

粉末叠层法制备铜铝梯度功能材料的工艺研究

辛鑫, 王强, 尚久亮, 刘忆

辽宁工程技术大学材料科学与工程系, 辽宁阜新 (123000)

E-mail: 0308010316@163.com

摘 要: 本文介绍了梯度功能材料的发展, 本实验以铜、铝为原料利用粉末叠层法制备铜铝梯度功能材料, 实验证明: 经初烧后的试样再经过复压和复烧两个工艺处理后, 会使压坯密度进一步提高, 硬度和导电性也相对提高。

关键词: 梯度功能材料, 粉末叠层法, 电导率

0、引言

材料是现代科学技术和社会发展的支柱^[1], 现代高科技的竞争在很大程度上依赖于材料科学的发展。对材料, 特别是对高性能材料的认识水平、掌握和应用能力, 直接体现国家的科学技术水平和经济实力, 也是一个国家综合国力和文明进步速度的标志。因此, 新材料的开发与研究是材料科学发展的先导, 是 21 世纪六大高科技领域的基石^[2]。

所谓功能梯度材料(Functionally Gradient Materials简称FGM)是以计算机辅助材料设计为基础, 采用先进的材料复合技术, 使构成材料的要素(组成、结构)沿厚度方向由一侧向另一侧呈连续变化, 从而使材料的性质和功能也呈梯度变化的新型材料^[3]。

根据不同的梯度性质变化, 功能梯度材料可分为密度功能梯度材料、成分功能梯度材料、光学功能梯度材料和精细功能梯度材料等。根据不同的应用领域, 功能梯度材料可分为耐热功能梯度材料、生物功能梯度材料、化学工程功能梯度材料和电子工程功能梯度材料等^[4]。功能梯度材料是 21 世纪最有发展前景的新型材料之一。功能梯度材料一出现就引起了世界各国的广泛兴趣和关注。日本已经将其列入日本科学厅资助的重点研究开发项目, 美国在 1993 年国家标准技术研究所开始开发超高温耐热氧化保护涂层为目标的大型功能梯度材料研究项目^[5]。法、德、瑞士、俄等国的研究机构纷纷开展此项工作。我国武汉工业大学袁润章教授最早提出了功能梯度材料的概念, 并在金属-陶瓷复合刀具的研究中开始了这方面的工作^[6]。本实验是利用粉末叠层法制造铜铝功能梯度材料, 主要是为了解决, 大型用电设备的电流导线与外部电源线的接头问题, 本实验的方法具有设备简单、工艺操作方便易行等优点, 并能够获得比较满意的梯度材料制品。

1、实验过程及方法

1、1 实验材料

本实验所用材料为铜粉和铝粉, 其基本性质见表 1-1。

表 1-1 实验用铜、铝粉末的基本性质及技术指标

Tab.1-1 Basic quality and the target of techniques on Cu-Al powder used in the experiment

材料名称	纯度 / %	粒度 / 目	杂质含量 / wt%
铜粉	≥99.8	200	Fe<0.015%, Pb<0.03%, 水分<0.05%,
铝粉	≥99.0	100-200	Si≤0.21%, Fe≤0.32%, Cu≤0.1%

1、2 实验设备

用 WE-30 型液压式万能试验机来压制试样；DRZ-4 型箱式电阻炉中对不同试样在不同的烧结温度下进行烧结；用 SSX-550 型号扫描电镜对烧结前后的试样进行观察；7501 型涡流导电仪测电导率；用 HX-1 型号显微硬度测量试样的显微硬度。

1、3 实验设计

1、3、1 试样制备流程

试样制备工艺流程为：混料→铺层→初压制→脱模→初烧结→冷却→复压制→脱模→复烧结→冷却→烧结体。

1、3、2 模具设计

1) 初压模具的设计

在本实验中，初压模具 H 取 15mm 左右 D 取 27mm。

2) 复压模具的设计

由于初压后的坯料用线切割机切开，形成 $8\text{mm} \times 8\text{mm} \times 16\text{mm}$ 的长方体，为了对其进行复压就需要做一个相应的模具 $H=35\text{mm}$ 模具内孔为 $(8 \pm 0.15)\text{mm} \times (8 \pm 0.15)\text{mm}$ 的正方形孔。

