

大孔径高孔隙率泡沫铝的制备

黄 斌

(陕西理工大学 材料科学与工程学院 陕西 汉中 723000)

摘 要:采用熔体发泡工艺,用纯铝作原料,氢化钛为发泡剂,金属钙粉为增粘剂,制备出孔结构均匀,孔隙率大于80%,孔径大于4.2mm的闭孔泡沫铝,整个工艺过程控制平稳。探讨了发泡温度、金属钙粉和氢化钛加入量及搅拌时间对泡沫铝结构的影响。结果表明,增粘剂钙粉的加入量为1.5%~2.0%,增粘温度850~860℃,搅拌时间为2.0~2.5 min,发泡剂TiH₂的加入量为1.5%~2.0%,发泡温度为680~690℃,发泡搅拌速度和时间分别为860 rpm和2.0~2.5 min,保温时间4.5~6.0 min时为最佳工艺。

关键词:孔隙率;大孔径;泡沫铝;孔结构

中图分类号: TG146.21; TB383

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)08-0768-04

Preparation of Large Aperture and High Porosity Aluminum Foam

HUANG Bin

(School of Materials Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: The melt foaming process was adopted, pure aluminum was used as raw materials, titanium hydride was used as foaming agent, and metal calcium powder was used as tackifier, to prepare closed-cell foamed aluminum with uniform pore structure, porosity greater than 80% and pore diameter greater than 4.2 mm. and the whole process was controlled smoothly. The effect of foaming temperature, metal calcium powder and titanium hydride addition and stirring time on the structure of aluminum foam were discussed. The results show that the best process are the metal calcium powder is added in an amount of 1.5 to 2.0%, the viscosity increasing temperature is 850 to 860 ℃, the stirring time is 2 to 2.5 min, the amount of titanium hydride added is 1.5 to 2.0%, and the foaming temperature is 680 to 690 ℃, the foaming stirring speed and time are 860 rpm and 2 to 2.5 min, and the holding time is 4.5 to 6 min, respectively.

Key words: porosity; large aperture; aluminum foam; pore structure

泡沫铝是由气孔和金属相组成的多孔金属材料。其独特的结构,具有许多优异的性能,既可作结构材料,具有质轻,比强度高的特点;又可作功能材料,具有吸声、吸能、散热、阻尼、减振、隔音、阻燃、电磁屏蔽等多种物理性能,已被广泛应用到航空航天、医学、环保、冶金、机械、建筑和石油化工等领域。目前,泡沫铝材料的应用领域越来越广泛,不同孔径和不同密度的泡沫铝在力学性能、吸音、隔音、减震、导热、缓冲和电磁屏蔽等方面均表现出了不同的性质^[1-5]。但泡沫铝实际应用并不普及,虽然制备泡沫铝的方法很多,但均对泡沫铝的孔结构不能准确的控制,泡沫体结均匀性较差。特别是孔径和孔隙率是考虑的两个主要控制参数。作为制备泡沫

铝最常用方法之一的熔体发泡法,同样对产品的孔径大小不能精确控制^[6,7]。本文以纯铝为基体,Ca粉作为增粘剂,TiH₂作发泡剂,通过改变Ca粉、TiH₂的含量和控制发泡温度,优化工艺参数,制备大孔径的泡沫铝。

1 试验方法

1.1 试验装备及试验材料

图1为制备泡沫铝的试验装置。试验采用的原料成分见表1。

表1 实验所用主要原材料
Tab.1 The main raw materials

序号	材料	规格、纯度
1	纯铝	纯度不小于99.18%
2	TiH ₂	粒度0.042~0.044 mm
3	钙粉	纯度不小于99.5%,粒度0.14~0.16 mm

1.2 发泡剂预处理

作为熔体发泡最理想的发泡剂TiH₂,其热分解特性对铝合金熔体泡沫化程度有直接影响^[4]。因为发泡剂TiH₂的加入,应保证其在铝液中混合均匀并

收稿日期: 2019-04-08

基金项目: 陕西省重点实验室项目(12JS034); 陕西省教育厅专项科研计划项目(1072093269)

