

Design and Fabrication of W-Mg Graded Density Impactor

A-ting Gao¹, De-gui Zhu²

Key Laboratory of Advanced Technologies of Materials, Ministry of Education, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China

Email: whw232@126.com¹, dgzhu@home.swjtu.edu.cn²

Abstract: In order to simulate the influence of high-speed movement space debris on the spacecraft, a graded density impactor is needed to collide with the secondary flier-plate, so that its speed can approach that space debris. In this paper, a methodology is described for fabrication of W-Mg functionally graded materials with density gradient, using metal W and Mg powder as raw materials, according to the designed ratio of mixed powder, mixture powders were layered into mold and uniaxially pressed together, finally, sintered under hot isostatic pressing. The impactor's Surface morphology from the magnesium-rich side to the tungsten-rich side can be observed by SEM, the results show that regular shaped tungsten particles were bonded together by magnesium, through energy spectrum analysis can be seen that W-Mg content showed gradient trend along the thickness direction.

Keywords: graded impactor materials; design; fabrication; SEM

W-Mg 密度梯度飞片的设计及制备

高阿婷¹, 朱德贵²

西南交通大学材料先进技术教育部重点实验室, 成都, 中国, 610031

Email: whw232@126.com¹, dgzhu@home.swjtu.edu.cn²

摘要: 为了在地面上模拟高速运动的太空碎片对航天器的影响, 需用一种密度梯度飞片材料撞击二级飞片, 使其接近太空碎片的速度。本文介绍了以金属钨和镁粉末为原料, 按照设计好的配比混合粉末, 逐层铺叠压制成型后, 用热等静压烧结技术制备出 W-Mg 密度梯度飞片材料。通过 SEM 观察表面形貌可以看到从飞片的富镁侧到富钨侧的形貌变化, 通过观察断面形貌可以看出烧结后规则形状的钨颗粒被镁包裹粘接在一起, 通过电子探针进行能谱分析可以看出沿着厚度方向, W-Mg 含量呈现梯度化趋势。

关键词: 梯度飞片材料; 设计; 制备; SEM

1 引言

近年来, 随着太空航天器数量的增加, 以及太空垃圾的增多, 太空航天器经常受到太空碎片的撞击, 为了在地面上模拟高速飞行的太空碎片对航天飞行器的影响, 需要设计出一种密度梯度飞片材料, 密度梯度飞片材料是指材料密度沿厚度方向按一定规律连续或准连续变化的飞片材料, 当密度梯度飞片材料撞击二级飞片时, 由于此时实现了对二级飞片的准等熵加载, 二级飞片的温升显著减少, 一级飞片传给二级飞片的能量主要转化为它的动能, 因而二级飞片的速度比使用通常的均质一级飞片时所能达到的速度大大提

高。另一方面, 由于二级飞片中传播的是准连续或连续变化的准等熵压缩波, 此压缩波在二级飞片自由面的卸载过程也表现为多个连续波的逐步卸载, 所以能有效避免传统均质一级飞片对二级飞片加载过程中所发生的卸载熔化或汽化现象, 实现二级飞片 10km/s 以上超高速发射^[1]。

目前主要的梯度飞片材料的制备分两种: 一种是多层组合飞片, 选定好材料后一般采用粘结法或焊接法制备, 这种飞片制备方法简单, 但是密度是阶梯状上升的; 一种是密度渐变“Pillow”飞片, 一般采用粉末冶金法制备, 通过控制飞片在厚度方向上不同位置的材料组成来得到密度的连续或准连续变化。王传彬, 张联盟^[2]采用平面扩散焊接法制备了 93W-OFC-TC₄-Al-MB₂ 系梯度飞片并在二级轻气炮上

基金项目: 阻抗梯度 XXX 研制(项目编号 Q024131108010129)

