第 16 卷 第 2 期 复 合 材 料 学 报 Vol 16 No. 2
1999 年 5 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA May 1999

铝合金-盐复合体的制备及热膨胀性能研究

许庆彦* 陈玉勇 李庆春
(哈尔滨工业大学 金属精密热加工国防科技重点实验室 428 信箱, 哈尔滨 150001)

摘 要 采用加压渗流铸造法制备了铝合金-盐颗粒复合体。并研究了预制块的制备工艺。当粘接剂含量在 10 % 左右、焙烧温度为 720℃、焙烧时间为 5.4 ks 时, 可得到抗压强度较高的预制块。运用 SEM 观察了预制块焙烧前后盐颗粒形状的变化。将盐颗粒从铝合金-盐复合体中去除后, 得到多孔铝合金。测试其热膨胀系数, 发现其平均线膨胀系数比铝合金低。

关键词 加压渗流铸造, 铝合金-盐颗粒复合体, 预制块, 热膨胀性能
中图分类号 TB 331; TG 151

颗粒增强金属基复合材料由于成本低廉, 而且能够克服纤维增强复合材料生产过程中存在的某些缺点, 因而引起了人们越来越多的重视。目前使用的增强颗粒材料有[1~5]: 碳化物, 如 SiC、B_4C; 氮化物, 如 Si_3N_4、AlN; 氧化物, 如 Al_2O_3、SiO_2; 以及 C、Si 等。本文中首次以盐颗粒作为增强粒子, 采用加压渗流铸造制备了铝合金-盐颗粒复合体。将盐颗粒去除后可得多孔铝合金[6], 测试了其热膨胀性能。

1 实验方法

采用的装置示意图如图 1。首先将预制块放入模具中, 然后置于工作台上, 并在外面套上圆筒式加热炉进行加热, 在 450℃保温。金属在电阻加热炉中进行熔炼, 除渣后立即浇注, 然后迅速加压, 金属液在压头的驱使下渗入预制块间隙。在给定压力下保压 15 min, 撤消压力, 待金属液凝固并冷却一段时间, 将铸件自金属模中顶出, 即得铝合金-盐颗粒复合体。

试验中制备出了各种不同颗粒大小(0.5~1.6 mm)、不同颗粒体积分数(40 %~60 %)、不同外形尺寸(最大可达 Φ100 mm × 100 mm)的铝合金-盐颗粒复合体。图 2 为铝合金-盐复合体实物照片, 图 3 为复合体横截面照片。从图中可以看出, 盐颗粒在铝合金基体上分布均匀。

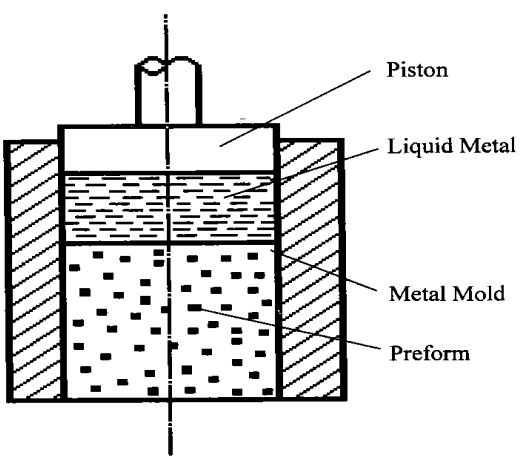


图 1 加压渗流铸造装置示意图
Fig. 1 Schematic drawing of pressure casting apparatus

收修改稿、初稿日期: 1998-02-05, 1997-11-25。 * 现清华大学机械系铸造教研室(100084)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

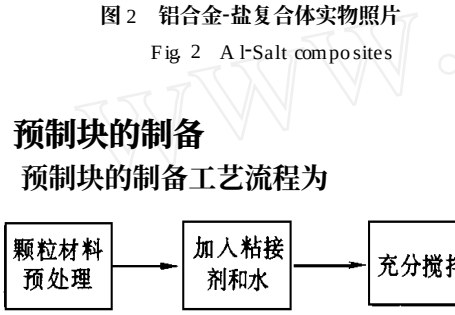


图 2 铝合金-盐复合体实物照片

Fig. 2 Al-Salt composites

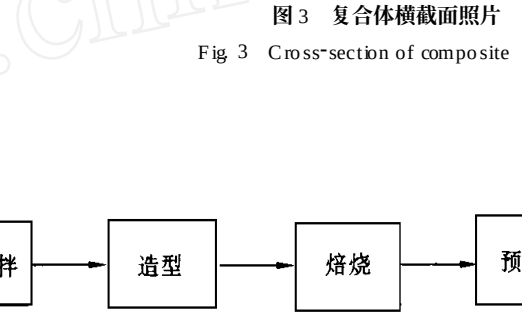
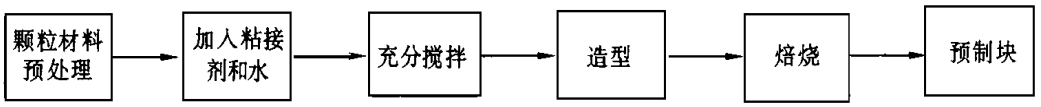