1、3、3 混合粉末成分配比

功能梯度材料的设计的目的是为了获得最优化的材料组成和相对较好的性能。梯度功能材料的研究开发的针对性很强，在对梯度功能材料进行设计时必需首先考虑具体的使用环境通过逆向设计程序 (Inverse Design Procedure) 找到最佳梯度分布。在研究梯度功能材料时，人们通常导入成分分布函数来对梯度功能材料进行最优设计。本实验对 5 层、6 层及 7 层的梯度材料进行了研究。如表表 1-3，表 1-4，表 1-5 所示。

表 1-2 分 5 层的梯度材料每层的 Cu、Al 成分含量

Tab1-2 The Cu-Al content of every stratum to the functionally gradient materials which divide five stratum

层数	1	2	3	4	5
混合比(Cu: Al)	100: 0	75: 25	50: 50	25: 75	0: 100
铜 Cu/g	15.308	11.481	7.654	3.827	0
铝 Al/g	0	1.161	2.322	3.484	4.644

表 1-3 分 6 层的梯度材料每层的 Cu、Al 成分含量

Tab.1-3 The Cu-Al content of every stratum to the functionally gradient materials which divide six stratum

层数	1	2	3	4	5	6
混合比(Cu: Al)	100: 0	80: 20	60: 40	40: 60	20: 80	0: 100
铜 Cu/g	12.76	10.21	7.65	5.10	2.55	0
铝 Al/g	0	0.77	1.55	2.32	3.10	3.87

表 1-4 分 7 层的梯度材料每层的 Cu、Al 成分含量

Tab.1-4 The Cu-Al content of every stratum to the functionally gradient materials which divide seven stratum

层数	1	2	3	4	5	6	7
混合比(Cu: Al)	100: 0	85: 15	65: 35	50: 50	35: 65	15: 85	0: 100
铜 Cu/g	10.934	9.294	7.107	5.467	3.827	1.640	0
铝 Al/g	0	0.498	1.161	1.659	2.156	2.820	3.317

本实验选用机械式干混法机械混合,称量完各种配比的铜、铝粉末之后,利用自制混料机混合铜粉和铝粉 2 小时。

1、3、4 压制压力设计

本实验的初压压力取 450MPa、500MPa、550MPa,复压压力取 500MPa、550MPa、600 MPa。

1、3、5 烧结温度的设计

考虑本实验条件的限制,初烧和复烧的温度都低于 660℃,分别为,初烧温度为 520℃、535℃、550℃,复烧的温度为 540℃、565℃、590℃。粉末的等温烧结过程大致可分为三个界限不是十分明显的阶段,如图 1-4 所示。

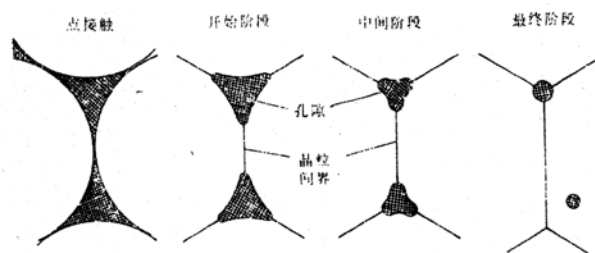


图 1-4 烧结阶段的示意图
Fig.1-4 The sketch of sintering phase

2、实验结果分析

2、1 铜铝功能梯度材料试样显微组织分析

用 SSX-550 型号扫描电镜对烧结前后的试样进行观察,图 3-1, 3-2 分别为 7 层初压 500MPa 和 5 层复烧 565℃时的铜铝过渡显微组织观察。铜铝梯度材料从铜端逐渐过渡到铝端的 SEM 照片,从照片上可以清晰的看出试样的梯度分布情况。图中颜色较浅的为铝,颜色较深的为铜。初压时的铜与铝之间的结合属于机械结合如图 2-1 所示。烧结后铜铝的界面结合较好,主要是冶金结合。如图 2-2 所示。

