

铸造多孔铝合金的吸声性能^①

许庆彦 陈玉勇 李庆春

(哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要 采用加压铸造工艺成功地制备了多孔铝合金, 孔隙尺寸为 0.5~1.6 mm, 孔隙率为 60%~80%, 通孔率为 85%~100%, 最大制品尺寸为 $d 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。扫描电镜观察表明, 在焙烧期间预制块颗粒形状由尖角形变为圆形, 颗粒之间的搭接面积变大且过渡平缓; 所得多孔金属孔隙形状圆滑, 互相连通, 呈三维网状结构。对多孔金属进行的吸声性能测试表明, 多孔金属具有较大的吸声系数, 不同的多孔铝合金其吸声系数随频率的变化趋势基本相同, 当声波频率增加时, 多孔铝合金的吸声系数增大。另外降低多孔铝合金的孔隙尺寸和增加其孔隙率, 均会使多孔铝合金的吸声系数增大。在实验测试频率范围内, 当声波频率在 3.5 kHz 时, 多孔铝合金的吸声系数达到最大。

关键词 多孔铝合金 结构特征 吸声系数

中图法分类号 TF125.5

多孔材料的发展非常迅速, 其范围很广, 如多孔聚合物、多孔陶瓷、泡沫塑料、多孔金属材料等^[1]。这些材料具有一些共同的特点: 密度小, 孔隙率高, 比表面积大。由于它们所具有的特殊结构及性能, 使得它们备受关注。多孔金属材料既具有金属的特征, 结构上又与泡沫塑料相似, 因此具有一般金属所没有的特点, 如优异的阻尼性能、优良的热物理性能、选择透过性、良好的吸声性能和吸收冲击波的性能。多孔材料在很多领域都得到了应用, 如过滤器、流体分离装置、多孔电极、催化剂载体、火焰捕集器、建筑用隔音材料、水下潜艇消音器、宇航结构层压面板、汽车缓冲挡板等, 遍及化工、电化学、建筑、军工及航天等部门^[2], 而且随着对其性能的进一步研究, 必将得到更广泛的应用。

多孔金属材料按其结构和孔隙连通与否可分为开孔和闭孔两大类, 两者具有不同的性质。按制备方法的不同可分为粉末烧结多孔金属, 物理溅射沉积多孔金属, 化学沉积多孔金属, 铸造多孔金属^[3]。铸造多孔金属材料包括

用发泡法制备的泡沫金属(闭孔结构)、加压渗流铸造法制备的孔隙相互连通的多孔金属(开孔结构)。发泡法就是在液态金属中加入发泡剂, 发泡剂遇热分解形成气体, 在液态金属中生成气泡, 如果气泡在液态金属凝固之前没有浮到表面, 就会留在金属中, 但是这种工艺的困难在于发泡过程很难控制, 发泡剂加入后遇热分解太快, 人工难以干预, 所以孔隙分布不均匀, 且有可能形成局部大孔, 孔隙为孤立的闭孔结构。而加压渗流铸造法则是将熔炼好的金属液浇注到金属模具中, 并施加一定的压力驱使液态金属渗入预制块孔隙中。待金属液凝固后, 得到金属-预制块颗粒复合体。这种方法制备的多孔金属具有开孔结构, 孔隙相互连通且呈三维网状骨架分布。最近乌克兰冶金学家利用高压铸造法制备了 Gasar 多孔材料, 该工艺是使金属液在熔炼时大量吸入氢, 在凝固时吸入的氢发生气-液共析反应而生成气孔, 改变工艺参数如温度、压力等, 可以改变孔隙的尺寸大小和排列方向等^[4]。

本文利用加压渗流铸造工艺制备了不同孔

① 收稿日期: 1997-10-15; 修回日期: 1997-12-16 许庆彦, 男, 27岁, 博士

隙尺寸、孔隙度的多孔铝合金,并研究了其吸声性能,这将为多孔铝合金的应用奠定基础。

1 实验方法

选用 Al-12% Si 合金。预制块的质量直接关系到最终铸件的质量,预制块颗粒的紧实程度对最终产品的孔隙率有直接影响。颗粒采用复合盐与一定比例的粘结剂和水混合,搅拌一定时间后充填入石墨型中并紧实,然后置于焙烧炉中烧结,烧结一段时间后,取出备用。