图 3 复合体横截面照片

Fig. 3 Cross-section of composite

2 预制块的制备

预制块的制备工艺流程为



颗粒选用NaCl。预制块制备的关键在于焙烧工艺。如果焙烧工艺参数不合适,将难以得到孔隙相互连通的、透气性好的预制块。影响预制块制备的工艺参数有: (1) 预制块的颗粒大小; (2) 粘结剂含量; (3) 成形温度; (4) 成形时间。采用正交实验来确定工艺参数,正交实验数据如表 1。

由实验结果可知,当粘接剂含量在 10 % 左右、焙烧成形温度为 720℃、焙烧时间为 5.4 ks 时可以获得抗压强度较高的预制块。图 4 为焙烧前预制块的扫描电镜照片。在焙烧之前预制块颗粒之间搭接面积较少,孔隙形状极不规则,呈尖角形。图 5 为焙烧后的预制块扫描电镜照片。可以看出焙烧后的预制块颗粒变得圆滑了,孔隙相互连通。

图 4 焙烧前的预制块扫描电镜照片

Fig. 4 SEM photo of preform before baking

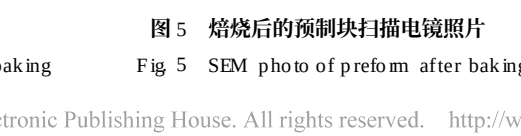


图 5 焙烧后的预制块扫描电镜照片

Fig. 5 SEM photo of preform after baking

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　焙烧试验数据

Table 1　Baking experiments of preform

试验号	颗粒尺寸 /mm	粘结剂含量 /%	成形温度 /℃	成形时间 /ks	抗压强度 /MPa
1	2～2.5(Ⅰ)	5(Ⅰ)	680(Ⅰ)	3.6(Ⅰ)	0.50
2	2～2.5(Ⅰ)	7.5(Ⅱ)	700(Ⅱ)	5.4(Ⅱ)	0.58
3	2～2.5(Ⅰ)	10(Ⅲ)	720(Ⅲ)	7.2(Ⅲ)	0.66
4	0.9～1.6(Ⅱ)	5(Ⅰ)	700(Ⅱ)	7.2(Ⅲ)	0.67
5	0.9～1.6(Ⅱ)	7.5(Ⅱ)	720(Ⅲ)	3.6(Ⅰ)	0.70
6	0.9～1.6(Ⅱ)	10(Ⅲ)	680(Ⅰ)	5.4(Ⅱ)	0.65
7	0.45～0.6(Ⅲ)	5(Ⅰ)	720(Ⅲ)	5.4(Ⅱ)	0.84
8	0.45～0.6(Ⅲ)	7.5(Ⅱ)	680(Ⅰ)	7.2(Ⅲ)	0.77
9	0.45～0.6(Ⅲ)	10(Ⅲ)	700(Ⅱ)	3.6(Ⅰ)	0.82
Ⅰ/3	0.800	0.670	0.640	0.673	
Ⅱ/3	0.671	0.683	0.690	0.690	
Ⅲ/3	0.810	0.710	0.733	0.700	
R	0.230	0.040	0.093	0.027	

盐和粘接剂在一定湿度下混合后, 粘接剂颗粒粘附在盐颗粒上。当温度达到 700℃左右, 粘接剂颗粒开始熔化, 形成小液滴。由于表面张力的作用, 盐颗粒表面上的小液滴向盐颗粒搭接处汇聚。随着温度的升高和焙烧时间的延长, 在盐表面形成的液相量越来越多。盐与粘接剂之间发生反应, 形成二元化合物。当温度降低后, 这一新的结晶物将不再是原来的盐颗粒与粘接剂间简单的粘附形式, 而是充当了盐颗粒之间的桥梁。同时也改善了盐颗粒之间的搭接状态, 使尖锐的孔隙变得圆滑、平缓。

