

文章编号: 1003-7837(2005)01-0036-04

工艺参数对粉末烧结多孔铝孔隙特性的影响

曹黎华, 袁鸽成, 郑勇, 何军, 吴其光

(广东工业大学材料与能源学院, 广东 广州 510643)

摘要: 采用粉末烧结法制备多孔铝, 借助 SEM 及定量金相法研究了铝粉粒径、压制压力和添加剂含量等工艺参数对多孔铝的密度和孔隙率的影响规律。结果表明: 随铝粉粒径、压制压力的减小或添加剂含量的增加, 孔隙率增大, 密度减小; 孔隙多呈不规则的孔洞形貌, 平均孔径为 30~70 μm ; 在铝粉粒径 105~150 μm 、压制压力 10~15 kN、聚乙二醇含量为 5%~10% 及 FB 含量 20%~25% 的条件下, 可烧结出孔隙分布均匀、孔径较均一旦孔隙率较高的多孔铝。

关键词: 工艺参数; 孔隙特性; 粉末冶金; 多孔铝

中图分类号: TF112.5 **文献标识码:** A

多孔铝或铝合金是一种在铝基体中均匀分布着大量连通或不连通孔洞的新型轻质多功能材料。它以孔隙率高和比表面积大为特征, 兼有连续金属相和分散气孔相。它不仅比强度高及耐腐蚀, 而且具有高的阻尼性能、优异的热物理性能、优良的流通和过滤分离性能、优异的声学及电磁学性能^[1]。因此, 受到普遍关注。

目前, 制备多孔铝或铝合金的方法有很多, 如粉末冶金法、熔体发泡法、渗流铸造法、电镀法、气泡法、喷溅沉积法及烧结法等^[2,3]。自从采用渗流铸造法和熔体发泡法制备多孔金属以来, 国内外的相关研究报道较多^[4]。渗流铸造法的工艺过程相对复杂, 制备的样品孔径较大, 熔体发泡法存在难以控制孔隙尺寸及孔隙分布均匀性的缺点。与其它方法相比, 用粉末冶金法制备的样品的孔径小、孔隙率调整范围宽及成本低。国内关于粉末冶金法制备多孔铝还少见报道。本文采用传统的粉末冶金方法, 借助造孔剂、粘结剂进行粉末烧结, 研究铝粉粒径、压制压力和添加剂含量等工艺参数对多孔铝孔隙特性影响的规律, 为粉末烧结过程中孔隙率、孔隙尺寸及孔隙分布的控制提供试验依据, 为工业上制备微细孔径的多孔铝提供试验基础。

1 试验方法

1.1 试样制备

本试验选用粒径分别为 150, 125, 105, 97, 88 μm 的铝粉为原料, 以聚乙二醇为粘结剂, FB 为复合造孔剂。将各种材料按不同比例配制后, 采用行星式齿轮球磨机混料, 然后将混合均匀的粉末放入模具中, 在 10 t 液压式万能试验机上施加不同的压力压制成直径 15 mm、高度 8~12 mm 的圆柱状坯料。将压制好的金属坯放入装有活性炭及石英砂的坩埚中, 然后将坩埚放入马弗炉中进行烧结, 随炉冷却后把样品从坩埚中取出, 采用水煮法去除烧结样品中的添加剂, 洗净烘干以备测试。

1.2 测试方法

测出试样的质量 m 及表观体积 v , 由公式 $\rho = m/v$ 计算出样品的密度, 再通过 $Q = (1 - \rho/\rho') \times 100\%$ 计算样品的孔隙率, 其中 Q —样品的孔隙率, ρ' —孔隙率为零时致密材料的密度, 本文取 2.69 g/cm^3 。采用扫描电镜观察孔隙的微观形貌, 采用定量金相法测量多孔铝样品的平均孔径。

2 试验结果与分析

2.1 铝粉粒径的影响

在其它工艺参数不变的情况下, 铝粉粒径对孔

隙率和密度的影响规律如图 1 所示. 由图 1 可见, 在粒径为 88~150 μm 范围内, 随着铝粉粒径的减小, 孔隙率逐渐增大, 密度逐渐减小. 当铝粉粒径为 150 μm 时, 孔隙率为 36.9%, 密度为 1.7040 g/cm^3 . 当铝粉粒径减小至 88 μm 时, 孔隙率增至 43.2%, 密度减小到 1.5105 g/cm^3 .