作者简介: 高阿婷 (1986-), 女, 陕西宝鸡人, 在读硕士, 研究方向: 功能梯度材料制备。

成功将克量级 (0.35~2.80g) 钛合金二级飞片完整发射到 15km/s 以上的超高速。L. Peter Martin^[3]等人采用流延法制备了七层 W-Cu 系梯度材料用于轻气炮试验, 可以得到很好的压力曲线。周敬、沈强^[4]等人采用放电等离子体烧结技术 (SPS) 制备出质量分数 0~92%W 的 Mg-W 密度梯度材料。本文作者采用粉末冶金方法, 用热等静压烧结技术制备密度渐变的 W-Mg 梯度飞片材料, 密度变化范围从 1.74g/cm³ 到 15 g/cm³。

2 试验

2.1 设计原则

这种变密度的梯度飞片材料的要求是: 飞片两端的密度之差尽量大, 密度沿厚度方向连续变化, 不发生突变; 飞片中各过渡层的平面度好、层与层之间的平行精度高、整体致密度也要好, 中间过渡层不形成脆性化合物。根据这些要求, 选用 W-Mg 体系金属粉末材料, 两者的密度差比较大, 且烧结后不生成金属间化合物^[5]。根据需要, 设计梯度飞片材料共 8 层, 总厚度为 7mm。密度 ρ 与厚度 d 的关系式为: $\rho(x)=\rho_0+B(x/d)^p$ 。式中 $\rho(x)$ 为飞片任意厚度坐标 x 处的密度值, d 为飞片厚度, p 为密度分布指数, 其取值一般在 2.0~2.5^[6], 本实验中 p 取值为 2。 ρ_0 为前界面的密度, B 为比例系数。密度的变化范围从 1.74 g/cm³ 到 15 g/cm³, 如图 1 所示。

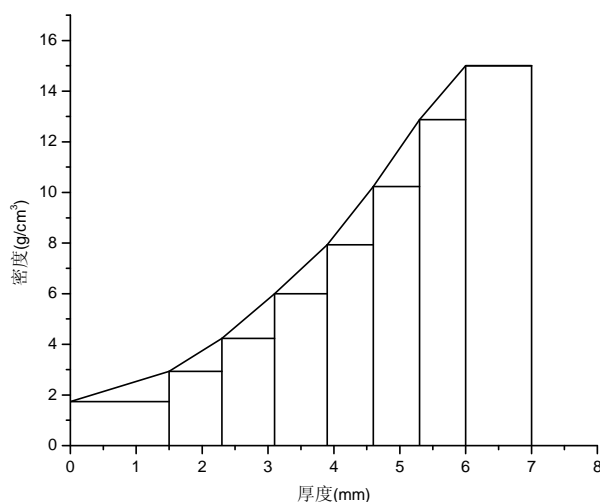


Figure 1. Theoretical density distribution of W-Mg graded density impactor

图 1. W-Mg 密度梯度飞片的理论密度分布图

2.2 实验材料及方法

制备原料采用市售的 W 粉(纯度 99.98%, 平均粒

度 2.65 μ m) 和 Mg 粉(纯度 98.28%, 平均粒度为 -200 目)。添加剂为分析纯的乙醇、PEG。按照混料→填铺→压片→烧结的过程制备。将不同成分(成分组成见表 1) 的 W-Mg 混合粉按一定比例加入添加剂, 在 WL-1 型行星式微粒球磨机混出 8 组混合粉料, 按照设计厚度称取 W-Mg 混合粉料后在模具(Φ 32mm)中手工逐层铺叠, 铺叠过程中尽量保证各层平行, 然后在 WD3100 微机控制电子万能试验机以最高压力 60KN, 保压 5min 压制成型, 最后在 QIH-15 型热等静压试验机中按照设定的温度和压力烧结成功。

Table 1. composition of W-Mg graded density impactor

表 1 W-Mg 密度梯度材料的成分组成

层	Mg (wt%)	W (wt%)	W (vol%)	理论密度 (g/cm ³)
1	100	0	0	1.74
2	55.29	44.71	6.79	2.93
3	35.30	64.70	14.18	4.23
4	21.98	78.02	24.24	6.00
5	14.20	85.80	35.26	7.93
6	8.79	91.21	48.33	10.23
7	4.94	95.06	63.43	12.88
8	2.84	97.16	75.51	15.00

