

Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料的高温抗氧化行为

郑卓, 孙维民, 刘正

(沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110870)

摘要: 利用综合热分析仪、扫描电镜背散射电子 (BSE) 和能谱分析 (EDS) 对 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料在 900、1000 和 1100 °C 空气中连续氧化 20 h 后的氧化增重及氧化层截面进行了研究。结果表明: Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料在空气中的氧化行为符合抛物线规律, 在 900、1000 和 1100 °C, 20 h 氧化增重分别为 2.78×10⁻²、10.4×10⁻² 和 21.9×10⁻² kg/m², 抛物线速率常数相应为 1.08×10⁻⁸、1.44×10⁻⁷ 和 6.56×10⁻⁷ kg²/m⁴·s, 氧化激活能为 274 kJ/mol。氧化层主要由 TiO₂ 和 Al₂O₃ 组成的, 连续的 Al₂O₃ 次外层可以提高其抗氧化性能。氧化层结构的改变是由于氧化温度对 Ti⁴⁺、Al³⁺ 由基体表面向外扩散和 O²⁻ 向内扩散的影响, 以及 TiO₂ 和 Al₂O₃ 在不同温度下的形核生长速率导致的。对 Al₂O₃/Ti₂AlN 而言, 控制材料与氧化气氛的界面是提高该材料抗氧化性能的关键。

关键词: 复合材料; Al₂O₃; Ti₂AlN; 氧化行为

中图分类号: TB332

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2018)09-2717-06

M_{n+1}AX_n 相材料(其中: *M* 为过渡族元素; *A* 为 IIIA 或 IVA 族元素; *X* 为 C 或 N; *n*=1, 2, 3)兼具金属和陶瓷的性质, 如导电、化学稳定性好、熔点高、抗弯曲强度和断裂韧性较高、具有良好的抗热震性能和损伤容限, 简称 *MAX* 相。*MAX* 相材料因此拥有良好的工程应用前景, 受到越来越多的关注^[1-6]。

近年来国内外对 *MAX* 相的研究对象不再局限于单相 *MAX*, 通过加入第二相颗粒可以提高 *MAX* 相的强度、硬度和抗氧化性能。利用 SiC 和 TiC^[7-12] 颗粒可以增强 *MAX* 相材料强度或提高复合材料的抗氧化性能。但由于增强颗粒的热膨胀系数等参量与 *MAX* 相不匹配, 反而会降低材料的综合力学性能^[13]。Al₂O₃ 由于具有良好的化学稳定性和与 *MAX* 相较为匹配的热膨胀行为, 可以显著降低源于热膨胀不匹配的内应力, 成为一种使用较多的 *MAX* 相增强颗粒^[14,15]。但当 Al₂O₃ 颗粒的体积分数大于 10% 时 Al₂O₃ 颗粒易发生团聚, 复合材料的性能迅速降低。由此可见如何避免第二相颗粒团聚, 成为制备 *MAX* 相复合材料需解决的一个关键问题。

为了使该材料能够在更高的温度下应用, 周卫兵^[16] 等人研究了单相 Ti₂AlN 在 800~1000 °C 下的抗氧化性能, 发现超过 800 °C 后由于表面无法形成连续的氧化膜导致材料的抗氧化性能极具下降。J. Y. Li^[17] 等人利用纳米粉末 Al₃Ti/TiN 制备的原位 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料解决第二相颗粒团聚的问题, 其 Al₂O₃ 颗粒体积分数高达 40%, 可以在 1350 °C 下保持其抗氧化性能。