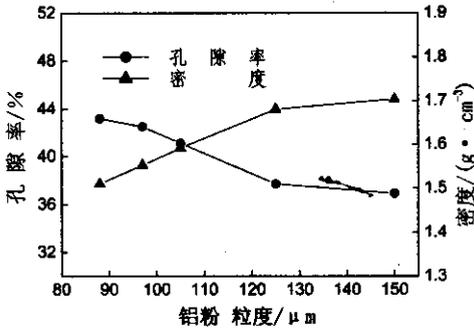
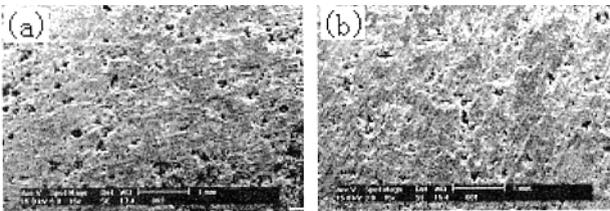


图 1 铝粉粒径对孔隙率和密度的影响

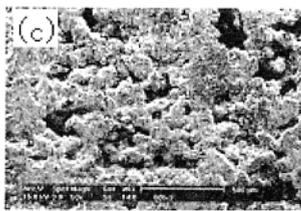
Fig.1 Effect of Al powder granularity on porosity and density

图 2(a)(b)(c)分别为铝粉粒径 150, 105, 88 μm 时, 烧结样品的 SEM 形貌. 图 2(a)的孔隙分布较均匀, 孔径也较均一、细微, 平均孔径约为 38 μm ; 图 2(b)虽也有较均一的孔径, 平均孔径约为 42 μm , 但其孔隙分布已开始变得不均匀; 图 2(c)不仅孔隙分布不均匀, 而且孔径也较粗大, 其平均孔径达 70 μm . 在保证一定的孔隙率和烧结效果良好的条件下, 铝粉粒径选 105~150 μm 较宜.



(a) $d = 150 \mu\text{m}$

(b) $d = 105 \mu\text{m}$



(c) $d = 88 \mu\text{m}$

图 2 不同铝粉粒径烧结样品的 SEM 形貌

Fig.2 SEM morphology of sintered sample with different Al powder granularity

2.2 压制压力的影响

在其它工艺参数不变的情况下, 压制压力对孔隙率和密度的影响规律如图 3 所示. 由图 3 可见, 在压制压力为 5~30 kN 范围内, 随着压制压力的增大, 孔隙率逐渐减小, 密度逐渐增大. 当压制压力为 5 kN 时, 孔隙率为 43.1%, 密度为 1.5375 g/cm^3 . 当压制压力增大至 30 kN 时, 孔隙率减小到 31.8%, 密度增大到 1.8395 g/cm^3 .

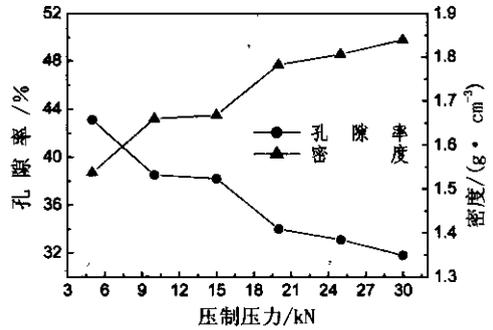
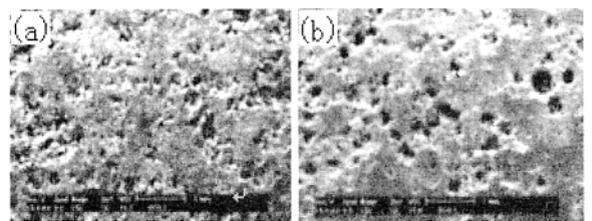


图 3 压制压力对孔隙率和密度的影响

Fig.3 Effect of pressing pressure on porosity and density

压制压力不仅影响多孔铝的密度和孔隙率, 也影响其微观形貌. 图 4(a)和(b)分别为压制压力 5 kN 和 30 kN 时样品的 SEM 形貌. 比较图 4(a)和(b)可知, 压制压力小时, 其孔洞基本呈不规则形貌; 压制压力大时, 其孔洞多为圆孔式的孔洞形貌. 由于球形无机盐粒子 FB 不易变形, 较小的压制压力虽能使铝粉粒子发生塑性变形, 但不足以使粒子间的间隙被完全填充, 所以形成不规则的孔洞形貌; 而在较大压制压力的条件下, 铝粉粒子发生塑性变形而适应 FB 的粒子外形, 从而形成圆孔式的孔洞形貌. 试验中发现, 压制压力为 5~10 kN 时, 部分烧成样品的骨架较松散, 而压制压力超过 15 kN 时, 部分样品表面出现微裂纹等缺陷. 在考虑孔隙率和烧结效果的情况下, 选压制压力为 10~15 kN.



