

文章编号:1000-2278(2009)01-0040-04

Al₂O₃/TiAl 复合材料的制备与性能研究

李文虎

(陕西理工学院材料科学与工程学院, 汉中 723003)

摘要

采用热压烧结法制备 Al₂O₃/TiAl 复合材料,研究了不同 Al₂O₃ 体积分数对 Al₂O₃/TiAl 复合材料的相对密度、弯曲强度、断裂韧性以及耐磨性的影响。研究表明,掺入 20% Al₂O₃ 时,复合材料的相对密度达到最小,随着烧结温度的不断升高,Al₂O₃/TiAl 复合材料的相对密度不断增加。当 Al₂O₃ 含量为 15%时,弯曲强度与断裂韧性达到最佳,其值分别为 865.9MPa 和 17.60MPa m^{1/2}。随 Al₂O₃ 体积分数的增加,Al₂O₃/TiAl 复合材料的摩擦系数不断增加,而磨损损失则呈先降低后增大的变化趋势,当 Al₂O₃ 含量为 15%时,在不同载荷作用下,材料的磨损损失均最小。

关键词 热压烧结 Al₂O₃/TiAl 复合材料 相对密度 耐磨性

中图分类号:TQ174.75¹⁸ 文献标识码:A

强体材料^[8]。

1 前言

Ti-Al 金属间化合物由于晶体中金属键与共价键共存,因此兼有金属的韧性及陶瓷的高温性能,以及由此产生的高的比强度、比模量、良好的抗氧化性、抗蠕变性及优良的高温强度、刚度及低的密度等,成为一类具有较好发展前景的高温结构材料^[1-2]。但是,由于 TiAl 金属间化合物具有室温脆性大、中高温强度低的性能缺陷,严重地阻碍了其实际应用^[3-4]。

增强体可提高金属间化合物基体的韧性和强度。由于长纤维和晶须制备复杂、成本昂贵,使得陶瓷颗粒增强 TiAl 基复合材料逐渐成为研究的重点^[5]。目前,被认为应用在 TiAl 基体中的增强相主要有 TiC、TiB₂、SiC、Al₂O₃ 等。

研究发现,TiC 陶瓷颗粒与 Ti-Al 化合物具有良好的相容性^[6]。热力学计算表明,TiB₂ 在 TiAl 基体中具有较好的稳定性^[7],但是这两种增强体材料的成本相对较高,限制了它们的应用。而 Al₂O₃ 因硬度高、质量轻、刚性好、化学稳定性好及耐高温等优良特性,并且 Al₂O₃ 的成本比较低廉,因而被广泛用作氧化物增

2 实验方法

原材料采用 Ti 粉(纯度>99.9%,质量分数,下同,粒度为 48μm~74μm),Al 粉(纯度>99%,粒度<74μm),Al₂O₃ 粉(纯度>99%,粒度<30μm)。其中 Ti 粉和 Al 粉按摩尔比 3:1 混合,用行星式高能球磨机球磨 24h,转速 450 r/min。然后添加体积相对百分含量为 5%~20%的 Al₂O₃ 粉末,球磨混合 6h。将均匀混合后的粉末装入石墨模具,在氩气中热压烧结,烧结时从室温升温至 1550℃,并在此温度下施加轴向压力为 30 MPa,保温 30min 随炉冷却。

烧结所得试样经过粗磨、细磨、抛光后,对其进行力学性能测试及显微组织观察分析。用 Archimedes 法测试样的相对密度;用 WAW-1000 型微机控制电液伺服万能试验机测定硬质合金材料的弯曲强度,试样尺寸为 3mm×4mm×26mm,跨距为 20mm,加载速率为 0.5mm/min;用单边切口梁法测试断裂韧性,试样尺寸为 2mm×4mm×26mm,切口宽度为 0.25mm,深度为 2.0mm,测定跨距为 20mm,加载速率为 0.05mm/min;采用 JSM-6390LU 型扫描电子显