制得的样品一部分冲断, 一部分沿纵断面切开磨平抛光, 在 Quanta 200 ESEM 环境扫描电子显微镜上观察形貌并利用能谱进行成分分析。

3 结果与分析

3.1 形貌分析

图 2 为样品的 SEM 表面形貌图。从富 Mg 侧到富 W 侧随着成分的均匀变化形貌上也产生了变化, 从 a) 图到 c) 图 Mg 的含量减少 W 的含量增加, 显示了梯度化。

图 3 为样品沿厚度方向的 SEM 图。图 a) 为纯 Mg 层, Mg 颗粒堆积烧结在一起, 亮色的可能是少量 W 存在; b) 为富 Mg 侧, 少量的规则形状的 W 被 Mg 包裹烧结在一起; c) 是中间侧, W 颗粒的量比 b) 图中增多, 从照片中看到有孔洞存在, 说明结构疏松, 烧结的致密度不高; d) 是富 W 侧, W 颗粒大小并不均一, 由 Mg 粘接在一起, 在烧结过程中, Mg 发挥了粘接剂的作用。

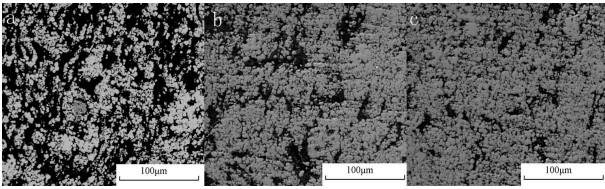


Figure 2. SEM morphology of W-Mg graded density impactor
图 2 W-Mg 密度梯度飞片的 SEM 形貌图

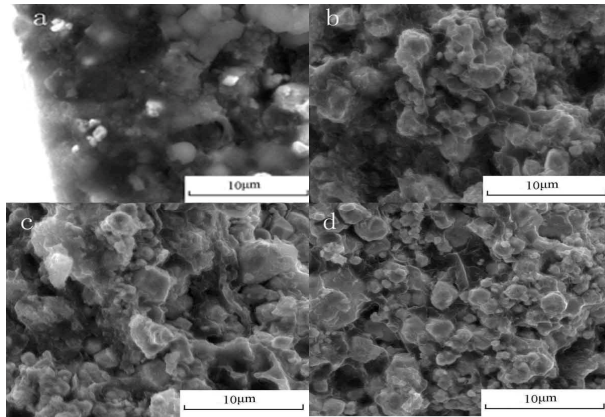


Figure 3. Fracture morphology of W-Mg graded density impactor
图 3. W-Mg 密度梯度飞片的断口 SEM 图

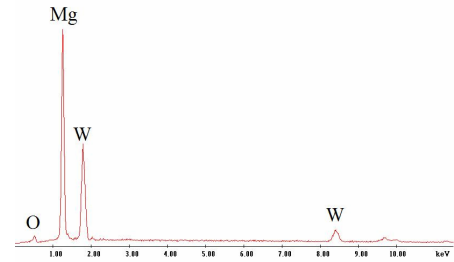
3.2 能谱分析

图 4 为样品两端的能谱图，从图中可以看出样品两端有明显的成分梯度，a)端是富 Mg 端，Mg 的浓度远远超过 W，而 b)端是富 W 端，W 的浓度远远超过 Mg。说明样品两端有明显的成分梯度。

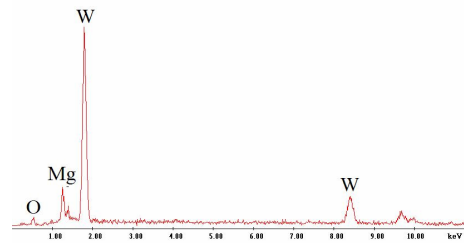
对样品从右到左（右端是富 W 端，左端是纯 Mg 端）进行线扫描，获得的数据经过计算后可以得到的 W-Mg 元素浓度分布如图 5 所示。从图中可以看出，沿着扫描方向，Mg 的含量呈上升趋势，W 的含量呈下降趋势，这是符合梯度材料要求的。但是 W-Mg 的分布仍然有跳跃性，与理想分布曲线比较有一些差别，这可能是因为烧结过程中元素发生扩散与团聚，同时线扫描只能扫到特定一条线上的分布，并不能完全精确的确定每层的 W、Mg 含量，但是两者的趋势是按照梯度化的方向的。