(a) $F = 5 \text{ kN}$

(b) $F = 30 \text{ kN}$

图 4 不同压制压力下样品的 SEM 形貌

Fig.4 SEM morphology of sample at different pressing pressure

2.3 聚乙二醇的影响

聚乙二醇具有粘结作用,同时也起着造孔剂的作用.聚乙二醇对孔隙率和密度的影响规律如图5所示.在其它工艺条件不变的情况下,随着聚乙二醇含量的增加,密度逐渐减小,孔隙率逐渐增大,这是因为聚乙二醇在烧结时会挥发掉,从而使原来占据的空间变成孔洞.含量越多,孔洞也就越多,孔隙率随之增大,密度减小.当聚乙二醇的质量分数为20%时,样品的孔隙率高达50.7%.

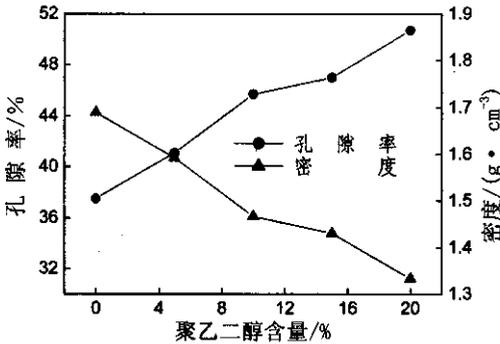
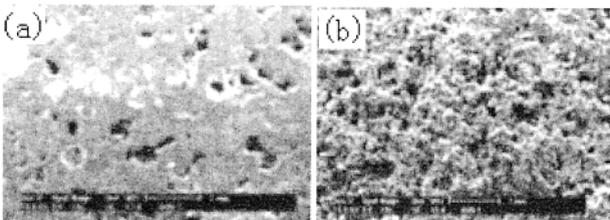


图5 聚乙二醇的质量分数对孔隙率和密度的影响

Fig.5 Effect of polyethylene glycol on porosity and density

图6(a)和图6(b)分别为聚乙二醇的质量分数为5%和20%时样品的SEM形貌.比较图6(a)和(b)可知,当聚乙二醇的质量分数为5%时,孔径较均一,孔隙分布较均匀;聚乙二醇质量分数为20%时,造孔效果不太理想,形成残渣状疏松的孔洞结构.试验中发现,未加聚乙二醇或其含量很少(<5%)时,由于颗粒间的粘结作用较弱,易出现铝粉颗粒脱落的现象.随着聚乙二醇含量的增加(>10%),烧结后的样品表面质量下降,孔洞增多,部分样品形成的骨架疏松不密实.在保证孔隙率和烧结效果良好的条件下,聚乙二醇的质量分数为5%较宜.



(a) $w = 5\%$ (b) $w = 20\%$

图6 不同聚乙二醇含量样品的SEM形貌

Fig.6 SEM morphology of the sample containing different contents of polyethylene glycol

2.4 复合造孔剂FB的影响

图7所示为FB质量分数对孔隙率和密度的影响规律.在其它工艺条件不变的情况下,随着FB含量的增加($w(\text{FB}) < 25\%$),孔隙率逐渐增大,密度逐渐减小.造孔剂FB的含量越高,造孔效果越明显,样品的孔隙率也就越高.