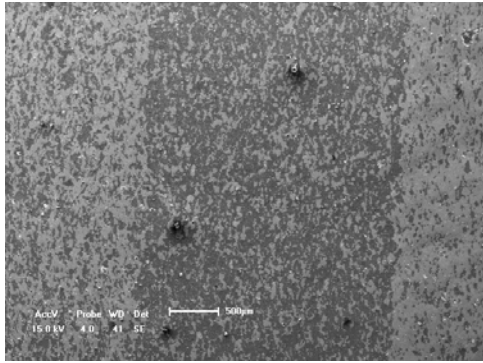


图 2-1 7 层初压 500MPa SEM 照片
Fig.2-1 The SEM picture of first press
the seven stratum at 500 Mpa

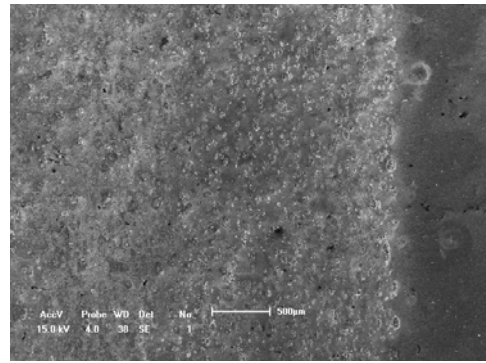


图 2-2 5 层复烧 565°C SEM 照片
Fig.2-2 The SEM double burn picture of
five stratum at 565°C

烧结前铜、铝的结合界面疏松且有明显的界面，而在烧结后更加致密且几乎没有明显界面存在，因而烧结后铜、铝界面结合更紧密。

2、2 导电性分析

本实验利用 7501 涡流导电仪，即可获得精确的测量结果。根据电导率的实验结果，列出电导率结果计算表如表 3-1 所示。因为实验的最终目的是导电率越高越好，所以根据直观图 2-3，2-4，2-5，2-6 得到导电率最优的生产工艺是：7 层，初压压力为 450MPa，初烧温度为 550℃，复烧温度为 565℃。并且由四个因素的极差可以看出影响导电性的主要因素是初烧温度。本实验电导率能达到 40 MS/m。

表 2-1 电导率结果计算表
Tab.2-1 The caculate table of conductance rate

所在列 因素	1 层数	2 初压/MPa	3 初烧/℃	4 复烧/℃	实验结果/MS/m -1
实验 1	5	450	520	540	36.5
实验 2	5	500	535	565	33.9
实验 3	5	550	550	590	35.0
实验 4	6	450	535	590	35.4
实验 5	6	500	550	540	38.2
实验 6	6	550	520	565	33.5
实验 7	7	450	550	565	42.0
实验 8	7	500	520	590	36.5
实验 9	7	550	535	540	35.0
均值 1	35.133	37.967	35.500	36.567	
均值 2	35.700	36.200	34.767	36.467	
均值 3	37.833	34.500	38.400	35.633	
极差 R	2.700	3.467	3.633	0.934	