本实验在自行设计的加压渗流铸造装置上进行(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,加热到 450 °C 保温。金属在电阻加热炉中进行熔炼,除渣后立即浇入金属模具中,然后迅速加压,金属液在压头的驱使下渗入预制块间隙中。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后,将铸件自金属模中顶出,则得到金属-预制块颗粒复合体,除去颗粒材料即得多孔金属。

测量多孔铝合金的孔隙率、通孔率、密度,并加工成 d 30mm 的试样,长度为 10mm,为了便于比较,还从同一多孔金属上制取了不同厚度的试样。吸声试验采用驻波管法。

焙烧前预制块颗粒形貌如图2。焙烧后的预制块颗粒形貌如图3。由 SEM 形貌可以清楚地看到,焙烧前颗粒呈多角形、互相之间搭接面积较少,所形成的孔隙也比较尖锐;经过焙烧成形后,预制块颗粒变得圆滑了,没有了原来的棱角,颗粒之间的过渡也比较平缓,削弱了尖角效应。这将有利的制备出孔隙光滑,互相连通的多孔铝合金。这是粘结剂起作用的结果,粘结剂在高温下熔解,由于表面张力的作用粘结剂向一起汇聚,并流动到颗粒搭接处,使得颗粒间的联接变得圆滑而平缓,并且二者反应生成低熔点化合物,也使颗粒之间的接触面积加大,提高了孔隙的圆滑程度及连通性。当然,必须控制好粘结剂加入量(7%~10%为宜),否则将达不到预期效果。

试验中制备出了各种不同孔径大小(0.5~1.6 mm)、不同孔隙率(60%~80%)、不同外

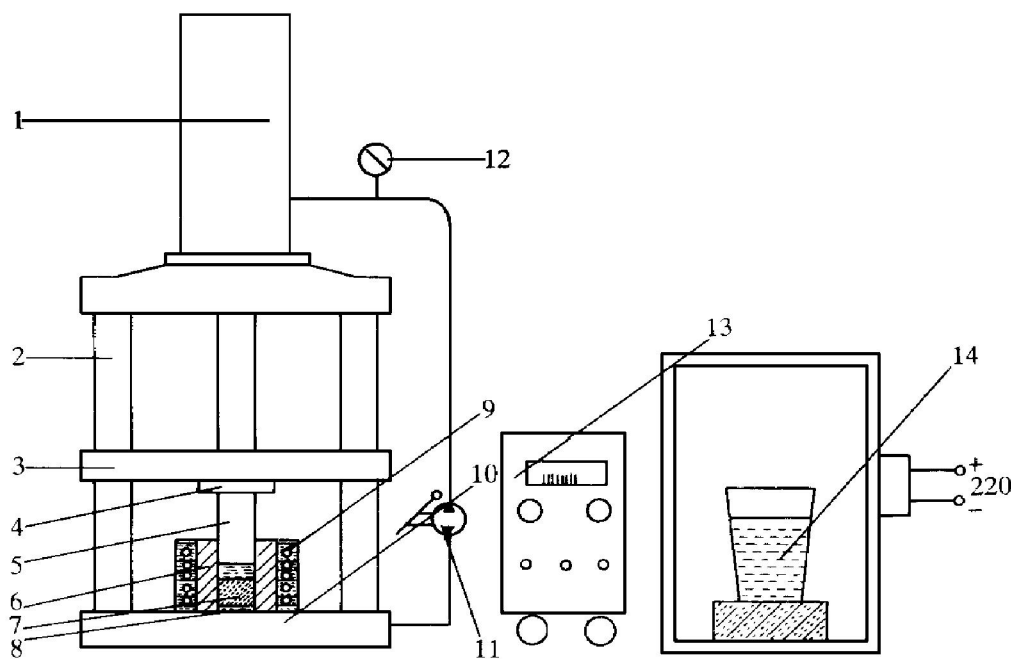


图1 加压铸造装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pressure casting apparatus