表 1 各种试样标记

Tab.1 Labels of the samples

Al ₂ O ₃ 含量	0%	5%	10%	15%	20%
试样标记	AT0	AT1	AT2	AT3	AT4

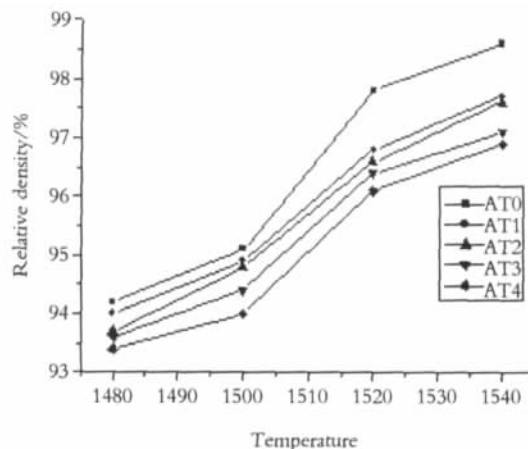
显微镜观察试样的显微组织结构。

3 结果与讨论

3.1 试样的相对密度

将各种试样作如下标记,见表 1。

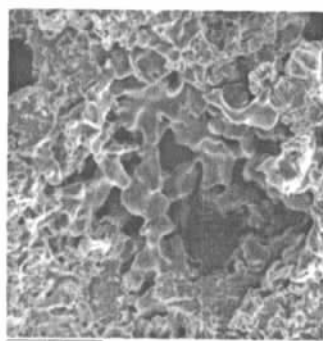
不同 Al₂O₃ 体积分数的 Al₂O₃/TiAl 复合材料的相对密度如图 1 所示。由图线的变化可以看出,复合材料相对密度随 Al₂O₃ 体积分数的增加逐渐降低,掺入 20% Al₂O₃ 时,复合材料的相对密度达到最小。其主要原因是 Al₂O₃ 的密度小于 Ti-Al 金属间化合物的密度。随着烧结温度的不断升高,不同 Al₂O₃ 体积分数的 Al₂O₃/TiAl 复合材料的相对密度不断增加,材料的致密度不断提高。主要由于在烧结温度较低时,试样在烧结过程中产生较少的液相量,此时接近于固相烧结,烧结体内留有大量的孔隙,如图 2(a)所示,当烧结温度不断提高,试样在烧结过程中产生较多的液相量,此时为液相烧结过程。在固相烧结过程中,坯体的烧结主要依靠不同组分颗粒之间的互扩散与坯体的合金均匀化过程来完成,所以坯体烧结的致密化程度较低,坯体内部存在大量的孔隙。但在液相烧结过程中,合金粉末经历了颗粒重排、固相溶解与析出

图 1 Al₂O₃ 分数和烧结温度与相对密度的关系Fig.1 Relationship between Al₂O₃ volume fraction, sintering temperature and relative density

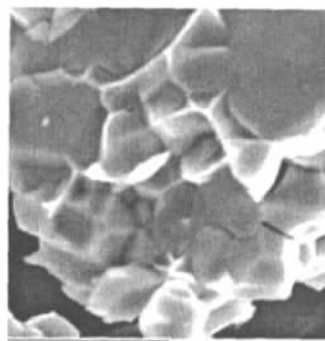
以及固相颗粒的形成等几个阶段。当液相生成后,在表面张力作用下,固体颗粒进行位置的调整与重新分布以达到最紧密的排布,这时烧结体的致密化程度和密度迅速增大,孔隙率逐渐降低^[9-10],如图 2(b)所示。

3.2 Al₂O₃ 体积分数对弯曲强度与断裂韧性的影响

在相同烧结温度制度条件下,不同试样的弯曲强度和断裂韧性如图 3、图 4 所示。随着 Al₂O₃ 体积分数的增加,Al₂O₃/TiAl 复合材料的弯曲强度与断裂韧性先增加后降低,当 Al₂O₃ 含量为 15%时,其性能达到最佳,弯曲强度为 865.9Mpa,断裂韧性为 17.60MPa·m^{1/2}。由此可见,过度的增大 Al₂O₃ 的体积含量,材料的性能并不一定都相应的提高。其主要原因是,Al₂O₃ 的弹性模量大于 TiAl 的弹性模量,当试样受到载荷作用时,弹性模量较大的 Al₂O₃ 承受较多