作者简介: 黄 斌(1964-), 陕西汉中人, 博士研究生, 副教授. 研究方向: 金属多孔材料的研究. 电话: 13484859415, E-mail: 13484859415@139.com

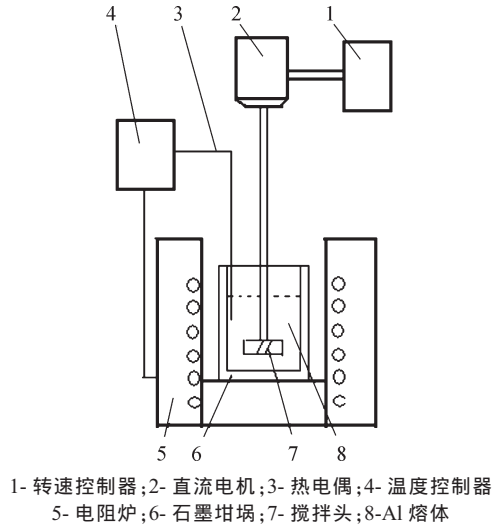


图1 铝合金熔体发泡实验装备示意图

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus for Al alloy foaming

在混合过程中尽量减缓释氢速度。如果将未预处理的 TiH_2 直接加入熔体中进行搅拌混合,在搅拌尚未来得及将它在铝液中分散均匀时,便大量释氢,造成孔结构难以控制及 TiH_2 的浪费。因此对 TiH_2 粉末进行了预处理,即:在空气气氛中对 TiH_2 在 $400\sim 450\text{ }^\circ\text{C}$ 进行加热处理 $16\sim 20\text{ min}$ 。即可在 TiH_2 表面形成了一层氧化膜,这样发泡剂在发泡温度下的分解速度得到减缓。如图2所示。

2 试验结果与分析

2.1 增粘剂钙粉对泡沫体孔结构的影响

表2是 TiH_2 加入量为2.0%时,钙粉加入温度为 $860\text{ }^\circ\text{C}$,加入量分别为1.0%,1.5%,2.0%,2.5%,3.0%时泡沫的密度和孔隙率。

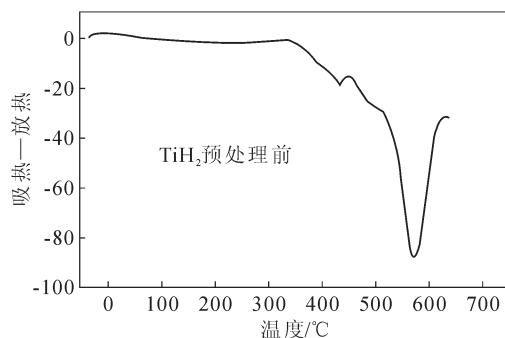


表2 不同钙加入量试验结果					
Tab.2 Results of different Ca content					
钙加入量(%mass)	1.00	1.50	2.00	2.50	3.0
密度(g/cm ³)	0.90	0.79	0.40	0.31	0.27
孔隙率(%)	66.70	70.70	85.20	88.50	90.00
孔分布	孔径不好	较好	均匀	较均匀	产生大泡或空腔

由表2可知,随增粘剂Ca粉含量的增加,泡沫铝的密度降低,孔隙率增大。如果熔体不加增粘剂时,熔体粘度就会很低, TiH_2 产生的气体容易上浮,加之 TiH_2 本身也容易上浮到铝熔体表面会产生燃烧,熔体既不能发泡,也会对 TiH_2 造成浪费。当加入Ca粉后,由于生成了 CaO 和 Al_2O_3 的复合氧化物($3\text{CaO}\cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$),这种复合氧化物可增加熔体的粘度,使 TiH_2 颗粒能很好的悬浮在铝熔体中。此外,这种复合氧化物还能起到非均质形核剂的作用^[9],有利于气泡停留在熔体中。当熔体粘度过低时,产生的气体就会逸出铝熔体表面,造成不能发泡,当熔体粘度较高时,造成搅拌困难,发泡剂分散不均匀且发气量减少,使得孔隙率下降。而且气泡的运动会受到阻碍,气泡易于并聚长大,孔径不均匀,出现大泡或空腔等。因此,熔体法制备泡沫铝时,增粘剂Ca加入量的最佳范围为1.5%~2.0%左右。