- 1—Cylinder; 2—Pole; 3—Upper working bench; 4—Upper mold board; 5—Piston; 6—Metal mold;
7—Preform; 8—Porous bottom layer; 9—Holding furnace; 10—Lower working bench;
11—Manual valve; 12—Pressure indicator; 13—Temperature controller; 14—Melting system



图 2 焙烧前预制块颗粒形貌

Fig. 2 Particle appearance before baking



图 3 焙烧后预制块颗粒形貌

Fig. 3 Particle appearance after baking

形尺寸(最大可达 $d\ 100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$)的多孔铝合金。图 4 为多孔铝合金实物照片,图 5 为多孔铝合金断面形貌。图 6 为多孔铝合金的扫描电镜形貌。从图中可以看出,孔隙在断面上分布均匀,孔隙相互连通,呈三维网状结构。

2 多孔铝合金吸声系数的测量

2.1 测量原理及装置

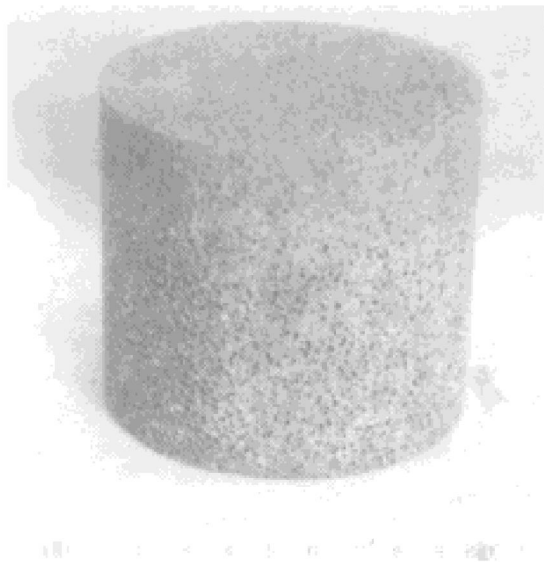


图 4 多孔铝合金实物照片

Fig. 4 Photo of porous aluminum alloy

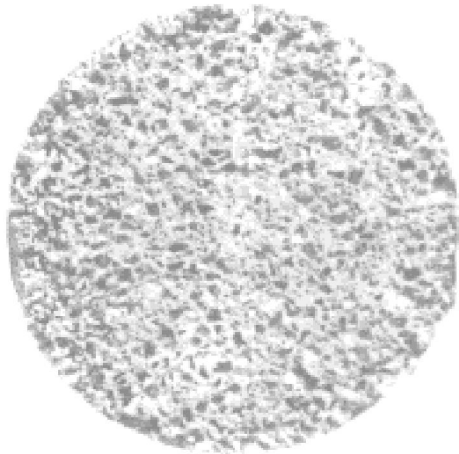


图 5 多孔铝合金断面照片

Fig. 5 Cross section of porous aluminum

吸声材料的特性用吸声系数来表述。材料的吸声系数定义为入射声能被材料吸收的百分数,即^[5]

$$\alpha = (I_i - I_r)/I_i \tag{1}$$

式中 I_i 为入射声强, I_r 为反射声强。

材料的吸声系数和声波入射方向有关。一般声波入射条件有垂直入射,斜入射和无规入射 3 种;相应地有垂直入射吸声系数,斜入射吸声系数和无规入射吸声系数。吸声系数的测量方法有驻波管法和混响室法,驻波管法测量材料的垂直入射吸声系数,对于了解材料的声学性能,驻波管法即可。

