

密度功能梯度材料的探讨

四川联合大学 雍志华 卢校军

梯度功能材料是一种新型材料,它的特点是利用特殊的工艺使两种材料按成分或同种材料按密度逐渐地变化,从而使其性能无界面地、连续地改变。本文对密度功能梯度材料的制备方法、性能和潜在应用做了一些探讨性的研究。

关键词: 密度功能梯度材料, 制备, 应用

Study on Density Function Gradient Materials

Yong Zhihua Lu Xiaojun

(Sichuan Union University)

This paper introduces the process, property and potential application of density function gradient materials.

Keywords: density function gradient materials, process, application

1 前言

随着现代科学技术的发展,各种新材料不断涌现,功能梯度材料(简称FGM)就是近几年发展起来的一种全新的材料。所谓功能梯度就是在制造过程中,使构成材料的要素(组成、结构、孔隙率等)沿厚度方向由一侧到另一侧呈连续变化,使得内部没有明显界面,从而使材料性质和功能也呈连续变化的一种新材料。功能梯度材料概念是日本学者1984年提出来,并于1987年开始进行这方面的研究。美国、法国、德国、前苏联等也相继开展了FGM的研究工作,而我国在这方面的的工作才刚刚起步,研究手段和方法都不十分成熟。尤其是在密度功能材料方面还未见报导。

本文探讨以孔隙率逐渐变化而形成的密度功能梯度材料。通过它的试制和测试,得出一些有关密度梯度材料的实验结果,这些结果对FGM的进一步研究和应用,将具有一定的参考作用。

2 试样制备及试验方法

据国外资料报导,FGM的制备可采取不同的方法,如化学气相沉积法、物理蒸镀法、等离子喷涂法、自蔓延高温合成法、粉末冶金法等。粉末冶金法制取FGM是将不同混合比的颗粒在成型时呈梯度分布,再压制烧结

而成。目前我们已用此方法试制出了厚6mm的密度梯度材料。

该材料是在铁基粉末中加不同比例的硬脂酸锌,烧结时硬脂酸锌分解以后,孔隙率连续变化,成为密度呈连续变化的密度梯度功能材料。具体方法是在铁基粉末中分别加入1%、2%、3%、4%、5%、6%的硬脂酸锌,经混匀后按梯度压制成型梯度材料,每层厚1mm,直径22.3mm,共6层。然后在真空炉中烧结成制品,其烧结工艺与一般铁基材料基本相同。考虑到含硬脂酸锌较高,先进行低温预烧和在低温加长保温时间,以利于压坯中成形剂和润滑剂的排出,避免压坯烧结后起泡、产生裂纹等。

3 结果与讨论

对试制出的密度梯度材料进行物理、化学和力学性能的测试,其结果见表1。其中层次1-6分别代表含1%-6%硬脂酸锌的梯度材料,硬度、抗弯强度分别采用布氏硬度计和万能材料试验机进行测试;磨耗比测试是用样品与砂轮对磨,用样品的磨损量除以砂轮磨损量得磨耗比;耐蚀性测量是用20%的盐酸溶液浸泡样品3天,称其腐蚀前后的重量,得各层的腐蚀量;电阻测量采用消除接触电阻的双臂电桥电路。

表1 密度功能梯度材料的性能测试

层次	1	2	3	4	5	6
密度 (g/cm ³)	6.646	6.614	6.501	6.379	6.215	6.028
硬度 (kg/mm ²)	121.5	95.21	91.25	84.32	78.38	68.58
抗弯强度 (kg/mm ²)	850.0	766.7	700.0	650.0	558.3	341.7
磨损比	0.742	1.478	2.723	4.407	16.43	19.59
腐蚀量 (g)	0.517	0.712	0.914	1.223	1.837	2.250
电阻 (10 ⁻⁴ Ω)	7.334	7.685	7.785	7.860	8.040	8.741

从表1可得出:随着硬脂酸锌的增加即孔隙率的增加,材料各层的密度近连续降低,形成密度梯度材料;该材料的硬度、抗弯强度、耐磨性、耐蚀性随密度的下降而逐渐减小,呈现梯度性;该材料的电阻随密度的减小而近连续增大,呈现电阻方面的梯度。