但该方法技术复杂, 成本较高, 目前难以量产。郑卓^[18] 等人提出一种新的制备 Al₂O₃ 增强 Ti₂AlN 复合材料的方法, 采用 Al₃Ti 微米粉末, TiN 纳米粉末和 TiO₂ 粉末作为原料, 通过改变初始原料的配比, 制备出原位生成 Al₂O₃ 颗粒增强 Ti₂AlN 基复合材料。Al₂O₃ 增强颗粒体积分数约为 20%, 弥散分布晶粒尺寸约为 5 μm 的 Ti₂AlN 基体中, 未发生团聚。材料在室温和高温下具有较高的硬度和压缩强度。该方法所用原料合成时间短, 成本低, 有效地提高了复合材料产量和经济性。本实验进一步研究 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料在 900、1000 和 1100 °C 空气中的氧化行为, 并与单相 Ti₂AlN 材料及纳米粉制备的 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料的氧化行为做对比, 分析复合材料氧化机制, 从而得到进一步提高材料抗氧化性能的方法。这对该材料在高温下的应用有着重要的意义。

1 实验

将含 Al₂O₃ 体积分数为 20% 的 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料^[16] 线切割, 制作成尺寸为 10 mm×10 mm×2 mm 的试样, 经过打磨抛光、超声波容器清洗、干燥后备用。氧化增重测量在 SETSYS Evolution18 综合热分析仪上进行, 空气流量为 30 mL/min, 以 40 °C/min 速率从室温升至保温温度, 在保温温度恒温 20 h, 最后以 40 °C/min 速度降至室温。升温开始即计重, 到达保温温度后, 利用设备恒温热重 (TG) 附件记录在

收稿日期: 2017-09-01

作者简介: 郑卓, 男, 1982 年生, 博士, 沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110870, 电话: 024-23971962, E-mail: prenter_cn@163.com

整个升温和恒温过程中质量的变化。使用 Simplimet 3000 自动热镶样机将样品镶嵌, 打磨和抛光后, 用扫描电镜 (Inspect F50) 和能谱分析仪 (OXFORD X-Max INSTRUMENTS) 观察材料的组织形貌, 并确定氧化层的化学成分。

2 结果与讨论

2.1 氧化行为和动力学分析

图 1 是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料的单位面积增重在 900~1100 °C 温度区间随时间的变化关系, 内插图显示复合材料氧化 20 h 后增重随温度的变化关系。图中可以看出随着氧化温度的升高, 复合材料 20 h 后的单位面积氧化增重与温度呈近似线性的关系。在 900 °C 时, 复合材料的氧化增重为 2.78 mg/cm^2 , 1000 °C 时为 10.4 mg/cm^2 , 1100 °C 时为 21.9 mg/cm^2 , 氧化层均未剥落。

在研究氧化速率的规律时, 通常首先考虑抛物线规律。如果氧化动力学遵守抛物线规律, 单位面积的增重和时间的关系应当符合公式 (1)。

$$(\Delta W/A)^2 = k_p t \quad (1)$$

式中, $(\Delta W/A)^2$ 是单位面积的增重, k_p 是抛物线的速率常数, t 为时间。图 2 是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在 900~1100 °C 的单位面积增重的平方与氧化时间的关系曲线。由图可见, 在 900~1100 °C 的单位面积增重的平方 $(\Delta W/A)^2$ 与氧化时间 t 近似呈线性关系, 可以认为 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料的氧化速率近似抛物线规律。对曲线进行线性拟合得到 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在 900~1100 °C 氧化的平方速率常数, 列于表 1。

对于符合氧化增重曲线抛物线规律的材料来说, 其抛物线速率常数 k_p 与温度的关系应当符合 Arrhenius 方程, 即:

$$k_p = k_0 \exp(-Q/RT) \quad (2)$$

式中, k_p 是指前因子, R 为气体常数, T 代表绝对温度, Q 是活化能。对于此处的活化能 Q , 只有在速率决定步骤被明确定义且唯一时, Q 才具代表真正意义上的活化能。由于扩散介质的性质随温度而改变, 容易与氧化速率随温度的改变相混淆进而影响 Q 。因此, Q 只是温度的函数, 而不是真正意义上的活化能。有时也将式 (2) 进行如下转换:

$$\ln k_p = \ln k_0 - (Q/R)(1/T) \quad (3)$$

图 3 是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料的平方速率常数的对数 $\ln k_p$ 随温度 T 的变化关系曲线。由图可见, $\ln k_p$ 与温度的倒数 $(1/T)$ 的关系曲线基本符合线性规律。由公式 (3) 所计算的在 900~1100 °C 氧化活化能为 274 kJ/mol 。