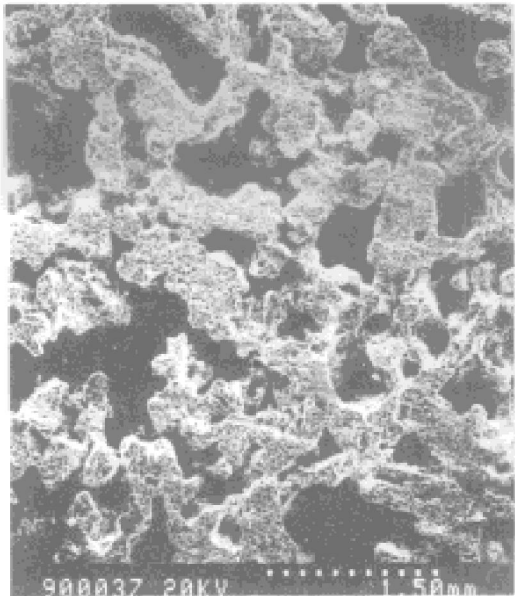


图 6 多孔铝合金的扫描电镜照片

Fig. 6 SEM photo of porous aluminum alloy

当声波在管内垂直入射到吸声材料试件表面而反射时,反射波与入射波的传播方向相反,互相迭加而形成驻波。测量驻波声压的极大值和极小值就可以计算出材料的垂直入射吸声系数,见式(1)和(2)。

$$n = p_{\min}/p_{\max} = (A + B)/(A - B) \quad (2)$$

式中 n 为驻波比, $p_{\max}$ 为极大声压, $p_{\min}$ 为极小声压, A 和 B 分别为入射波和反射波的幅度,于是有吸声系数

$$\alpha_0 = 1 - (B/A)^2$$
$$= 1 - [(n - 1)/(n + 1)]^2$$
$$= 4n/(n + 1)^2 \quad (3)$$

对于多孔材料,测得垂直入射吸声系数后需换算为无规入射吸声系数,其换算曲线如图 7。

2.2 测量结果

表 1 为所用的多孔铝合金吸声试样的结构参数,可以看出孔隙率基本上在 60%~80%,通孔率在 80% 以上。表 2 为不同频率下吸声系数的测量结果。

2.3 讨论

通过测量发现,声音的频率对多孔铝合金的吸声系数影响较大,在声波频率较高时,吸声系数明显高于低频时。多孔铝合金的孔隙率、孔隙尺寸及试样厚度等,都对多孔铝合金

表 1 不同目数的多孔铝合金吸声试样的结构参数
Table 1 Structural parameters of porous Al of sound absorbent with different pore demensions

No.	Pore size / mesh	Thickness / mm	Porosity / %	Open cell percent / %
1	6	15	62.15	100
2	8	15	63.23	97.64
3	10	15	64.74	94.21
4	10	30	66.85	92.35
5	10	20	65.32	93.67
6	12	15	68.41	91.37
7	12	15	78.92	90.92
8	12	15	81.19	90.45
9	20	15	86.98	89.16

表 2 不同频率下的吸声系数

Table 2 Sound absorbing coefficient at different frequency

No.	Frequency / kHz				
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
1	0.070	0.115	0.130	0.260	0.175
2	0.070	0.140	0.200	0.460	0.330
3	0.085	0.240	0.295	0.540	0.390
4	0.499	0.594	0.780	0.880	0.660
5	0.230	0.370	0.450	0.613	0.440
6	0.220	0.260	0.470	0.565	0.480
7	0.245	0.340	0.550	0.630	0.500
8	0.270	0.370	0.635	0.700	0.550
9	0.400	0.600	0.850	0.915	0.820

的吸声系数有影响。

2.3.1 频率的影响

图 8 为不同频率下多孔铝合金的吸声系数变化曲线。从图中可以看出,无论对何种孔隙尺寸的多孔铝合金,它们的吸声系数随频率的变化趋势基本上相同,都是先随着频率增加而增大,到某一频率时达到最大值;然后再增大测试频率,吸声系数反而呈下降趋势。另外值得注意的是,孔隙尺寸较小的多孔铝合的吸声系数高于大孔隙尺寸的多孔铝合金,在整个测试频率范围内均是如此。虽然某些多孔铝合金在低频时吸声系数的差别不是太大(如 6 目、8 目和 10 目的多孔铝合金在 2.0 kHz 时吸声系数大致相等),但它们在高频时(如 3.5 kHz