将密度梯度材料抛光腐蚀表面后,用金相显微镜观察其金相组织。从图像可以看出,虽然各层密度不同,但金相组织基本相同,与铁基制品金相组织类似。从抛光未腐蚀的样品表面观察到各层孔隙由小逐渐变大,呈连续变化,从而导致其密度也呈近连续变化。而且,从其金相像片还发现该梯度材料层与层间的界线已消失。这是由烧结的扩散运动所引起,扩散运动受烧结温度、颗粒大小和烧结时间等因素的影响,其中起首要作用的是烧结温度,烧结过程中原子扩散速度随温度升高而显著增大。该材料在烧结过程中由于温度较高,烧结时间较长,所以扩散运动相当激烈,由于这种扩散运动使两层之间相互扩散,使得界面消失。从梯度材料的测试结果可知,梯度材料的特性与均一材料和复合材料有类似之处,也有明显区别。均一材料的物理、化学、力学性能是均匀的;复合材料由于存在界面,在界面两侧其性能相差很大;而梯度材料由于成分从一侧到另一侧呈梯度变化,并且无特定界面,从而使得该材料的性能平稳变化,因此缓和了表层和底层之间的应力,不致产生剥离、脱落和破坏,而且在两侧利用其密度不同的优点。因此,密度梯度材料具有许多其它材料所无法比拟的长处,从而使其成为一种新颖独特的材料,具有广阔的应用前景。

4 应用前景

密度梯度功能材料的应用领域主要有宇航工业、生物医学工程、电子工程、光学工程、化学工程等。用于宇航工业,可解决高速飞行器中的热应力缓和。它通过材料的梯度变化,使性能平稳变化,缓和了高温下表面材料工程

与底层之间热膨胀失配导致的热应力;用于生物医学工程,可制作人造牙齿、关节等,就人造牙齿而言,牙根部分采用不同密度的材料,由外向里气孔减少,以适应人体和提高牙齿的强度;用于电子工程,可通过调整材料的组成,使其密度梯度化,从而PZT等压电陶瓷的压电系数和温度系数等性能可以得到最恰当的分配,获得性能更佳电子元件。我们相信,随着密度梯度功能材料的进一步研究和开发,将在越来越多的领域中得到应用。

5 结论

(1)成功地试制出了密度梯度功能材料,其抗弯强度、硬度、耐磨性、耐腐蚀性等随密度近连续下降而逐渐减小;电阻随密度减小而缓慢增大,呈现物理、化学和力学性能的梯度性。

(2)在烧结过程中存在相当激烈的扩散运动,使得界面消失,从而使该材料的性能从一侧到另一侧呈平稳变化,使制品不易产生剥离、脱落现象。

参考文献

1. 赵伟彪等,功能材料,1993,24(3):277~281
2. 陈炳贻,材料工程,1993,7:45~47

(上接第41页)

而与膜层厚度无关。因此,如不考虑增加膜层数结构复杂的代价,只要增加反射面数就可得到高屏蔽作用。但这要求各反射膜层不能互相连结在一起,其间至少需留出一充以空气或介质材料的小空间。膜层的厚度 t 小于电磁波波长 λ 的四分之一时(即 $t < \lambda/4$ 的膜层屏蔽),总屏蔽效果与频率无关。在上表中的是高频率 10^6kHz , $\lambda/4 \approx 3.5\mu\text{m}$,而 $t = 2\mu\text{m}$ 。因而总的屏蔽趋于一常数。而对于 $t = 5\mu\text{m}$ 的屏蔽膜,在电磁波的频率小于 10^6kHz ,屏蔽仍保持常量,但在大于 10^6kHz 范围,屏蔽值将随频率而变化。

一般情况下,屏蔽效果的计算值总是高于测量值^[6]。但我们上表中的结果恰与之相反,其原因主要有二:其一是在计算中我们将双面膜层厚度之和一并考虑,而在实测中是多了一个反射作用;其二是计算中忽略了Ni-P层的屏蔽作用。在目前的测试条件下,二者相差10dB是正常的,由此可以得出,化学镀Cu/Ni-P双镀层的屏蔽效果计算值与实际测量值是相符的。

ABS塑料化学镀Cu/Ni-P镀层有良好的电磁屏蔽功能,屏蔽效果已达到(部分超过)美国FCC军用标准及德国的VDE标准。镀层附着力达到一级划痕水平。

参考文献(略)