周卫兵等人^[16]研究了纯 Ti_2AlN 材料在 800~

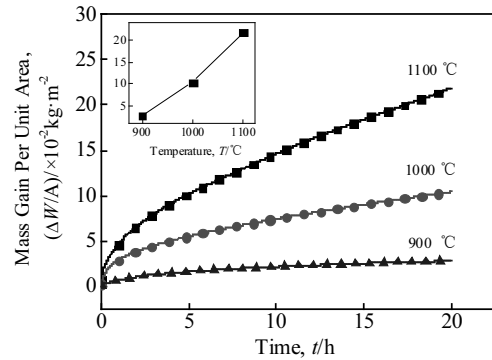


图 1 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料单位面积增重在 900~1100 °C 随时间的变化关系(内插图为氧化增重随温度的变化关系)

Fig.1 Mass gain per unit area as a function of time for $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ composite oxidized in the temperature range of 900~1100 °C in air for 20 h (insert is mass gain per unit area after oxidized for 20 h as a function of temperature)

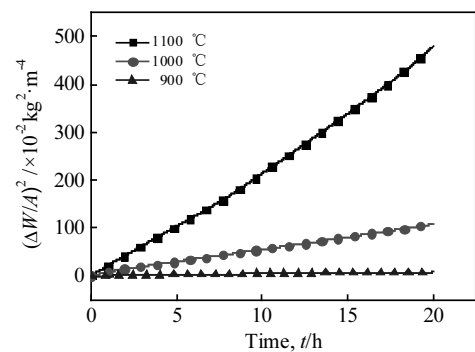


图 2 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在 900~1100 °C 的单位面积增重的平方与氧化时间的关系曲线

Fig.2 Square of mass gain per unit area as a function of time for $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ composite oxidized in the temperature range of 900~1100 °C in air for 20 h

表 1 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 在 900~1100 °C 氧化的平方速率常数
Table 1 Square oxidation constants at 900~1100 °C of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$

Oxidation temperature/°C	Square oxidation constants at different oxidation temperature, $k_p/\text{kg}^2\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{s}^{-1}$
900	1.08×10^{-8}
1 000	1.44×10^{-7}
1 100	6.56×10^{-7}

1000 °C 温度范围内的循环氧化行为。其 900 °C 的循环氧化增重约为 5 mg/cm^2 , 1000 °C 约为 43 mg/cm^2 , 与其实验结果相比, 该复合材料在 900 °C 时的单位面积增重约为单相 Ti_2AlN 材料的一半。1000 °C 的氧化

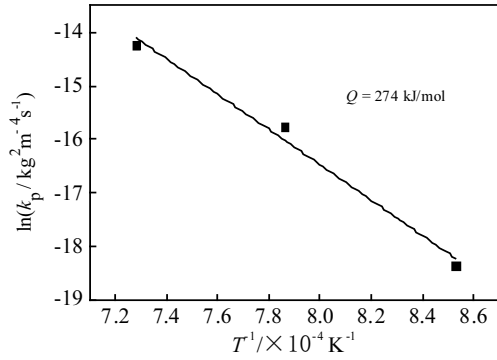


图 3 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料在 900~1100 °C 时抛物线氧化速率常数 k_p 随温度的变化关系

Fig.3 Temperature dependence of the parabolic rate constants k_p for the oxidation of the Al₂O₃/Ti₂AlN in the range of 900~1100 °C

增重约为单相 Ti₂AlN 材料的 1/4。实验表明 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料抗氧化性能明显优于单相 Ti₂AlN 材料。