2.2 发泡剂 TiH_2 对泡沫体孔结构的影响

表3是Ca加入量为2%时, TiH_2 加入温度为 $680\text{ }^\circ\text{C}$,加入量分别为1.0%,1.5%,2.0%,2.5%,3.0%时泡沫铝的密度和孔隙率。

由表3可知,随着发泡剂 TiH_2 含量的增加,泡沫铝的密度降低,孔隙率增大,但越到后面增幅减小。当 TiH_2 加入量超过1.5%之后,密度下降、孔隙

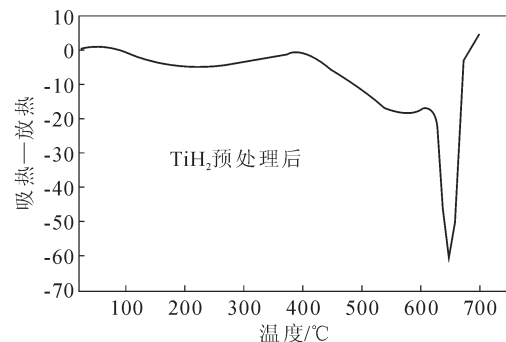
图2 TiH_2 预处理前后热分析曲线Fig.2 Thermal analysis curves of TiH_2 before and after pretreatment

表3 不同 TiH_2 加入量试验结果
Tab.3 Results of different TiH_2 content

TiH_2 加入量(%mass)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
密度(g/cm ³)	0.75	0.35	0.31	0.27	0.25
孔隙率(%)	72.20	87.00	88.50	90.00	90.70
孔 隙 分 布	不均匀,孔较少	均匀,无泡层少	均匀,无泡层少	不均匀	不均匀,出现空洞

率增大的趋势变缓,这是由于在搅拌速度一定的情况下,加入过量的发泡剂其混合均匀程度下降,而且在一定的温度下 H_2 在 Al 熔体中的溶解度有限,当达到饱和后产生的大量 H_2 便溢出熔体进入大气,从而导致密度下降孔隙率增加的趋势变缓,且使发泡剂的有效利用率降低,因此熔体法制备泡沫铝时,发泡剂 TiH_2 的加入量应在 1.5%~2.0%之间控制。

2.3 发泡温度对泡沫铝孔结构的影响

表 4 是 Ca 粉、 TiH_2 加入量各为 2%,采用不同发泡温度时,测得的泡沫铝密度和孔隙率。

由表 4 可知,发泡温度对泡沫铝的密度和孔隙率影响较大。发泡温度为 660 °C 和 670 °C 时,泡沫铝孔隙均匀性不好,而且中间有一部分连通孔;680 °C 和 690 °C 时泡沫铝孔隙均匀,没有连通孔;700 °C 时泡沫铝中间出现连通的大孔、扁孔,且孔壁较薄。因为发泡温度在 660 °C 和 670 °C 时,温度接近于纯铝的熔点(660.4 °C),此时熔体粘度较大,发泡剂搅拌不均匀,从而制得的泡沫铝孔隙不均匀。但随着发泡温度的提高,熔体表面张力降低,在形成相同数量气泡时所需要的功就减少^[5]。发泡剂分解速率又是气泡长大的驱动力,而且温度越高发泡剂的分解速率越快^[10]。相反当发泡温度高于 700 °C 时,熔体的粘度变小,气体急剧膨胀引起试样的体积增大很快,气泡间液膜变薄导致大气泡互相并聚连通并不断向上运动,在向上运动的同时部分气

