翌彩实业有限公司。

### 1.3 纳米陶瓷粉/EP 制备

按配比分别称重 NPEL-128、DYHARD® 100S、DYHARD® UR300,将 NPEL-128 加热到 70℃,然后加入树脂质量 0%、5%、10%、15%、20% 的纳米陶瓷粉并分散均匀,将 DYHARD® 100S、DYHARD® UR300、TS720 加入体系中,搅拌均匀,

使用超声波细胞粉碎机进一步分散、放料,所制样品分别标记为 a,b,c,d,e。

1.4 复合材料样条的制备

将样品 a,b,c,d,e 分别加入脱泡搅拌机中进行预脱泡,接着放入真空烘箱进行真空脱泡,然后注入模具,放入烘箱中固化,制得纯 EP 样条以及纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条。

1.5 测试与表征

使用巴氏硬度仪测试纯 EP 样条以及纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条硬度;使用 Nova Nano SEM450 SEM 对样条进行断面形貌表征;采用英斯特朗 2382 万能试验机测试样条的力学性能。

2 结果与讨论

2.1 纳米陶瓷粉添加量对纳米陶瓷粉/EP 复合材料硬度的影响

纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条的硬度测试结果见表 1。从表 1 可知,随着树脂体系中纳米陶瓷粉量的增加,纳米陶瓷粉/EP 复合材料的硬度逐渐增加,表明纳米陶瓷粉可以明显提高 ER 树脂体系的硬度。当纳米陶瓷粉添加量为 EP 质量的 15% 时,样品的硬度最高,达到 55HBa;当纳米陶瓷粉添加量为 EP 质量的 5%,10% 时,样品的硬度分别为 46,51HBa;当纳米陶瓷粉添加量为 EP 质量的 20% 时,样品的硬度降低。

表 1 纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条的硬度

| 样品      | a  | b  | c  | d  | e  |
|---------|----|----|----|----|----|
| 硬度/ HBa | 44 | 46 | 51 | 55 | 49 |

2.2 纳米陶瓷粉添加量对纳米陶瓷粉/EP 复合材料力学性能的影响

纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条的力学性能测试结果见表 2。从表 2 可知,随着 EP 体系中纳米陶瓷粉量的增加,纳米陶瓷粉/EP 复合材料的力学性能逐渐增强。与纯 EP 力学性能相比,纳米陶瓷粉/EP

表 2 纳米陶瓷粉/EP 复合材料样条的力学性能

| 项目       | 样品  |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | a   | b   | c   | d   | e   |
| 拉伸强度/MPa | 85  | 48  | 55  | 61  | 38  |
| 拉伸模量/GPa | 3.5 | 3.1 | 3.2 | 3.0 | 2.6 |
| 弯曲强度/MPa | 126 | 65  | 78  | 84  | 60  |
| 弯曲模量/GPa | 3.1 | 3.0 | 3.3 | 3.1 | 3.2 |
| 断裂伸长率/%  | 3.3 | 1.5 | 1.7 | 2.0 | 1.0 |

复合材料的力学性能均有所下降。由于纳米陶瓷粉为无机材料粉末,加入树脂体系后与 EP 组成两相体系,因此降低了复合材料的力学性能。当纳米陶瓷粉添加量为 EP 质量的 15% 时,样品的拉伸强度、弯曲强度、断裂伸长率最大,表明 EP 与纳米陶瓷粉的配比最优。

2.3 SEM 分析

利用 SEM 对纳米陶瓷粉/EP 复合材料拉伸样条的断面形貌进行观察(见图 1)。从图 1(a)可以看出,未添加纳米陶瓷粉的 EP 断面平滑,无典型的脆性断面沟壑。对比样品 b,c,d,e 的断面形貌图,可以看出随着纳米陶瓷粉添加量的增加,样品断面出现的断裂条纹显著增加,断面杂乱无章,断面沟壑间形成漩涡状。从图 1(e)可以看出,断面中存在大量的白斑及条纹,这是由于样品中纳米陶瓷粉粉料的添加量过多(达 20%),造成分散不均,这也验证了样品 e 的力学性能最差。随着纳米陶瓷粉添加量的增加,样品的力学性能有所下降;纳米陶瓷粉添加量为 15% 时,样品的力学性能最优。

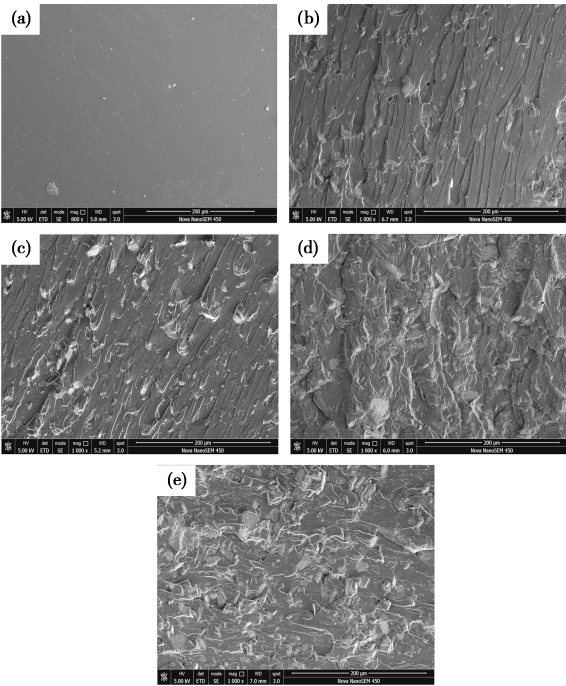


图 1 纳米陶瓷粉/EP 复合材料拉伸样条的 SEM 图  
[(a)纯 EP;(b)添加 5% 纳米陶瓷粉;(c)添加 10% 纳米陶瓷粉;  
(d)添加 15% 纳米陶瓷粉;(e)添加 20% 纳米陶瓷粉]

3 结论

(1)经过共混、超声处理成功制备了纳米陶瓷粉/EP 复合材料,纳米陶瓷粉在 EP 树脂体系中的分散性很好。

(下转第 173 页)