2.2 氧化层的相组成与成分分析

为了进一步了解 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料高温的抗氧化性能,对氧化层的相组成和结构进行分析,图 4a, 4b 和 4c 为 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料在 900, 1000 和 1100 °C 氧化后截面的背散射电子照片,照片左边为基体。图 4d 为上述 3 个照片的示意图,其中黑色 P 线为氧化前样品的表面。图 5a 和 5b 为图 4a 中 1 号白色区域和 2 号深灰色区域对应的能谱。由图 5 的能谱分析可知,EDS 扫描能谱显示在图 5 的氧化层中白色部分为 TiO₂,深灰色部分为 Al₂O₃。由于 Al₂O₃ 层不连续混有少量 TiO₂ 颗粒,因此能谱中出现少量的 Ti 元素。

图 4a 中复合材料在 900 °C 时氧化层的厚度约为 25 μm,氧化层大致分 3 层,最外层为连续白色的 TiO₂ 结构,中间层为深灰色的 Al₂O₃ 层,内层为 TiO₂ 和 Al₂O₃ 相的混合层,结构疏松,氧化层与基体间存在 3 μm 左右宽的孔隙带;温度在 1000 °C 时,氧化层厚度达到 150 μm,最外层主要是 TiO₂,内部夹杂着 Al₂O₃,中间层是 TiO₂ 与 Al₂O₃ 交错分布,结构疏松。内层是 TiO₂ 与 Al₂O₃ 均匀分布与基体结合紧密。氧化层的中间层与最外层存在不连续的空隙带和内层之间有宽度约为 25 μm 的空隙带;当温度进一步升高到 1100 °C 时,氧化层厚度达到 270 μm,氧化层主要分 2 层,外层是连续的 TiO₂,内层为 TiO₂ 和 Al₂O₃ 相均匀分布层,内层与外层之间的空隙带宽度约为 80 μm,与基体之间的空隙带宽度约为 15 μm。

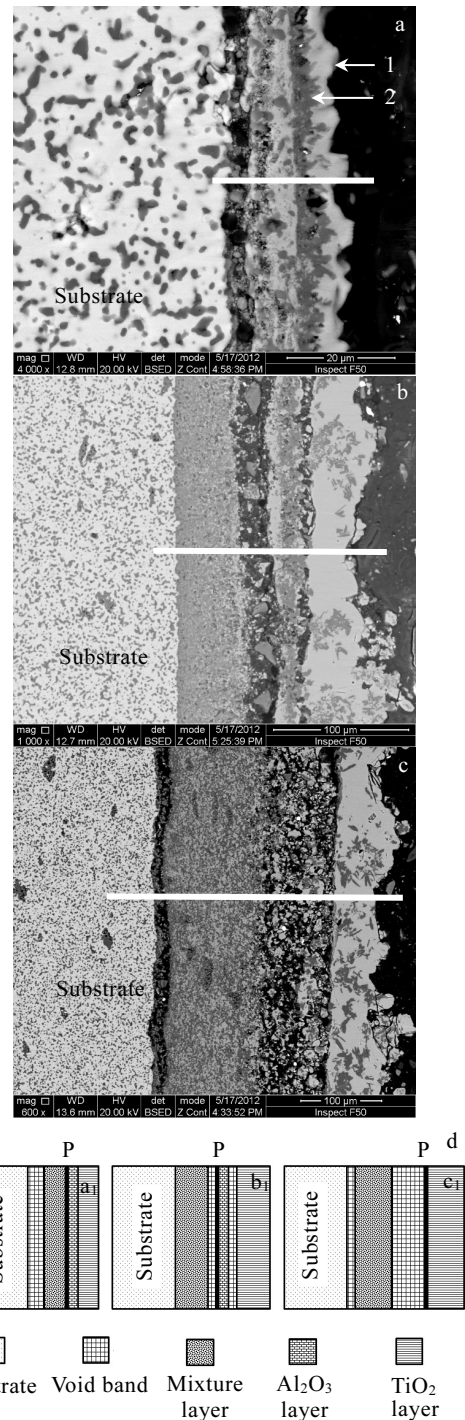


图 4 Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料氧化 20 h 后样品背散射电子像和示意图

Fig.4 BSE images of Al₂O₃/Ti₂AlN composite oxidized for 20 h at 900 °C (a), 1000 °C (b), 1100 °C (c), and schematic of Fig.4a, 4b, 4c (d)