泡和周围的气泡合并成大气泡^[11]。熔体表面的气泡由于温度高不能及时凝固, TiH_2 产生的 H_2 就会逸出熔体,从而在泡沫铝材料上部形成好多扁孔。因此,熔体法制备泡沫铝的最佳发泡温度应在 680~690 °C 范围控制。

2.4 搅拌时间对泡沫铝孔结构的影响

表 5 是 TiH_2 、Ca 粉加入量各为 2.0%,加入温度为 685 °C,采用不同搅拌时间时,泡沫铝的密度和孔隙率。

由表 5 可知,泡沫铝的密度随着搅拌时间增加,密度逐渐下降,后略有上升,孔隙率走势与密度相反。搅拌时间在 0.5~1.0 min 时泡沫铝密度大孔隙率小,孔结构不均匀,且内部孔洞呈黑色。这是因为加入熔体中的发泡剂开始是成团状的,如果搅拌时间太短,大量的发泡剂还没有均匀弥散,容易在局部分解出大量气泡,加之发泡剂分解时吸热,会造成熔体局部温度下降,大量的泡沫体就会包住未分解的 TiH_2 而造成。随着搅拌时间增加,发泡剂能充分的弥散到熔体中,而且在发泡过程中不断打碎泡沫体中的气泡。当搅拌到 1.5~2.5 min 时,发泡剂的弥散分布均匀,气泡分布也比较均匀,这时发泡效果也最理想,但其孔隙率有所下降,密度有所上升。如果再继续增加搅拌时间, TiH_2 分解产生的 H_2 会过多的逸出熔体,加剧 TiH_2 烧损。因此,熔体发泡时,搅拌时间控制在 1.5~2.0 min 较为合适。

表4 不同发泡温度试验结果

Tab.4 Results of different foaming temperature

发泡温度	660 °C	670 °C	680 °C	690 °C	700 °C
密度 /(g/cm ³)	0.33	0.38	0.46	0.43	0.41
孔隙率(%)	87.70	85.90	83.00	84.00	84.80
孔隙分布	不均匀	较均匀	均匀	均匀	出现偏孔

表 5 不同搅拌时间发泡试验结果

Tab.5 Results of dieffrent stirring time

搅拌时间 /min	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
密度 /(g/cm ³)	0.78	0.59	0.50	0.53	0.57
孔隙率(%)	65.90	78.10	81.50	80.30	78.90
空隙分布	不均匀且内部 孔洞呈黑色	不均匀	均匀	均匀	均匀

3 结论

制备大孔径泡沫铝的最优工艺参数为:加钙温度:850~870 °C;发泡温度:680~690 °C;增粘剂钙的加入量:1.5%~2.0%;搅拌时间:1.5~2.0 min;发泡剂 TiH_2 加入量:1.5%~2.0%;保温时间 4.5~6.0 min。

在此工艺参数下,制得的泡沫铝样品密度低,

孔径在 4.0~6.0 mm,且分布均匀。如图 3 所示。

参考文献:

- [1] Gibson L J, Ashby M F. Cellular solids: structure and properties [M]. 2nd ed. London:Cambridge University press, 1997.
- [2] Ashby M F, Evans A G, Fleck N A, et al. Metal foams a design guide[M].Oxford: Butterworth-Heinemann press, 2000.
- [3] 武小娟,孙伟成,隋志成.泡沫铝的制备与应用[J].材料与表面处理

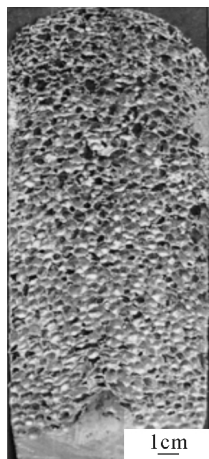


图3 最优工艺参数下制得泡沫铝样品
Fig.3 The sample of foam Al by The optimal process parameters

理,2002,4:49-51.

[4] Kennedy A R. The effect of TiH₂ heat treatment on gas release and

foaming in Al-TiH₂ preforms [J]. Scripta Materialia, 2002, 47: 763-767.