3　多孔铝合金的热膨胀性能

将铝-盐复合体除去盐颗粒后即得多孔铝合金。多孔铝合金具有优良的热膨胀性能。本文中利用差热分析仪测量了多孔铝合金的热膨胀性能。对热膨胀试样进行了结构参数测试, 结果如表 2。这些试样的孔隙率均在 60 % 以上, 孔隙连通程度达 90 %。

表 2　多孔铝合金试样的结构参数

Table 2　Structure parameters of porous aluminum for thermal expansion measurement

编号	孔隙尺寸 /目	孔隙率 /%	通孔率 /%
1	-	-	-
2	10	74.01	94.67
3	20	69.82	91.25
4	40	66.74	90.53

注:　No. 1 为实体金属; 表中数据用于测试热膨胀性能。

图 6 为实体铝合金和不同孔隙尺寸的多孔铝合金的伸长量随温度的变化关系。随着温度的增加, 二者的长度都在增加, 但是增加的速率不同。在刚开始升温时, 实体铝合金与多孔铝合金的长度增加趋势大致相同, 这种状况一直持续到 250℃左右。随着温度的进一步增加, 实体铝合金以基本不变的速率继续伸长, 而多孔铝合金的伸长速率则降低。图 7 为不同温度下、不同孔隙率的多孔铝合金与实体铝合金的平均线膨胀系数比较。由图 7 可以看出, 当温度增大时实体铝合金的平均线膨胀系数基本上保持不变, 而多孔铝合金的线膨胀系数则发生较大变化。在 200℃以下, 多孔铝合金的线膨胀系数增加, 到 200℃左右至最大, 以后又随着温度的增加而降低。孔隙率越大, 平均线膨胀系数越小, 但差别不是太大。有一点值得注意的是, 无论多孔铝

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

合金的孔隙率如何, 它们的线膨胀系数都低于实体铝合金。

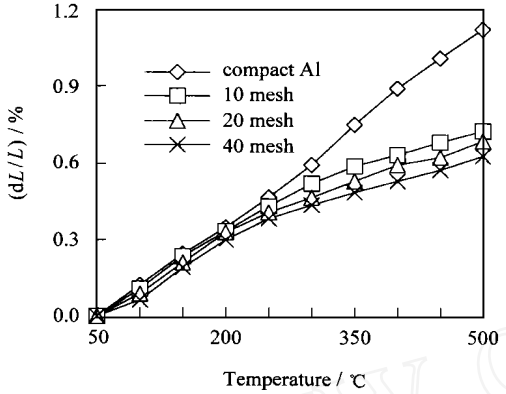


图 6 实体铝合金和多孔铝合金的伸长量随温度的变化关系

Fig. 6 Length change of compact Al and porous Al with temperature

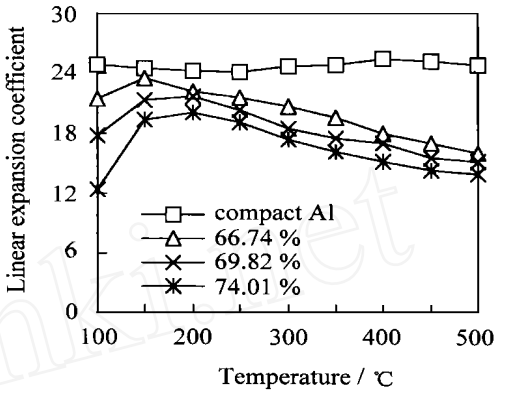


图 7 不同温度下、不同孔隙率的多孔铝合金与实体铝合金的平均线膨胀系数比较

Fig. 7 Comparison of average linear expansion coefficient between compact Al and porous Al

造成多孔铝合金的热膨胀系数较低的原因, 主要在于二者的结构不同。由于多孔铝合金中存在大量的孔隙, 当它受热膨胀时, 孔隙将抵消一部分体积膨胀, 亦即体积膨胀的部分有可能向孔隙处伸张, 造成孔隙的尺寸减小或孔隙率降低。由于本文中制备的多孔铝合金孔隙连通率在 90 % 以上, 孔隙中的空气受到压缩后被排出多孔铝合金, 所以空气并不参与膨胀。孔隙抵消膨胀的结果, 在宏观上表现为多孔铝合金的热膨胀性能降低, 平均线膨胀系数较小。

4 结 论

(1) 采用加压渗流铸造法制备了铝合金-盐颗粒复合体。详细研究了预制块的制备工艺, 当粘接剂含量在 10 % 左右、焙烧温度为 720℃、焙烧时间为 5.4 ks 时, 可得到抗压强度较高的预制块。