为了进一步理解复合材料的氧化和传输过程,对基体/氧化截面沿图 4 中白色线段从左至右进行 EDS 线扫描,结果如图 6 所示。由图谱中可以明显看到

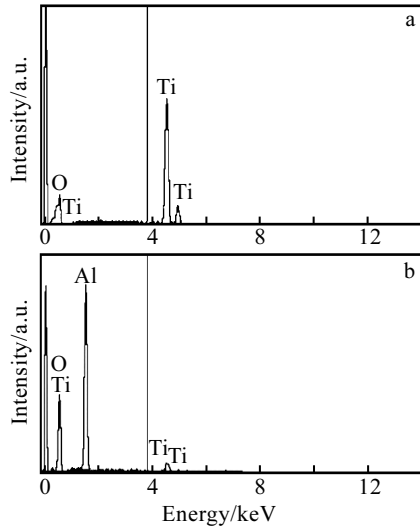


图 5 图 4a 中 1 号和 2 号区域对应的能谱
Fig.5 EDS analysis of point 1 (a) and 2 (b) in Fig.4a

Ti 和 Al 元素的峰有明显交错。图 4a, 4b 中表层富含 Ti 和 O 元素, 次外层富含 Al 和 O 元素, 图 4c 中表层仍然是富含 Ti 和 O 元素, 但是次外层 Al 元素含量大幅度减少。这与背散射电子像的观察结果相符。

2.3 氧化机制

Al₂O₃/Ti₂AlN 复合材料的氧化过程主要是 Ti⁴⁺和 Al³⁺由材料表面向外扩散和 O²⁻向内扩散的过程。温度在 900 °C 时, Ti⁴⁺和 Al³⁺的向外扩散的速度大于 O²⁻的向内扩散, 此时 Ti⁴⁺和 Al³⁺的向外扩散是氧化过程的主要控制因素。由于 TiO₂ 的晶体生长动力学优先于 Al₂O₃, TiO₂ 在垂直表面和侧向迅速长大。Ti 向外的迅速扩散, TiO₂ 在表面形成连续层, 导致材料原表面附近 Al 含量的增高, 加上复合材料内原位生成部分 Al₂O₃, 从而促进了在材料原表面位置生成连续 Al₂O₃ 次外层。Al₂O₃ 次外层的形成又使内部邻近基体富 Ti,