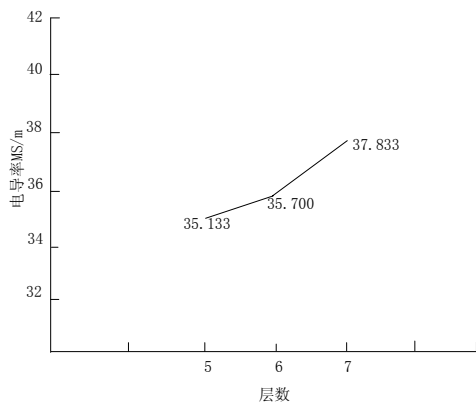


图 2-3 层数对电导率的影响
Fig.3-3 The influence of stratum to conductance rate

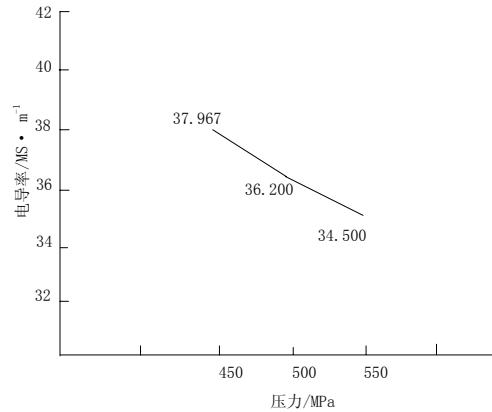


图 2-4 初压压力对电导率的影响
Fig.3-4 The influence of initial pressure to conductance rate

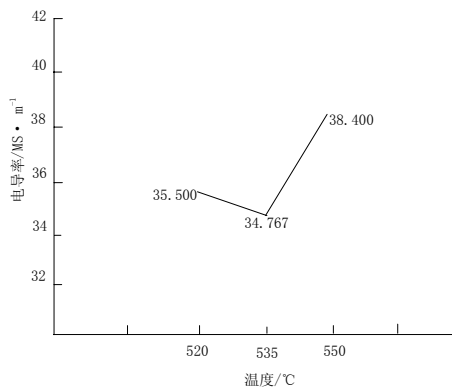


图 2-5 初烧温度对电导率的影响
Fig.3-5 The influence of initial firing temperature to conductance rate

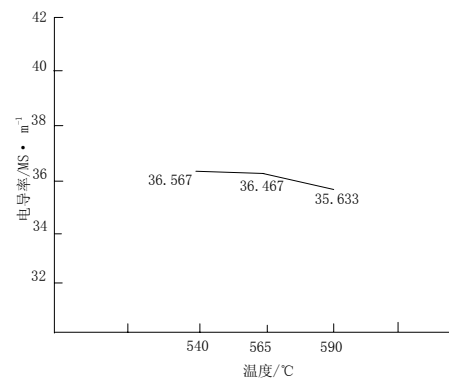


图 2-6 复烧温度对电导率的影响
Fig.3-6 The influence of resintering temperature to conductance rate

2、3 硬度分析

硬度也是铜铝功能梯度材料的一个很重要的性能，本实验用 HX-1 型号显微硬度测量试样的显微硬度，用正交实验法进行实验和最后的数据分析。在粉末冶金制品中，试样的必然存在的孔隙导致了硬度的偏低，本实验中的平均显微硬度是 50-70 HV，根据实验结果列出显微硬度结果计算表如表 2-2 所示。

表 2-2 显微硬度结果计算表
Tab.2-2 The calculate figure of microhardness

所在列	1	2	3	4	
因素	层数	初压 / MPa	初烧 / °C	复烧 / °C	实验结果 / HV
实验 1	5	450	520	540	51.19
实验 2	5	500	535	565	61.57
实验 3	5	550	550	590	64.21
实验 4	6	450	535	590	65.02
实验 5	6	500	550	540	54.23

实验 6	6	550	520	565	68.20
实验 7	7	450	550	565	73.20
实验 8	7	500	520	590	71.40
实验 9	7	550	535	540	68.31
均值 1	58.990	63.137	63.597	56.243	
均值 2	62.483	62.400	63.300	67.657	
均值 3	69.303	65.240	63.880	66.877	
极差 R	10.313	2.840	0.580	11.414	