时)就相差较大,如 6 目为 26%,8 目为 46%,10 目为 54%,这说明孔隙尺寸对吸声系数在高频时影响较大。

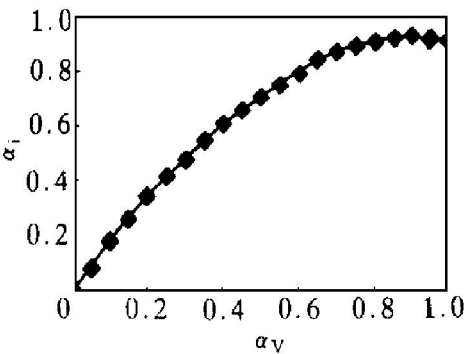


图 7 无规和垂直入射吸声系数的关系

Fig. 7 Relation between irregular (α_i) and vertical sound coefficient (α_v)

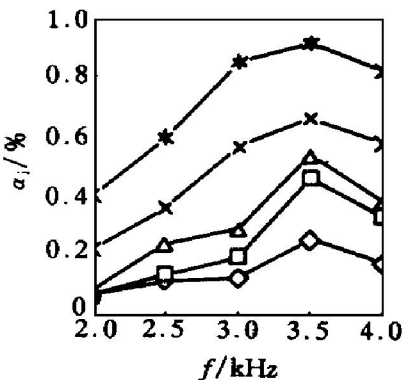


图 8 不同频率下多孔铝合金吸声系数变化曲线

Fig. 8 Sound absorbing coefficient of porous aluminum at different frequency

◇—6 mesh; □—8 mesh; △—10 mesh;
×—12 mesh; *—20 mesh

声波进入多孔铝合金后引起空气振动,由于振动受到曲折的孔隙壁的阻挡,空气与孔隙壁发生摩擦造成能量损失。低频时声波的波长较大,能量较小,碰到孔隙壁时发生反射、折射,若是弹性碰撞则能量损失小,吸声系数低。高频声波的能量较大,进入多孔铝合金后与孔壁发生相撞,因其振动幅值大,有可能发生非弹性碰撞,能量损耗大,加之反射或折射后的声波仍然具有较高能量,与孔隙壁发生二次或多次以上的非弹性碰撞,经过多次反射、折射之后,损失的能量就占有原入射声波的大

部分,损失的能量变成热能耗散掉了。

孔隙较大时,声波进入后不容易发生二次或多次反复碰撞,因而能量损失较少。但当孔隙细小时,声波发生多次碰撞的可能性增加,每次反射、折射都要消耗一定能量,消耗掉的那部分入射声能转化为热能散失到环境中。因此,孔隙尺寸大的多孔铝合金吸收的声音少,孔隙尺寸小的吸收的能量多。

2.3.2 孔隙率对多孔铝合金吸声性能的影响

图 9 为多孔铝合金(孔隙尺寸为 12 目)在不同孔隙率时的吸声系数随频率的变化曲线,对于孔隙尺寸大小相同的多孔铝合金,其吸声系数也不相同,甚至有较大差别。由图 9 可以看出,对于各种孔隙度的多种铝合金,如果频率发生变化,其变化趋势基本相同,只是吸声系数的大小不同。总的来说,孔隙率越大,多孔铝合金的吸声系数越大。这主要是因为孔隙度越大,孔隙的曲折度越大,内部通道越复杂。当声音进入后,发生漫反射和折射,并且孔隙中的空气随之而振动,由于孔隙壁的摩擦及空气粘滞阻力等使得相当一部分声能转化为热能而被耗散。