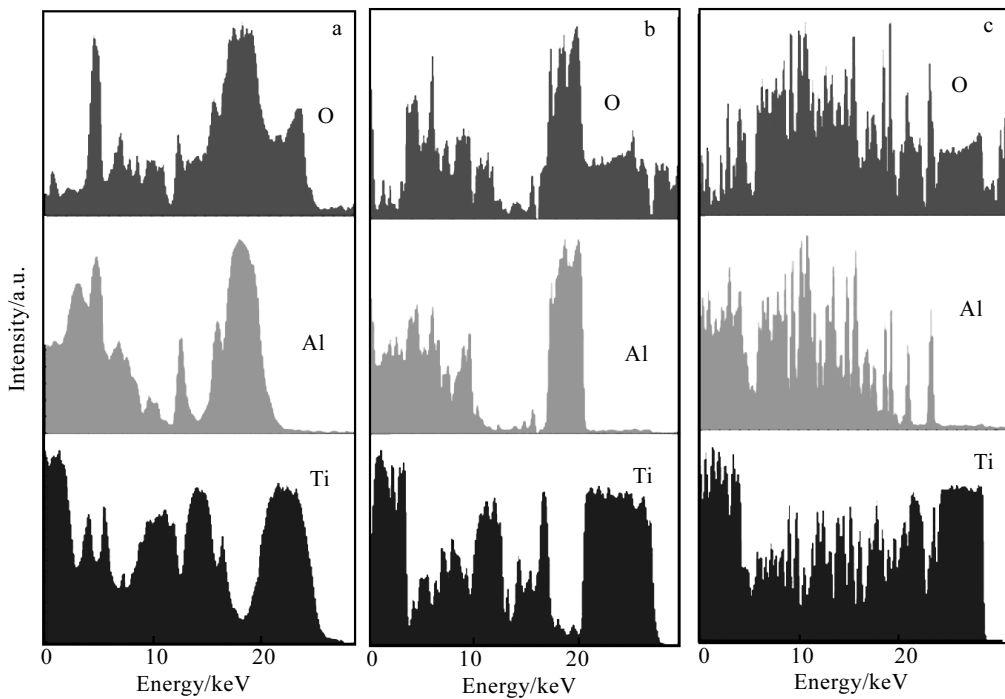


图 6 图 4a~4c 中沿划线从左至右元素浓度分布图
Fig.6 Corresponding EDS line scans along the line from left to right in Fig.4a~4c

从而形成富 TiO₂/富 Al₂O₃ 的交替结构的内层。由于 Ti⁴⁺和 Al³⁺的向外扩散导致基体内 Ti 和 Al 含量不足, 而扩散到内层 O²⁻浓度受到氧化层的阻碍, 导致基体和氧化层之间的界面处出现空隙带, 如图 4a 所示。

温度在 1000 °C 时, 氧化层表面 TiO₂ 晶体形成的速度变快, Ti⁴⁺的快速向外扩散导致 TiO₂ 层与内部出现空隙带, 使得相邻的基体富 Al 形成 Al₂O₃ 层。Ti⁴⁺

和 Al³⁺的快速向外扩散, 导致次外层与内层出现较宽的空隙带。空隙带的形成反过来影响 Ti⁴⁺和 Al³⁺向外扩散, 此时 O 通过原位内生的 Al₂O₃ 颗粒边缘进行向内扩散, 形成短路扩散。由于温度较高, O 的短路扩散速度较快, Ti⁴⁺和 Al³⁺的扩散速度相对减小, 因此内层中 TiO₂ 和 Al₂O₃ 相分布较为均匀。此时内层的氧化过程主要受 O²⁻向内扩散的控制。如图 4b 所示。

温度升高到 1100 °C 时, 氧化层外层为 TiO_2 层夹杂 Al_2O_3 相的结构, 氧化层内未出现连续的 Al_2O_3 层或富 TiO_2 /富 Al_2O_3 交替的氧化层。 Al_2O_3 在 1100 °C 下, 此时 TiO_2 的动力学生长优势掩盖了 Al_2O_3 的热力学生长优势。当 TiO_2 和 Al_2O_3 相邻生成时, 后者承受前者施加的体积拉应力致使脆性的 Al_2O_3 更易断裂, 无法生成连续的 Al_2O_3 层, 大量的 Al_2O_3 随着 TiO_2 的快速生长进入氧化表层。内部由于 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 的流失而形成大量的孔隙, 形成较宽的空隙带。与 1000 °C 相似, 此时氧化层的内层由于 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 的扩散过程被空隙带所阻碍, O^{2-} 的向内扩散成为氧化层内部的主要扩散, TiO_2 和 Al_2O_3 均匀分布在内层中。当内层达到一定厚度时, 因 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 的向外扩散和内部 O^{2-} 浓度不足而再一次形成空隙带。如图 4c 所示。