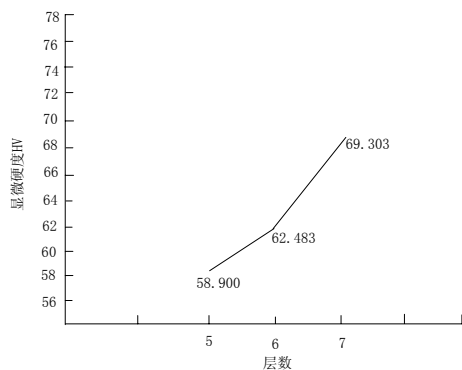


图 2-7 层数对显微硬度的影响
Fig.2-7 The influence of stratum to microhardness

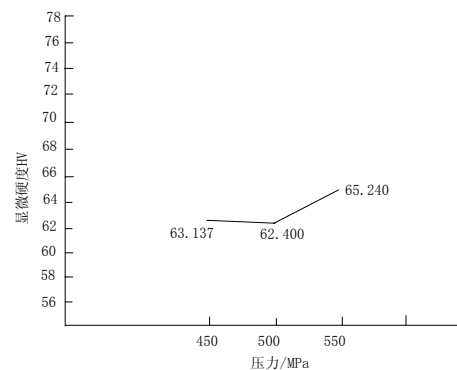


图 2-8 初压压力对显微硬度的影响
Fig.2-8 The influence of initial pressure to microhardness

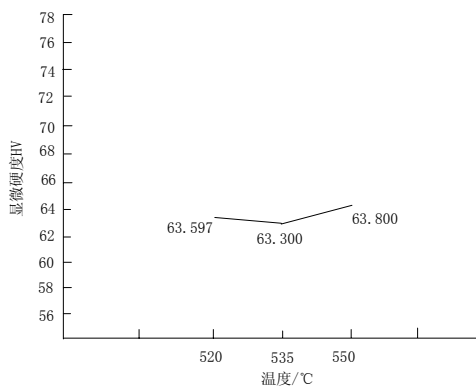


图 2-9 初烧温度对显微硬度的影响
Fig.2-9 The influence of initial firing temperature to microhardness

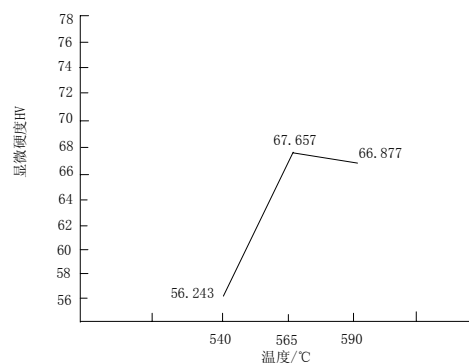


图 2-10 复烧温度对显微硬度的影响
Fig.2-10 The influence of resintering temperature to microhardness

由显微硬度的直观分析图 2-7, 2-8, 2-9, 2-10 可以看出要得到较高的显微硬度最好的工艺是 7 层, 初压压力为 450MPa, 初烧温度为 550℃, 复烧温度为 565℃。并且根据四个极差可以看出复烧温度对显微硬度的影响最大, 其次是层数的多少对显微硬度的影响。

3、结论

- 1) 采用粉末叠层法, 能够制备出成本较低、性能较好的铜铝梯度功能材料。
- 2) 初烧后的试样再经过复压和复烧两个工艺处理后, 会使压坯密度进一步提高, 硬度和导电性也相对提高。

3) 本实验采取正交实验法,不但可以减少工作量而且还可以很直观地看出最佳制备工艺: 7层初压压力为 550MPa, 初烧温度为 535℃, 复烧温度为 540℃。

参考文献

- [1] 徐僖. 高分子材料科学研究动向及发展展望[J]. 功能材料, 2001, 32: 24~28.
- [2] 萧小月, 徐燕. 材料化学研究进展[J]. 硅酸盐学报, 1996, 24(3): 322~327.
- [3] 郑子樵, 梁叔全. 梯度功能材料的研究与展望[J]. 功能材料, 1992, 10(1): 1~5, 16.
- [4] 黄旭涛, 严密. 功能梯度材料: 回顾与展望[J]. 材料科学与工程, 1997, 15(4): 35~38.
- [5] 李碧容, 雍歧龙, 张国亮. 功能梯度材料的发展、制备方法及应用前景[J]. 云南工业大学报, 1999, 15(4): 56~58.
- [6] 夏耀勤, 王敬生. 功能梯度材料的制备方法与研究进展[J]. 金属材料研究, 1998, 24(2): 11~14.

Powder one pile of laws prepares the craft research of the copper aluminium gradient function material

Xin Xin, Wang Qiang, Shang JiuLiang, Liu Yi

Liaoning project technology university Material science and engineering department Fuxin of Liaoning (123000)

Abstract

This text has introduced the developing of the gradient function material, this experiment is with copper, aluminium is that raw materials utilize powder one pile of laws to prepare copper aluminium gradient function material, The experiment proves: The sample after burning for the first time is after replying and pressing and replying and burning two crafts to deal with, can make, pigeonhole the base density, raise further, hardness and electric conductivity will be improved relatively

Keywords: Gradient function material. Powder one pile of laws .Conductivity