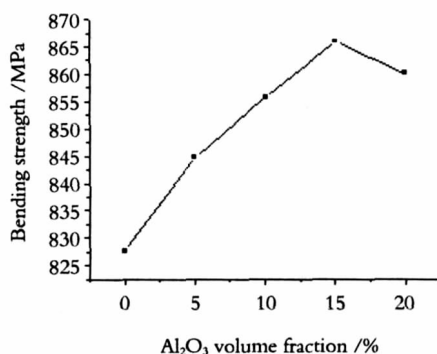
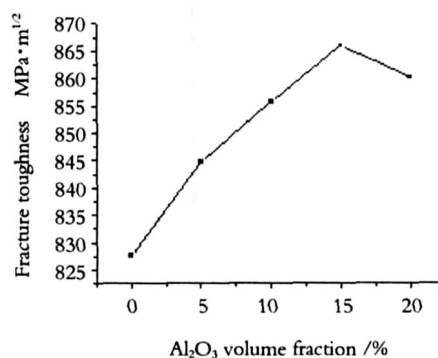
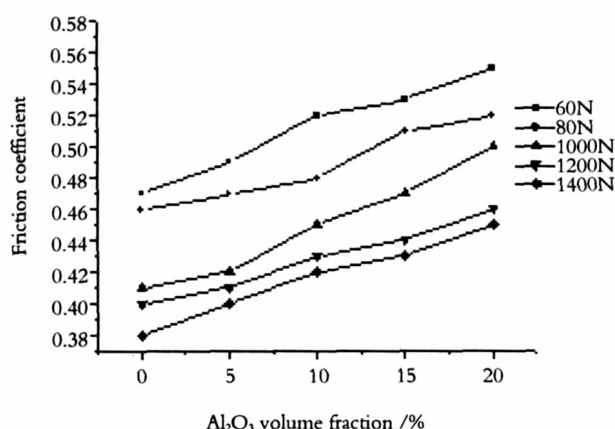
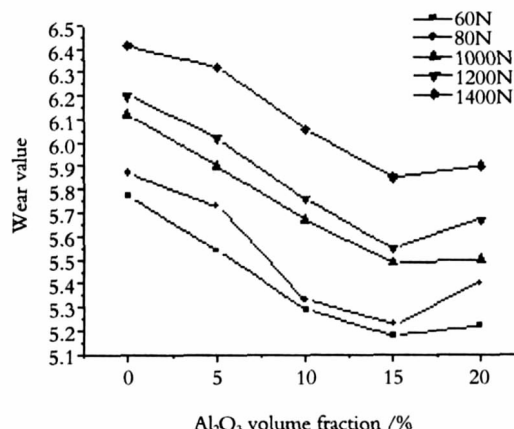
a) 1480°C



b) 1540°C

图 2 不同烧结温度复合材料的 SEM 照片

Fig.2 SEM images of Al₂O₃/TiAl samples sintered at different temperatures

图 3 Al₂O₃ 分数与弯曲强度的关系Fig.3 Relationship between Al₂O₃ volume fraction and bending strength图 4 Al₂O₃ 分数与断裂韧性的关系Fig.4 Relationship between Al₂O₃ volume fraction and fracture toughness图 5 Al₂O₃ 分数与摩擦系数的关系Fig.5 Relationship between Al₂O₃ volume fraction and friction coefficient图 6 Al₂O₃ 分数与磨损失重的关系Fig.6 Relationship between Al₂O₃ volume fraction and wear value

的载荷而使复合材料的弯曲强度得到较大的提高^[1]。但当 Al₂O₃ 含量超过 15% 时, 由于 Al₂O₃ 与 TiAl 间的晶界密度大, 在载荷作用下, 强度相对较低的晶界处易产生断裂裂纹, 以沿晶断裂为主。

3.3 Al₂O₃ 体积分数对洛氏硬度的影响

试样经粗磨、精磨、抛光、洗净、干燥后选用干摩擦方式进行磨损性实验。磨环采用硬度为 HRA90 的硬质合金。磨环尺寸为: 外径 Φ 50mm, 内径 35mm。称重使用感量 0.01mg 的电子天平。磨损后, 再次清洗、干燥, 并称重, 记录磨损失重量。实验转速为 1000r/min, 实验载荷分别为 60N、80N、100N、120N、140N。各实验都是进行总计 16000 转(2513m)的干摩擦滑动磨损。