根据 Pieraggi-Rapp 模型可知, 如果氧化层/材料界面氧化反应过程受阻, 就会抑制氧化膜的生长, 降低氧化速率。通过上面实验可知, 复合材料由于原位内生了 Al_2O_3 颗粒, 降低了 Ti_2AlN 与氧的接触面积, 阻碍了 Ti 和 Al 向外扩散。在 900~1000 °C 时在次外层形成连续的 Al_2O_3 层, 但由于该 Al_2O_3 层不致密对材料抗氧化性能的提高有限。温度在 1100 °C 时, TiO_2 的快速生长导致复合材料的氧化层内无法生成 Al_2O_3 层, 内部 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 快速向外流失, 内部出现较宽的空隙带。而且复合材料内的 Al_2O_3 颗粒与基体的界面会加快 O^{2-} 向材料内部的扩散, 导致复合材料的抗氧化性能的降低。

与 J. Y. Li 等人^[17]采用纳米粉制备的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料相比, 该材料的抗氧化性能还有一定差距。原因主要在于复合材料中 Al_2O_3 的含量和基体相 Ti_2AlN 的晶粒尺寸上的差异。李菊英等人制备的复合材料中 Al_2O_3 的体积含量约为 40%, 晶粒尺寸平均在 1 μm 左右。更高的 Al_2O_3 含量可以更有效地降低基体与空气的接触面积, 可以更快速地形成连续致密的 Al_2O_3 抗氧化层; 晶粒尺寸小意味着基体内界面增多, 界面能增大, 从而降低了 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 向表面的扩散速率。因此纳米粉制备的复合材料在较高温度下具有较好抗氧化性能。为了进一步提高混合粉末制备 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料, 需要通过改善混合粉末的配比来提高复合材料中原位生成 Al_2O_3 颗粒的体积分数; 通过调节烧结工艺如: 增加压强、缩短时间等方法, 限制基体在烧结过程中的长大, 减小其晶粒尺寸, 从而提高混合粉末法制备复合材料的高温抗氧化性能。

3 结 论

1) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在 900, 1000 和 1100 °C 的氧化行为符合抛物线规律。在 900 °C 时, 氧化增重为 2.78 mg/cm^2 , 1000 °C 时为 10.4 mg/cm^2 , 1100 °C 时为 21.9 mg/cm^2 , 氧化层均未剥落。氧化激活能为 274 kJ/mol。该温度范围内, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在空气中的氧化性能明显高于单相 Ti_2AlN 材料。

2) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料在 900~1100 °C, 20 h 空气复合材料的氧化过程主要是 Ti^{4+} 和 Al^{3+} 向外扩散和 O^{2-} 的向内扩散。在 900 和 1000 °C 时原位内生的 Al_2O_3 颗粒通过形核长大可以形成连续 Al_2O_3 层, 从而降低 Ti 和 Al 向外扩散的速率, 提高复合材料的抗氧化性能。当温度升高至 1100 °C 时, TiO_2 的动力学生长优势掩盖了 Al_2O_3 的热力学生长优势, 导致 Al_2O_3 生长不连续。同时原位内生的 Al_2O_3 颗粒导致界面增多, 加速 O^{2-} 向材料内的扩散, 致使复合材料的抗氧化性能降低。

3) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}_2\text{AlN}$ 复合材料可以通过两种方法提高抗氧化性能的: 一是改变初始粉末的配比, 提高材料中原位生成 Al_2O_3 的体积分数, 从而减小氧化时基体与氧化气氛的接触面积; 二是通过调节烧结成形的工艺参数, 减小基体 Ti_2AlN 的晶粒尺寸, 增加晶界, 阻碍 Ti、Al 从表面向外扩散和 O 向内的扩散。