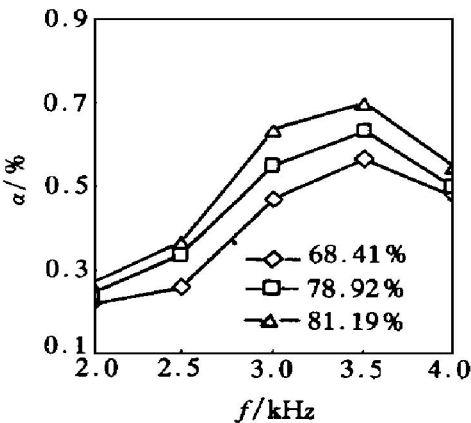


图 9 孔隙率对多孔铝合金吸声系数的影响

Fig. 9 Influence of porosity of porous aluminum on sound absorbing coefficient

2.3.3 多孔铝合金的厚度对吸声系数的影响

多孔铝合金的厚度也会影响其吸声系数。图 10 为 10 目多孔铝合金,孔隙率分别为 64.74%, 66.85%, 65.32% 三个多孔铝合金试样的吸声系数变化曲线。事实上,这三个试

样是从同一个多孔铝合金上切下来的。从图中可以看出,当试样的厚度增大时,在各个频率时多孔铝合金的吸声系数随之增加。这是因为多孔铝合金厚度增加时,孔隙通道延长,进入

孔隙中的声波经多次能量损失之后,才能穿过多孔铝合金而到达其另一侧。所以厚度增大时,吸声系数增加。

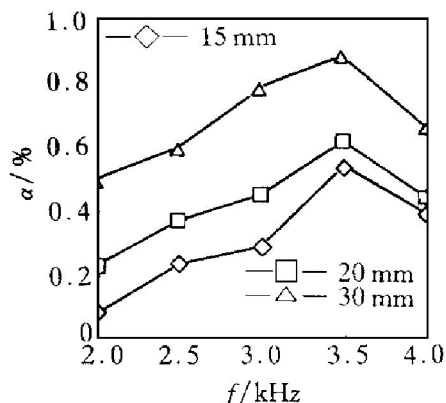


图 10 多孔铝合金的厚度对吸声系数的影响

Fig. 10 Influence of thickness of porous aluminum on sound absorbing coefficient

REFERENCES

- 1 Li Qing(黎青). Materials Review(材料导报), 1995, 6: 10-13.
- 2 Davis G J *et al.* Journal of Materials Science, 1983, 8: 1899-1911.
- 3 Shu Zhen(舒震). Materials of Mechanic Engineering(机械工程材料), 1984, 8(5): 29-33.
- 4 Pattnik A, Sandy S C *et al.* In: Materials Research Symposium Proceedings. Materials Research Society, 1995, 371: 371-376.
- 5 Shen Hao(沈壕). Sound Measurement. Beijing: Chinese Science Press, 1986: 191-196.

SOUND ABSORBING PROPERTY OF CASTING POROUS ALUMINUM ALLOY

Xu Qingyan, Chen Yuyong and Li Qingchun

School of Materials Science and Engineering,

Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China

ABSTRACT Porous aluminum alloy was fabricated with pressure casting, whose pore size is 0.5~1.6 mm and porosity is 60%~80%, and the maximum size of the product is d 100 mm × 100 mm. SEM observation showed that the preform particles become smooth from sharp angle after baking in a furnace, and the interlace area between two particles is larger and changes smoothly. The porous aluminum alloy was obtained with smooth pores and connecting with each other and being three-dimensional net-shape distribution. The sound absorbing property measured in the experiment showed that the porous aluminum alloy has large sound absorbing coefficient. For different porous aluminum alloys the change of sound absorbing coefficient with sound frequency is basically same. When the sound frequency increases, the sound absorbing coefficient of porous aluminum alloys increases. In addition the porosity of porous aluminum increasing or pore size decreasing, the sound absorbing coefficient also increases. When the sound frequency is 3.5 kHz, the sound absorbing coefficient becomes the maximum, which is different with different pore size and porosity.

Key words porous aluminum alloy microstructure feature sound absorbing coefficient

(编辑 黄劲松)