

石墨纤维增强镁基复合材料界面^①

陈煜 吴桢干 顾明元 张国定

(上海交通大学金属基复合材料国家重点实验室, 上海 200030)

摘 要 石墨纤维增强镁基复合材料由于基体中加入了铝元素, 其界面情况变得较为复杂。对采用真空压力浸渍法制备的俄罗斯产石墨纤维增强 ZM5 镁基复合材料在透射电子显微镜下观察发现, 界面结合良好, 基体与纤维间无化学反应, 但存在着大小形状不同的析出物, 经电子衍射和 EDS 能谱分析为 γ -Mg₁₇Al₁₂相; 在近界面区域也有 γ 相存在, 并且与镁基体存在一定的位向关系; 同时在界面附近存在着大量位错和孪晶等晶体缺陷。

关键词 镁基复合材料 真空压力浸渍法 位错 孪晶 界面

石墨纤维增强镁基复合材料(Gr/Mg), 具有低密度、高比强度和高比刚度等优良的力学性能^[1], 并可按照不同纤维含量设计出热膨胀系数在较大温度范围内保持为零的材料^[2]。因此 Gr/Mg 复合材料已在国际材料界受到广泛的重视, 并开始在航空航天和汽车工业中得到了应用^[3]。尽管镁与石墨有良好的化学相容性^[4], 但是在镁中加入铝元素后, 界面的情况变得复杂起来。本文采用透射电子显微术, 对 Gr/Mg 复合材料的界面及其附近区域的显微结构进行了研究。

1 实验方法

本实验采用真空压力浸渍法制备 Gr/Mg 复合材料, 所用纤维为俄罗斯产 KULOH-P50 石墨纤维, 基体为 ZM5, 其主要成分为 6.8% - 8.2% (摩尔分数) Al, 0.1% ~ 0.3% (摩尔分数) Zn 和少量 Mn。纤维体积分数约为 55%。经测定复合材料的弯曲强度可达 1 200 MPa。电镜样品从铸态材料上切取, 经过机械研磨、精密磨凹和离子减薄, 最后制成薄膜样品, 在 Philips CM12 透射电子显微镜下进行界面结构分析, 加速电压为 100 kV。

2 实验结果与讨论

2.1 典型的 Gr/Mg 复合材料界面

图 1 为典型的 Gr/Mg 复合材料界面, 可见, 纤维和基体结合良好, 无微观孔洞存在, 两者之间无任何形式的化学反应, 界面显得较为光滑。这种类型的界面在材料中占了绝大多数。但是经过 EDS 能谱分析发现, 在界面处有 Al 元素的偏聚, 其最大偏聚量可达 17% (摩尔分数), 约为基体平均含量的 2 倍左右, 而且 Al 元素的含量随着与界面的距离增大而减小, 逐渐恢复到基体的平均水平。这是由于材料制

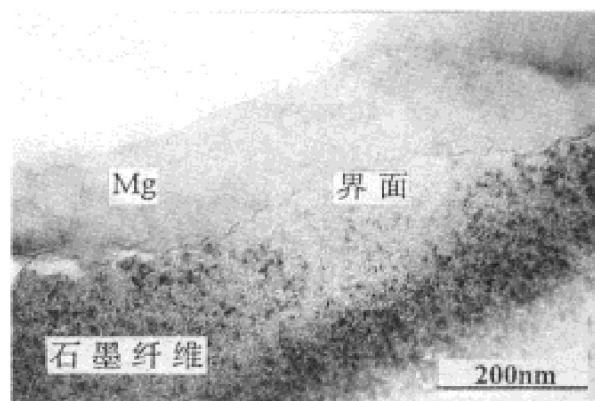


图 1 典型的 Gr/Mg 复合材料界面

① 国家自然科学基金资助项目 收稿日期: 1996-07-18; 修回日期: 1996-09-10 陈煜, 男, 28岁, 助教, 硕士

备过程中,凝固速度较快,造成溶质在凝固前沿堆积,导致合金元素在界面处偏聚。

2.2 界面处的析出物

在 Gr/Mg 复合材料的界面处存在一些大小和形状各不相同的析出物,其中有一些为粗大的针状或块状析出物,大约几百个纳米,如

图 2 所示。经过选区电子衍射(图 3)和 EDS 能谱分析,确定为 $\gamma\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 。这些粗大析出物使 Gr/Mg 界面结合加强。