参考文献 References

- [1] Ivchenko V I, Kosolapova T Y. *Powder Metall Met Ceram*[J], 1976, 15(8): 626
- [2] Barsoum M W, Brodtkin D, Ei-Raghy T. *Scripta Mater*[J], 1997, 36(5): 535
- [3] Barsoum M W, Crossley A, Myhra S. *J Phys Chem Solid*[J], 2002, 63(11): 2063
- [4] Pang W K, Low I M, Kennedy S J et al. *Mater Sci Engin A*[J], 2010, 528(1): 137
- [5] Lin Z J, Zhou M J, Zhou Y C et al. *J Mater Res*[J], 2006, 21(10): 2587
- [6] Yan M, Chen Y L, Mei B C et al. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2008, 18(1): 82
- [7] Sun Dongli (孙东立), Sun Tao (孙涛), Wang Qing (王清) et al. *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(6): 1050
- [8] Spencer C B, Córdoba J M, Obando N et al. *J Am Ceram Soc*[J], 2011, 94(10): 3327
- [9] Lin Z J, Zhuo M J, Zhuo Y C et al. *Scripta Mater*[J], 2006, 54(10): 1815
- [10] Wang H J, Jin Z H, Miyamoto Y. *Ceram Int*[J], 2002, 28(8): 931

- [11] Tong X H, Okano T, Iseki T *et al.* *J Mater Sci*[J], 1995, 30: 3087
- [12] Ho-Duc L H, El-Raghy T, Barsoum M W. *J Alloy Comp*[J], 2003, 350: 303
- [13] Wan D T, Zhou Y C, Bao Y W *et al.* *Ceram Int*[J], 2006, 32: 883
- [14] Luo Y M, Li S Q, Chen J *et al.* *J Am Ceram Soc*[J], 2002, 85: 3099
- [15] Chen J X, Zhou Y C. *Scripta Mater*[J], 2004, 50(6): 897
- [16] Zhou Weibig (周卫兵), Mei Bingchu (梅炳初), Zhu Jiaoqun (朱教群) *et al.* *Materials Science & Technology*(材料科学与技术)[J], 2010, 18(14): 584
- [17] Li J Y, Mei Q S, Cui YY *et al.* *Mater Sci Engin A*[J], 2014, A607: 6
- [18] Zheng Zhuo(郑卓), Cui Yuyou(崔玉友), Yang Rui(杨锐). *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2010, 20(S1): 280

Oxidation Behavior of Al₂O₃/Ti₂AlN Composite at High Temperature in Air

Zheng Zhuo, Sun Weimin, Liu Zheng

(Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: The oxidation behavior in air of Al₂O₃/Ti₂AlN composite at temperatures of 900, 1000 and 1100 °C for 20 h were studied by oxidation mass experiment, back scanning electron imaging (BSE) and energy dispersive spectrometer (EDS). The results show that the oxidation behavior of the composite obeys a parabolic law from 900 °C to 1100 °C; its oxidation mass gain is 2.78×10^{-2} at 900 °C, 10.4×10^{-2} at 1000 °C and 21.9×10^{-2} kg/m² at 1100 °C, and the parabolic rate constant is 1.08×10^{-8} , 1.44×10^{-7} and 6.56×10^{-7} kg²/m⁴·s, respectively. The oxide activated energy is 274 kJ/mol. The oxide layer is composed of TiO₂ and Al₂O₃. The good oxidation resistance of Al₂O₃/Ti₂AlN composite is attributed to the continuous outer Al₂O₃ layer. The structure changes of oxide layer is due to the temperature effect on the diffusion rate of Ti⁴⁺ and Al³⁺ ions outward and O²⁻ inward, as well as the nucleation and growth rate of TiO₂ and Al₂O₃ at different temperatures. To control the interface between the matrix and oxidizing atmosphere is the key to improve the oxidation resistance of the Al₂O₃/Ti₂AlN composite.

Key words: composite; Al₂O₃; Ti₂AlN; oxidation

Corresponding author: Zheng Zhuo, Ph. D, School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, P. R. China, Tel: 0086-24-23971962, E-mail: prenter_cn@163.com