数和磨损失重的影响如图 5、图 6 所示, 可见随着 Al₂O₃ 体积分数的增加, Al₂O₃/TiAl 复合材料的摩擦系数不断增加, 而磨损失重则呈先降低后增大的变化趋势。这是由于在 Al₂O₃/TiAl 复合材料中, Al₂O₃ 硬度高、耐磨性能好且颗粒细小均匀, 组织结构致密, 有抵抗磨粒压入和切削的作用, 成为抗磨骨架。但当 Al₂O₃ 体积分数增加到其临界值后, 由于 Al₂O₃ 与 TiAl 间的晶界密度较大, 随着磨损进行, 所萌生的裂纹不断扩展, 发展到 Al₂O₃-TiAl 两相界面后, 将沿界面扩展, 最终导致 Al₂O₃ 颗粒的剥落, 剥落的 Al₂O₃ 颗粒在摩擦过程中继续起到磨粒的作用, 使磨损更加剧烈。

4 结论

(1) 采用热压烧结法制备的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ 复合材料, 当 Al_2O_3 掺入量为 15% 时, 复合材料的弯曲强度与断裂韧性达到最佳, 其值分别为 865.9MPa 和 $17.60\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。

(2) 经过摩擦磨损试验分析表明, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ 复合材料具有较高的耐磨损性能, 随 Al_2O_3 体积分数的增加, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ 复合材料的摩擦系数不断增加, 而磨损失重则呈先降低后增大的变化趋势, 当 Al_2O_3 含量为 15% 时, 在不同载荷作用下, 材料的磨损失重均最小。

参考文献

- 1 Liu C. T. and Maziasz P. J. Microstructural control and mechanical properties of dual-phase TiAl alloys. *Intermetallics*, 1998, 6: 653~661
- 2 Sun Z. M. and Hashimoto H. Fabrication of TiAl alloys by MAPDS process and the mechanical properties. *Intermetallics*, 2003, 11: 825~834
- 3 黄旭, 齐立春, 李臻熙. TiAl 基复合材料的研究进展. *稀有金属材料与工程*, 2006, 35(11): 1845~1848
- 4 张玉军, 尹衍升. 金属间化合物陶瓷复合材料研究进展. *兵器材料科学与工程*, 2000, 23(1): 8~11
- 5 孙康宁, 尹衍升, 李爱民. 金属间化合物 / 陶瓷基复合材料. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 6 辛艳辉, 林建国, 任志昂. TiAl 合金激光表面原位 TiC 颗粒增强涂层及高温抗氧化性能. *稀有金属材料与工程*, 2005, 34(6): 899~902
- 7 高文理, 张虎, 张二林等. TiAl/TiB₂ 复合材料高温氧化膜的结构和形成机制. *稀有金属材料与工程*, 2006, 35(2): 209~212
- 8 王志伟. TiAl- Al_2O_3 纳米粉体的机械活化放电等离子原位烧结. *材料工程*, 2005, (9): 34~36
- 9 黄培云. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1997
- 10 王丹丹, 李溪滨, 刘如铁等. 烧结温度对 Ni-Cr-Mo 合金性能的影响. *材料科学与工程学报*, 2004, 22(6): 896~900
- 11 周建强. 陶瓷-硬质合金复合刀片的研制及其损坏机理研究. 济南: 山东工业大学, 1998

RESEARCH ON PREPARATION AND PROPERTIES OF $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ COMPOSITES

Li Wenhui

(School of Material Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003)

Abstract

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ composites were prepared by hot pressing. The effects of Al_2O_3 volume fraction on relative density, bending strength, fracture toughness and wear resistance of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ composites were investigated. The results show that, the relative density of composites is minimum at 20% Al_2O_3 , and with the temperature rising, the composites' relative density is on the increase. The optimal bending strength and fracture toughness is 865.9MPa and $17.60\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ at 15% Al_2O_3 . With the Al_2O_3 volume fraction rising, the friction coefficient of composites is on the increase, but the wear weightlessness goes down first and then up. The composites' wear weightlessness under different loads is the minimum at 15% Al_2O_3 .

Keywords hot pressing, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAl}$ composites, relative density, wear resistance