$Ni/Ti/Al_2O_3$陶瓷金属叠层材料的特异断裂特性

一. 成果完成人：谢可　　所在单位：机械与汽车工程学院　　指导教师：林建平

二. 成果简介：

叠层复合材料由物理、化学性能不同的材料层叠而成，其结构不仅能兼顾组分材料的优点，而且能产生有别于组分材料的奇异特性。本研究以 Al_2O_3 作为叠层材料陶瓷基体，Ti、Ni 作为延展性夹层材料，利用放电等离子烧结系统成功制备了 $Ni/Ti/Al_2O_3$ 陶瓷金属叠层材料。研究发现所制备叠层材料界面结合良好，具有比陶瓷材料更高的抗损伤容限，能够避免其在无预兆下灾难性断裂。同时实验发现 $Ni/Ti/Al_2O_3$ 叠层材料相对 Ti/Al_2O_3 和 Ni/Al_2O_3 叠层材料具有更强的抗损伤性能，其强韧化的原因在于虽然 Ti 与 Al_2O_3 形成了牢固的镶嵌结合界面，Ti 金属层由于层间束缚作用而变得硬脆化，但 Ni 金属层却依然保持塑韧性，从而形成了从强硬到塑韧的梯度过渡，达到强韧化的目的。这项研究为陶瓷金属叠层材料的制备及抗损伤断裂机理提供了一种新的方向。

三. 主要研究内容及创新点：

针对叠层复合材料的特性，利用放电等离子烧结系统成功制备了 $Ni/Ti/Al_2O_3$ 陶瓷金属叠层材料。实验证明 Ti/Al_2O_3 叠层材料可以形成牢固的镶嵌结合界面，使 Ti 金属层由于层间束缚作用而硬脆化，断裂形式最终表现为瞬间断裂（见图 1a、1b）；Ni/Al_2O_3 叠层材料由于 Ni 与 Al_2O_3 界面结合较弱，裂纹尖端被钝化和屏蔽，因此断裂曲线呈现阶梯状，其中每一次峰值后的下降对应金属在界面处的扩展（见图 1c、1d）；而 $Ni/Ti/Al_2O_3$ 叠层材料由于具备两种金属的特点，从而形成了从强硬到塑韧的梯度过渡，断裂曲线中明显出现金属塑性变形的弯曲图（见图 1e、1f），达到了强韧化的目的。此外，还通过 SEM 从微观上对材料的压痕进行观察，发现 Ti/Al_2O_3 叠层材料的裂纹更易在金属 Ti 内部发生止裂现象（见图 2a、2b、2c），裂纹扩展路径较短，消耗的能量较少，最终使裂纹一次性穿过；而在 $Ni/Ti/Al_2O_3$ 叠层材料中，由于 Ti 和 Al_2O_3 的强结合界面，让裂纹扩展到了 Ti 层，Ni 的高韧性又使得裂纹在 Ti、Ni 界面处止裂（见图 2d、2e、2f），因而整体达到强韧化效果。

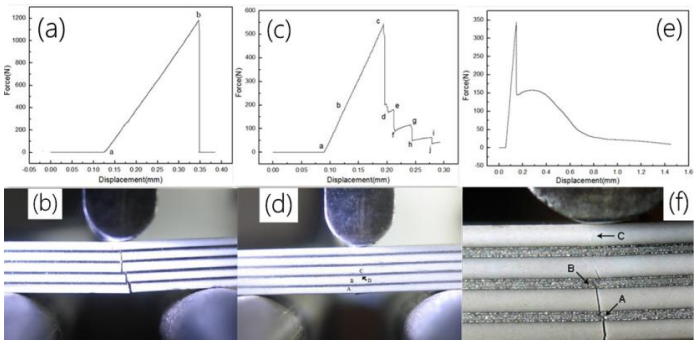


图 1 叠层材料断裂曲线与裂纹扩展路径
(a)Ti/Al_2O_3 断裂曲线(b)Ti/Al_2O_3 裂纹扩展路径
(c)Ni/Al_2O_3 断裂曲线(d)Ni/Al_2O_3 裂纹扩展路径
(e)$Ni/Ti/Al_2O_3$ 断裂曲线(f)$Ni/Ti/Al_2O_3$ 裂纹扩展路径

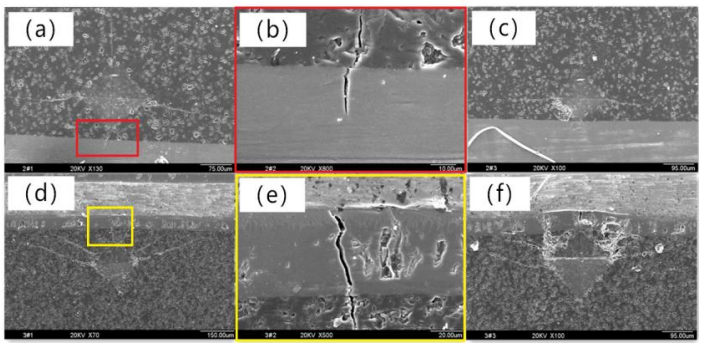


图 2 叠层材料压痕扩展裂纹 (a)Ti/Al_2O_3 压痕扩展裂纹 (b)红色区域放大图 (c)Ti/Al_2O_3 界面处压痕 (d)$Ni/Ti/Al_2O_3$ 压痕扩展裂纹(e)黄色区域放大图 (f)$Ni/Ti/Al_2O_3$ 界面处压痕

四. 主要研究成果及应用情况

[1] 林建平，郑中华，谢可，一种高损伤容限陶瓷金属复合材料及其制备方法，中国发明专利，201910571167.6。
[2] 谢可，胡亚辉，刘馨悦，郑中华，喻大钊，林建平，$Ni/Ti/Al_2O_3$ 陶瓷金属叠层材料的特异断裂特性，无机材料学报，（已投稿）。

联系人：谢可，　　电　话：19859215521　　Email:936280550@qq.coom