4 结论

(1). 采用粉末冶金成型热等静压烧结的方式制备出了 W-Mg 密度梯度飞片，其密度变化范围从 1.74 g/cm³ 到 15 g/cm³。



a)



b)

Figure 4. Energy spectrum of W-Mg graded density impactor
图 4. W-Mg 密度梯度飞片能谱图

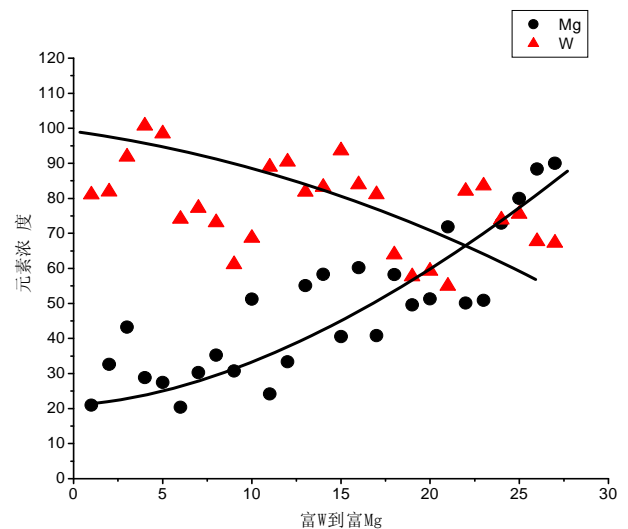
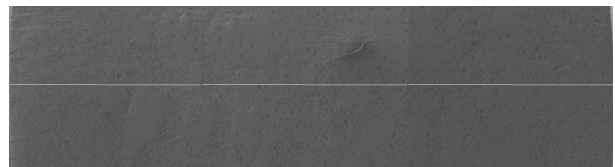


Figure 5. Elemental concentration distribution of W-Mg
图 5. W-Mg 元素浓度分布曲线

(2). 烧结过程中 Mg 充当了粘接剂，在富 Mg 侧，

少量的 W 颗粒被 Mg 颗粒包住烧结在一起，在富 W 侧，W 颗粒由 Mg 粘接在一起。

(3). 烧结后的样品仍然有一些孔洞等缺陷，需要对工艺做进一步的改进。

References (参考文献)

- [1] Wang Chuanbin, Zhang Lianmeng. Flier-Plate Material with Graded Wave Impedance and Application in Dynamic High-Pressure Physics [J]. Journal of Inorganic Materials. 2002, 17(5): 925-930.
王传彬, 张联盟. 波阻抗梯度飞片材料及其在动高压物理中的应用 [J]. 无机材料学报, 2002, 17(5): 925-930.
- [2] Wang Chuanbin. Preparation of Flier-Plate with Graded Wave Impedance and Application in Dynamic High-pressure Physics [D]. Wuhan, Wuhan University of Technology. 2003.
王传彬. 波阻抗梯度飞片的研制及其在动高压物理中的应用

- [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [3] L. Peter Martin, Daniel Orlikowski, Jeffrey H. Nguyen. Fabrication and characterization of graded impedance impactors for gas gun experiments from tape cast metal powders. Materials Science and Engineering A 427 (2006):83-91
- [4] Zhou Jin, Shen Qiang, Luo Guoqiang. Fabrication and Mechanical Property of Mg-W Composites by Spark Plasma Sintering [J]. Journal of Wuhan University of Technology. 2008, 30(4): 5-8.
周敬, 沈强, 罗国强. Mg-W 复合材料的 SPS 制备及其力学性能 [J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(4): 5-8.
- [5] Tang H G, Ma X F, Zhao W. Synthesis, Structure and Reactive Mechanism of Intermetallic W3Mg. [J]. Intermetallics, 2003, 11: 893-896.
- [6] Barker L. M, Scot D. D. Development of a high-pressure Quasi-isentropic plane wave generating capability, SAND84-0432[R]. [S. 1]: Albuquerque: Sandia National Laboratory, 1984.