此外,界面处还有一些细针状析出物,如图 4 所示。这些析出物长约几十纳米,宽仅十几纳米,通过 EDS 能谱分析发现含有 Al 元素,

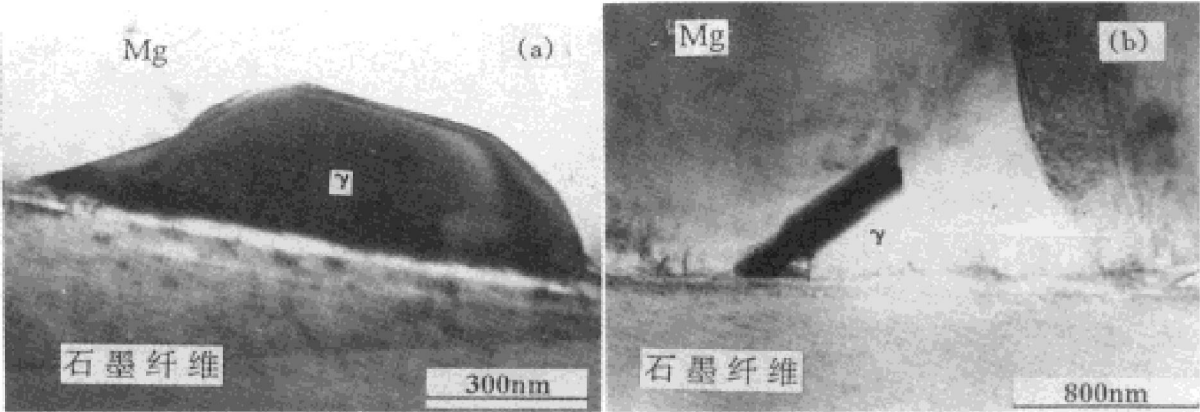


图 2 界面处粗大的析出物

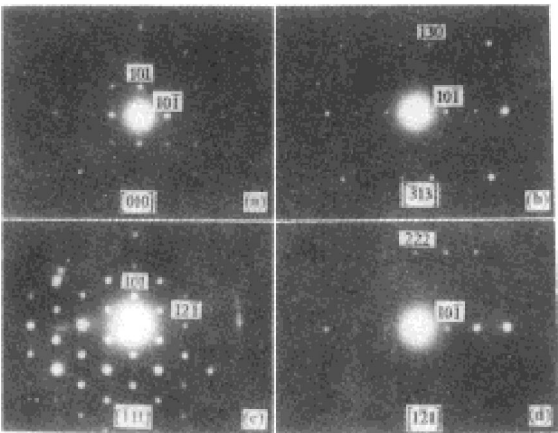


图 3 析出物的电子衍射花样

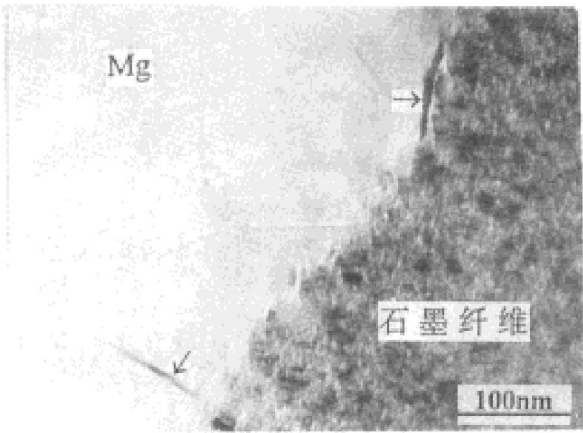


图 4 界面处细针状析出物

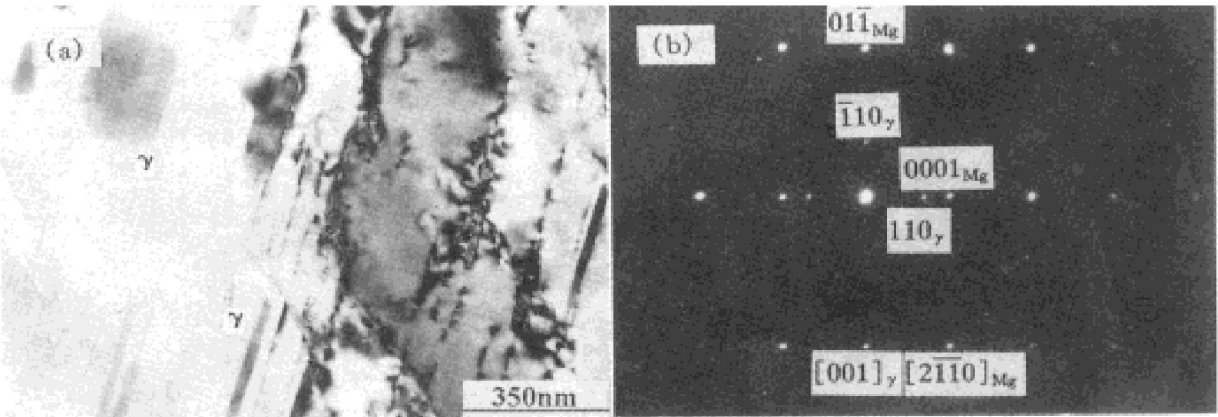


图 5 近界面区域的 γ 相(a) 及与基体的位向关系(b)