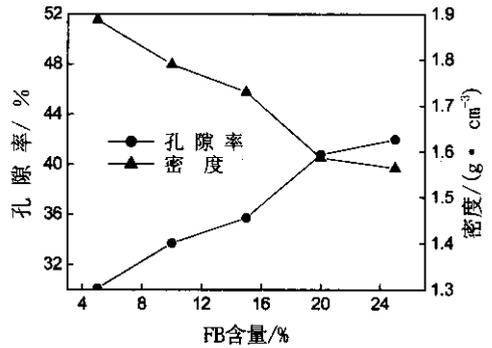
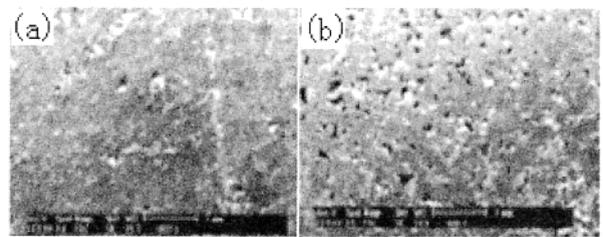


图7 FB的质量分数对孔隙率和密度的影响

Fig.7 Effect of FB content on the porosity and density

图8(a)和(b)分别为FB的质量分数为5%和20%时样品的SEM形貌.图8(a)虽然孔隙分布较均匀,孔径较均一,约为45 μm ,但孔隙数量少;图8(b)不仅孔隙数量多,孔径较均一,约为30 μm ,而且孔隙分布均匀.试验中发现,造孔剂过多($w(\text{FB}) \geq 25\%$),其熔解后会使得部分样品的基体松散;造孔剂不足($w(\text{FB}) \leq 10\%$),在铝粉的包围下,FB不易熔解脱离,不能形成较高的孔隙率.故FB的质量分数控制在20%~25%较宜.



(a) $w(\text{FB}) = 5\%$ (b) $w(\text{FB}) = 20\%$

图8 不同FB含量样品的SEM微观形貌

Fig.8 SEM morphology of the sample containing different FB contents

比较图1、图3、图5、图7可知,铝粉粒径对孔隙率和密度有一定影响,而压制压力、聚乙二醇和FB含量的影响则更为显著.比较图2、图4、图6、图8可知,图8(b)的SEM形貌是所有样品中最好的,孔隙率比较高,孔隙分布均匀,孔径也较均一,说明图8(b)的工艺参数比较理想.本试验的优化工艺参数为:铝粉粒径105~150 μm ,压制压力10~15

kN, 聚乙二醇质量分数 5% ~ 10%, FB 质量分数 20% ~ 25%.

数 20% ~ 25% 的条件下, 可制得孔隙率较高、孔隙分布均匀且孔径较均一的多孔铝.

3 结 论

(1) 随铝粉粒径、压制压力的减小或添加剂含量的增加, 孔隙率增大, 密度减小, 而铝粉粒径对孔隙率和密度的影响较小.

(2) 铝粉粒径、压制压力及添加剂含量对孔隙分布和孔径的影响明显. 孔隙大多呈不规则的孔洞形貌, 平均孔径为 30 ~ 70 μm .

(3) 在铝粉粒径 105 ~ 150 μm 、压制压力 10 ~ 15 kN、聚乙二醇质量分数 5% ~ 10% 及 FB 质量分

参考文献:

- [1] 许庆彦, 陈玉勇, 李庆春. 多孔铝合金的铸造工艺研究[J]. 材料科学与工艺, 1998, 8(1): 36-40.
- [2] 左孝青, 杨晓源, 李成华. 多孔泡沫金属研究进展[J]. 昆明理工大学学报, 1997, 22(1): 90-93.
- [3] Banhart J. Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams[J]. Progress in Materials Science, 2001, 46(2): 559-632.
- [4] 杨东辉, 何德坪. 多孔铝合金的孔隙率[J]. 中国科学(B 辑), 2001, 31(3): 265-271.

Influence of process parameters on the pore characteristic of porous aluminum by powder sintered

CAO Li-hua, YUAN Ge-cheng, ZHENG Yong, HE Jun, WU Qi-guang

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China)

Abstract: Porous aluminum alloy specimens were prepared by powder sintering method in this paper. The effects of powder granularity, pressure and additives content on the density and porosity of porous aluminum were studied through SEM and quantitative metallographic method. The results show that the porosity increases and the density decreases with powder granularity decreasing or pressure decreasing or additive content increasing. The morphology presents an anomaly clearance pore with a mean pore diameter of 30 - 70 μm . Thus the aluminum with homogeneous pore distribution and pore diameter and high porosity is available under powder granularity of 105 - 150 μm , pressure of 10 - 15 kN, polyethylene glycol of 5% - 10%, and FB content of 20% - 25%.

Key words: process parameters; pore characteristic; powder metallurgy; porous aluminum