

Research on Pore Structure of Gasar Porous Metal Filter Material

Yong-jin Li¹, Xiao-cui Liu²

¹School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China, 116028

²School of Mechanical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, China, 116028

Email: ¹yongjinli@sina.com, ²xiaocuilu5991@163.com

Abstract: Based on the fact that Gasar-process allows to obtain the specified parameters of porous structure, we obtained the formulas of permeability of the filter material with a cylindrical, elliptical and conical pores, indicated that the best technical way to increase the permeability - is to reduce the distance between the pores; demonstrated that conical pore has a high filtration precision and high filtration efficiency, thereby created a theoretical basis for the manufacture of Gasar porous filter material.

Keywords: Gasar porous metal material; pore structure; permeability

Gasar 多孔金属过滤材料孔隙结构的研究

李勇进¹, 刘小翠²

¹大连交通大学机械工程学院, 大连, 中国, 116028

²大连交通大学机械工程学院, 大连, 中国, 116028

Email: ¹yongjinli@sina.com, ²xiaocuilu5991@163.com

摘要: 结合 Gasar 工艺能获得指定参数多孔结构的技术特点, 推导出具有圆柱孔、椭圆柱孔和锥孔结构的多孔滤材渗透率的表达式, 指出减小孔距是改善渗透率最合理工艺途径, 证明了锥孔结构兼有高过滤精度和高过滤效率, 从而为 Gasar 多孔滤材的制备提供了理论依据。

关键词: Gasar 多孔金属材料; 孔隙结构; 渗透率

1 引言

金属-气体共晶定向凝固 (Gasar 技术) 是一种先进的多孔材料制备技术, 可获得具有预定参数的定向排列的圆柱性、椭圆柱形和锥形多孔结构^[1]。Gasar 多孔金属材料作为性能优异的过滤材料在冶金、石化、环保、新能源等领域应用前景广阔、备受瞩目, 但是目前多孔滤材孔隙结构参数主要凭经验估算或随机获得, 无法达到最佳过滤效果, 因此急需对孔隙结构进行深入的理论分析和优化设计, 为 Gasar 多孔滤材的制备提供明确可信的孔隙结构量化指标。

2 Gasar 多孔金属滤材孔隙结构的研究

2.1 渗透率与孔径和孔隙率的关系

渗透率是过滤材料最主要性能指标, 表达了流体流经多孔滤材的难易程度, 影响因素主要有多孔滤材的孔隙大小和孔隙率。最有影响的渗透率公式由

Kozeney 提出:

$$K = \frac{\phi^3}{K(1-\phi)^2 S_v^2} \quad (1)$$

式中: S_v : 多孔滤材的体积比表面积; K : Kozeney 常数, 在固定孔隙结构的多孔材料中取值通常为 5^[2]。

对于圆柱孔多孔滤材, 单位体积的孔数为:

$$N = \frac{V\phi}{\pi r^2 \delta V} = \frac{\phi}{\pi r^2 \delta}$$

式中: V : 多孔滤材的体积; r : 孔隙半径; δ : 孔隙深度。

圆柱孔多孔滤材的体积比表面积为:

$$S_v = 2\pi r \delta \cdot N = 2\phi/r$$

由公式 (1) 推导可得:

$$K = \frac{r^2 \phi}{20(1-\phi)^2} \quad (2)$$

公式(2)反映了渗透率与孔隙半径、孔隙率之间的关系,即渗透率随着孔隙率和孔隙半径的增大而增大。

目前, Gasar 工艺可以获得的最大孔隙率为 70%。从表 1 可知,在相同孔径条件下,随着孔隙分布变密,孔隙率增大,渗透率迅速增大。显然,为保证过滤精度,增大孔径不可行,所以应在工艺允许范围内,主要通过减小孔距来提高孔隙率,进而提高多孔滤材渗透率。

Table 1. Porosity increases the impact on the permeability

表 1. 孔隙率增大对渗透率的影响

ϕ	$\frac{K}{r^2} = \frac{\phi}{20(1-\phi)^2}$
0.2	0.0156
0.3	0.0306
0.4	0.0556
0.5	0.1000
0.6	0.1875
0.7	0.3889