(2) 运用扫描电镜观察了预制块在焙烧前后颗粒形状的变化。经过焙烧成形后, 颗粒之间接触面积增大, 孔隙变得圆滑。

(3) 研究了多孔铝合金的热膨胀系数。与实体铝合金相比, 多孔铝合金具有低的平均线膨胀系数。

致 谢 本研究得到美国爱默生电气公司的资助, 谨向他们的支持表示感谢。

参 考 文 献

1 Brahim IA, Mohamed F A, Lavernia E J. *J Mater Sci*, 1991, 26: 1137

2 Lioyd D J. *International Materials Review*, 1994, 39(1): 1

3 Srivatsan S, Ibrahim IA, Mohamed F A. *J Mater Sci*, 1991, 26: 5965

4 Uekl M, Naka M, Okamoto I *J Mater Sci Lett*, 1986 (5): 1261

5 Gupta M, Ibrahim IA, Mohamed F A. *J Mater Sci*, 1991, 26: 6673

6 Davis G J, Shu Z. *Journal of Materials Science*, 1983, 18(10): 1989～1911

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

FABRICATION OF ALUMINUM-SALT COMPOSITE AND ITS THERMAL EXPANSION PROPERTY

Xu Qingyan　Chen Yuyong　Li Qingchun
(P. O. Box 428, National Key Laboratory of Metal Precision Thermal Processing, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China)

Abstract　Al-salt composite was fabricated with pressure penetrating casting. Fabricating process of preform and the influence of process parameters on preform were studied. When binder content is about 10% and baking temperature is 720℃ and baking time is 5.4 ks, a preform with higher compressive strength can be obtained. With the help of SEM, the structure of the preform was observed before and after baking. By removing salt from the composite, porous Al can be obtained. Thermal expansion property also was studied. Comparison with compact aluminum, porous aluminum has a lower average linear expansion coefficient.

Key words　pressure penetrating casting, Al-salt composite, preform, thermal expansion property

(上接第 72 页)

5. 第 8 届日美复合材料会议(荻原慎二, 东京理科大学基础工学部)

8 th Japan-U. S Conference on Composite Materials 1998 年 9 月 24、25 日在美国马里兰州的 Sheraton 召开。日美会议每二三年交替在日美举行: 第 1 届 1981 年 1 月东京, 第 2 届 1983 年 6 月 Harnpton, 第 3 届 1986 年 6 月东京, 第 4 届 1998 年华盛顿, 第 5 届 1990 年 6 月东京, 第 6 届 1992 年 6 月 Orlando, 第 7 届 1995 年 6 月京都。

美方组织委员以 G. M. Newaz 和 R. F. Gibson 二教授为首 21 人, 日方以福田博教授为首 15 人。

24 日从 4 个基调讲演开始, 随后 4 个会场并列进行一般讲演, 25 日 3 会场并列进行一般讲演。基调讲演从 J. R. Vinson 教授和金原勋教授颂扬已故林毅教授(T. Hayashi)对复合材料研究、开发和重视国际交流所作的贡献开始, 会议专题及发表论文数归纳于表 1。

表 1　一般讲演专题和发表论文篇数(括号内)

September 24	
7∶45-8∶00	Welcome Comments by G. Newaz and R. Gibson
8∶00-8∶30	Dedication to Professor Hayashi -J. R. Vinson, University of Delaware I Kimpara, The University of Tokyo　H. Fukuda, Science University of Tokyo
8∶30-9∶00	Application of Low-cost Composite Structures, S. W. Tsai, Stanford University
9∶00-9∶30	Application of Composite Materials for the Repair of Concrete Structures in Japan, M. Uemura, Tonen Corpoation
9∶30-10∶00	Fragile Foundations: The Nation's Infrastructure, R. L. Sierakowski, The Ohio State University
10∶30-12∶10	Design & Analysis I(5)　Processing I(5)　Functionally Graded Materials(5)　Damage Mechanics I(5)
1∶30-3∶10	Design & Analysis II(5)　Processing II(5)　High Temperature Materials(5)　Damage Mechanics II(5)
3∶30-5∶10	Impact/Energy Absorption(5)　Toughened Composites(5)　Aging Effects in PMC(5) Damage Mechanics III(5)
September 24	
8∶00-10∶00	Ceramic & Metal Matrix Composites I(6)　Characterization I(6)　Infrastructure I(6)
10∶20-12∶20	Ceramic & Metal Matrix Composites II(6)　Characterization II(6)　Infrastructure II(6)
1∶30-3∶10	Joining (5)　Characterization III(5)　Infrastructure III(5)

(下转第 93 页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net