但究竟是碳化物还是 γ 相仍难以确定。

2.3 近界面区域中的析出物和晶体缺陷

在离开界面一定距离的区域内也存在 γ 相, 但此时其形貌呈现较为规则的层片状或块状(图5)。这些 γ 相是基体金属在冷却过程中析出的, 并与基体 Mg 存在一定位向关系。电子衍射斑点标定证实存在如下取向关系, 即 $(110)_{\gamma} \parallel (0001)_{\text{Mg}}$, $(\bar{1}10)_{\gamma} \parallel (01\bar{1}0)_{\text{Mg}}$, $[001]_{\gamma} \parallel [2\bar{1}10]_{\text{Mg}}$ 。

在界面附近同时还存在大量晶体缺陷, 主要是孪晶和位错。图6为金属基体中的孪晶组织。这种孪晶组织广泛存在于基体中, 且在孪

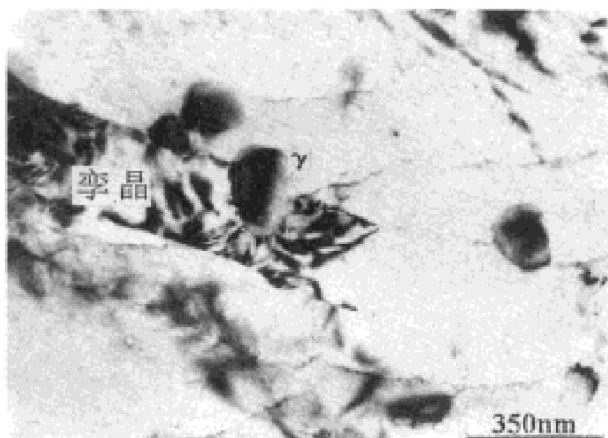


图6 金属基体中的孪晶组织

晶界上一般均有析出的 γ 相。经电子衍射分析为{012}型孪晶。位错是另一种存在于基体中的晶体缺陷, 而且缠结相当严重(图7)。这些晶体缺陷源于纤维和基体的热膨胀系数不同, 在凝固冷却过程中不可避免地在界面区域产生应力, 造成位错缠结和孪晶形成。

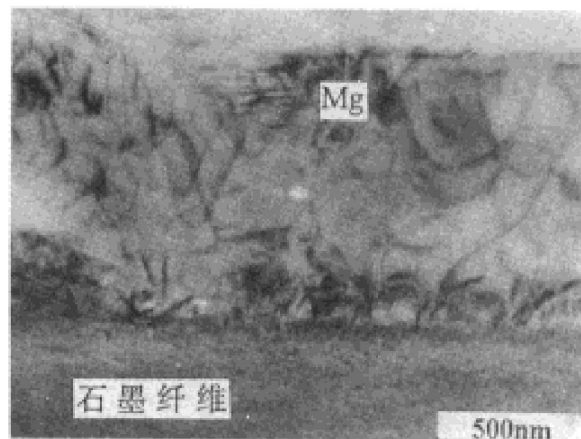


图7 基体中的位错

参考文献

- 1 Goddard D M. Met Prog, 1984, 125(5): 49- 50, 52.
- 2 McCound V P. Adv Compos, 1990, 5(4): 29- 32.
- 3 Marsden K. J Met, 1985, 37(6): 59.
- 4 Viala J C *et al.* J Mater Sci, 1991, 26(18): 4977- 84.

INTERFACE OF GRAPHITE FIBER REINFORCED MAGNESIUM MATRIX COMPOSITES

Chen Yu, Wu Zhen'gan, Gu Mingyuan, Zhang Guoding

State Key Lab of MMCs, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030

ABSTRACT The interfacial structure of graphite fiber reinforced magnesium matrix composites becomes complex because of the addition of Al into the matrix. The ZM5 magnesium matrix composites reinforced with Russia graphite fibers were made by vacuum pressure infiltration and examined by TEM. It is found that the interfacial bonding is good, there is no chemical reaction between the fibers and the matrix; but there are $\gamma\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ precipitates with different shapes and sizes on the interface, which were identified by selected area diffraction and EDS analysis. Also there are a lot of crystal defects, such as dislocations and twins, found near the interface.

Key word magnesium matrix composites vacuum pressure infiltration defects interface

(编辑 彭超群)