[5] Degischer H P. Innovative light metals: metal matrix composites and foamed aluminum [J]. Materials & Design, 1997, 18 (4/6): 221-226.

[6] 左孝青, Kennedy A R, 王永胜, 等. 小孔径泡沫铝的制备及压缩性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(z3): 254-259.

[7] 李兵, 姚广春. 熔体发泡法制备泡沫铝过程中无泡层的形成与控制[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(7): 1268-1273.

[8] 刘培生, 马晓明. 多孔材料检测方法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 13-19.

[9] 左孝青, 张金娅, 王茗, 等. 泡沫铝发泡过程热力学[J]. 昆明理工大学学报, 2003, 28(5): 45-51.

[10] 罗洪杰, 姚广春, 张晓明, 等. 闭孔泡沫铝材料制备过程中气泡的形成与演化[J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(8): 1377-1381.

[11] 牛强, 储少军, 吴铿, 等. 冶金熔体泡沫演化中的转型[J]. 北京科技大学学报, 2000, 2(22): 109-112.

(上接 762 页)

减少内部针孔缩松等铸造缺陷的产生, 确保各部位组织与力学性能基本一致。

3 结论

(1)综合箱体的观测分析结果, 低压铸造铝合金电池包箱体存在的缺陷主要包括补缩不足造成缩松与凹痕, 碳氧化物形成球状夹杂, 纤维丝造成较大孔洞缺陷; 组织中存在基体 $\alpha(\text{Al})$ 、不规则分布的粗大片状共晶体 $\langle\alpha+\text{Si}\rangle$ 及块状初晶硅; 平均硬度值为 65.2 HBS, 抗拉强度 178 MPa, 冲击韧度 21.31 kJ/m², 不同位置力学性能差异较大。

(2)针对该产品的分析结果提出低压铸造工艺优化方案, 有效处理缩松, 流痕, 氧化夹杂等带来的铸造缺陷, 同时注意采取合理选用喷涂材料、科学把控冷却顺序、保证铸件正常脱模等策略。预防低压铸造铝合金电池包箱体缺陷的出现, 提高产品质量, 促进铝合金低压铸造产业实现可持续发展。

参考文献:

[1] 刘舒龙, 夏顺礼, 赵久志, 等. 一种电动汽车电池组箱体轻量化

设计[J]. 汽车实用技术, 2016(11): 10-12.

[2] 胡青君. 铸造铝合金箱体的失效分析[J]. 理化检验(物理分册), 2000(7): 321-323.

[3] 韩茵, 陈诗键. 铸造铝合金组织对力学性能的影响[J]. 理化检验(物理分册), 2003(11): 555-559.

[4] 廖可, 舒惠明, 万慧, 等. 低压铸造在大型复杂薄壁结构铝合金铸件的工艺研究[J]. 科技创新与应用, 2017(30): 78-79, 81.

[5] 卫广智, 朱建培. ZL102 铝合金中 Fe 元素的危害及其削弱措施[J]. 现代机械, 1998(2): 54-55, 51.

[6] 石德全, 李大勇, 高桂丽, 等. 变质工艺对 ZL102 铝硅合金表面张力的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2006, 26(9): 550-552, 532.

[7] 蔡郭生, 吴龙, 李新松, 等. Sr 变质对 ZL102 组织和性能的影响[J]. 铸造技术, 2013, 34(12): 1656-1658.

[8] 李英, 徐磊, 李双明, 等. ZL102 铝硅合金的三维显微组织形态研究[J]. 铸造, 2015, 64(8): 814-817.

[9] Numerical simulation and optimization of Al alloy cylinder body by low pressure die casting[J]. China Foundry, 2008(2): 99-103.

[10] Pressurization control system for low pressure crucible casting[J]. China Foundry, 2011, 8(4): 376-379.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2019 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号: 52-64

国外发行号: M855

国内定价: 18 元/本

海外定价: 18 美元/本