2.2 Gasar 多孔金属滤材不同孔隙结构的渗透率

2.2.1 椭圆柱孔隙结构的渗透率

对于图 1(a)所示椭圆柱孔隙的多孔滤材,单位体积的孔数为:

$$N_t = \frac{V\phi}{\pi ab\delta V} = \frac{\phi}{\pi ab\delta}$$

式中: V : 多孔滤材体积; δ : 孔隙深度; a, b : 分别为椭圆孔长、短半轴长。

对于椭圆柱孔隙的多孔滤材,体积比表面积为:

$$S_{vt} = \pi(1.5(a+b) - \sqrt{ab})\delta \cdot N_t = \phi(1.5(a+b) - \sqrt{ab})/ab$$

根据公式(1)推导可得:

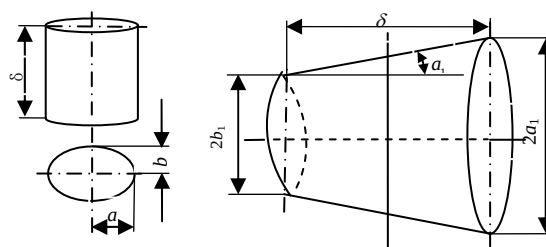
$$K_t = \frac{a^2 b^2}{(1.5(a+b) - \sqrt{ab})^2} \frac{\phi}{5(1-\phi)^2} \quad (3)$$

2.2.2 锥形孔隙结构的渗透率

对于图 1(b)所示的锥形孔隙多孔滤材,单位体积的孔数为:

$$N_z = \frac{V\phi}{\left(\frac{\pi\delta(a_1^2 + b_1^2 + a_1 b_1)}{3}\right)V} = \frac{3\phi}{\pi\delta(a_1^2 + b_1^2 + a_1 b_1)}$$

式中: a_1, b_1 : 分别为锥孔两端截面半径; θ : 理想锥孔的锥度,完全可以通过调整 Gasar 制备工艺来进行控制。



(a) 椭圆柱孔隙结构

(b) 锥形孔隙结构

Fig 1. Pore structure model

图 1. 孔隙结构模型

Table 2. Different permeability of porous filter material model comparison

表 2. 不同孔隙模型过滤材料的渗透率对比

孔隙类型		过滤精度	渗透率
尺寸不变	圆孔	r	$K = \frac{r^2 \phi}{20(1-\phi)^2}$
	椭圆孔	b	$K_t = \frac{a^2 b^2}{(1.5(a+b) - \sqrt{ab})^2} \frac{\phi}{5(1-\phi)^2}$
锥孔(流向为孔径增大方向)		b_1	$K_z = \frac{\cos^2 \theta (a_1^2 + b_1^2 + a_1 b_1)^2}{(a_1 + b_1)^2} \frac{\phi}{45(1-\phi)^2}$

过滤材料过滤精度近似等于能通过孔道的最大颗粒半径,则圆柱孔、椭圆柱孔和锥孔多孔滤材过滤精度相应为 r 、 b 和 b_1 。由表 2 不难通过数值法得到以下结论:在相同的孔隙率 ϕ 和过滤精度下($r = b = b_1$),渗透率 $K_z > K_t > K$ 。

3 结论

推导出了圆柱孔、椭圆柱孔和锥孔结构的 Gasar 多孔滤材渗透率的表达式,指出减小孔距是改善渗透率的合理工艺途径;证明了锥孔结构兼有高过滤精度

和高过滤效率，工艺上合理增大锥度可提高孔隙率及渗透率，但锥度与孔距、孔径及孔隙率之间的关系有待进一步研究。

References (参考文献)

- [1] Karpov, Keming Sun, Yongjin Li. Method for producing poly-porous material based on solid/gas eutectic directional solidification: China, 101173332[P]. 2008-05-07
- [2] A Rushton, A S Ward, R G Holdich. Solid Liquid Filtration and Separation Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 24.
[英]拉什顿 A, 沃德 A S, 霍尔迪奇 R G. 固液两相过滤及分离技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005:24.
- [3] Yanxiang Li, Yuan Liu, Huawei Zhang. Review of Directional Solidified Regular Porous Metals [R]. The New Progress on Material Science and Engineering 2004. 2004.40-46.
李言祥, 刘源, 张华伟. 定向凝固规则多孔金属研究进展[R]. 2004 年材料科学与工程新进展, 2004.40-46.