

烧结 FeCrAl 纤维多孔材料的吸声特性

敖庆波, 汤慧萍, 朱纪磊, 王建永, 支浩

(西北有色金属研究院 金属多孔材料国家重点实验室, 陕西 西安 710016)

摘要: 采用 $\phi 20 \mu\text{m}$ FeCrAl 纤维制备纤维多孔材料, 孔隙度大于 85%。在常声压与高声压条件下分别对烧结 FeCrAl 纤维多孔材料进行吸声性能检测。结果表明, 在常声压下, 材料的吸声特性随孔隙度的增加而提高, 但是对于高频的吸收, 孔隙度过高或过低都不利于吸收。厚度越大, 材料的吸声性能越好。增加空腔可以提高材料在低频的吸声性能; 在高声压条件下(100~140 dB), 该材料的吸声特性不随声压级的变化而变化, 各参数对吸声性能的影响规律与在常声压条件下的规律一致。频率在 2.5~6.4 kHz 之间, 声压级为 120 dB 条件下, 孔隙度为 94%、20 mm 厚的 FeCrAl 纤维多孔材料吸声系数达到 90%。

关键词: FeCrAl 烧结纤维多孔材料; 吸声特性

中图分类号: TG143

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)10-1765-04

FeCrAl 合金具有耐高温、抗氧化、耐腐蚀、良好的热稳定性、塑性和冲击韧性、易加工等性能。该合金以其多样化的性能特点, 被广泛应用于航天、航空、石油、煤矿、化工电力及机械行业中的防腐、防磨涂层, 还被制成热电偶保护管、工业电炉及民用电加热设备。但利用 FeCrAl 纤维制成多孔材料用于吸声领域在国内外还无此先例。由 FeCrAl 纤维制成的纤维多孔材料不但具有 FeCrAl 合金的金属特性, 还具有一系列多孔材料的功能, 特别适合在高温条件下工作。在航空发动机风扇涡轮腔体内的声衬材料要满足耐高温抗氧化、抗气流冲击、使用寿命长, 更主要的是可以吸收高强度噪声的要求^[1,2]。一般常规的吸声材料及结构已不能适用, FeCrAl 纤维多孔材料是一类具有良好发展前途的航空发动机声衬材料。本实验就烧结 FeCrAl 纤维多孔材料的制备, 以及孔隙度、厚度、空腔在常声压和高声压条件下对吸声性能的影响关系进行详细的研究。

1 实验

选取直径为 $20 \mu\text{m}$, 合金牌号为 FeCr₂₀Al₅ 的金属纤维为原料, 先将纤维剪成 20 mm 长的纤维段, 把剪切好的纤维充分分散铺制成所需厚度, 然后进行预压实。铺好的纤维呈无序排列, 放入烧舟内进行真空烧结。烧舟内纤维与烧舟接触处用隔离层隔离, 防止纤

维与烧舟粘连。真空烧结炉的温度为 1100~1200 °C, 真空度范围 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ Pa。烧结完成后, 对材料表面进行平整处理, 再用线切割切成实验所需的尺寸。单层样品的性能及编号如表 1 所示。

其中, 所有样品的制备工艺均相同, 每个样品的孔隙度和厚度在制备前设定好, 再根据质量体积公式 $\epsilon = 1 - M/\rho V$ (ϵ 为样品的孔隙度, M 为样品的质量, ρ 为材料的密度, V 为样品的体积) 计算出所需材料的质量, 最后根据样品质量投入原材料, 根据所设计的厚度将样品压制成形。

常声压条件下, 采用丹麦 B&K 公司的 4206 型双传声器阻抗测量管, 检测 FeCrAl 纤维多孔材料的吸声系数。常声压频率范围在 50~6400 Hz, 频率间距为 2 Hz。高声压条件下, 采用自制的阻抗管, B&K 公司的

表 1 各样品的厚度与孔隙度

No.	1#	2#	3#	4#	5#	6#
Thickness/mm	10	10	10	10	5	15
$\epsilon_1/\%$	97	94	91	85	91	91
$\epsilon_2/\%$	96	93	90	85	90	90

No.	7#	8#	9#	10#	11#	12#
Thickness/mm	20	15	15	15	20	5
$\epsilon_1/\%$	91	94	85	97	94	94
$\epsilon_2/\%$	91	94	84	97	94	94

Note: ϵ_1 -designed porosity, ϵ_2 -measured porosity

收到初稿日期: 2008-09-16; 收到修改稿日期: 2009-06-12

基金项目: 国家“973”计划资助项目(2006CB601201B)

作者简介: 敖庆波, 女, 1982 年生, 硕士, 西北有色金属研究院, 金属多孔材料国家重点实验室, 陕西 西安 710016, 电话: 029-86231095, E-mail: panpan0605@163.com

Pulse 采集测试系统。频率范围在 1000~6400 Hz，声压级范围为 100~140 dB。分别在 120 和 140 dB 两个声压级条件下测试 9 个频率点：1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000 及 6300 Hz。

为研究孔隙度、材料厚度的影响，实验设计检测 4 种孔隙度 ($\epsilon=97\%、94\%、91\%、85\%$) 和 4 种厚度的(5、10、15、20 mm)的样品，并在材料与硬壁之间设计不同距离的空气腔，研究不同长度的空腔对材料吸声性能的影响。

2 结果与分析

2.1 常声压下的声学特性

2.1.1 材料孔隙度对吸声性能的影响

图 1 为厚度均为 10 mm 的 4 种孔隙度样品吸声性能曲线对比图。可以看出：孔隙度过高或是过低（如 1#和 4#材料）都不利于高频的吸收。1#材料孔隙度过大，过于稀疏，声波进入后不容易发生二次或是多次反射，很有可能发生透射，也就是孔隙间空气没有充分的摩擦，不会大量损耗声能，吸声性能就不好^[3]。孔隙度太小（如 2#材料），过于密实，声波不易进入材料内部，吸声性能明显下降，但此材料在频率从 50 到 3500 Hz 之间的吸声性能要优于其它 3 种孔隙度的材料。2#和 3#材料在频率为 4.5~6.4 kHz 之间的吸声系数达到 0.95。而孔隙度的大小又反应空气流经材料时所遇到的阻力，即流阻的大小^[4]。因此，也可以说，材料的流阻过大或是过小都不利于提高材料的吸声能力。控制材料的流阻，使其有适当声阻，可以提高该材料的吸声系数。

2.1.2 材料厚度对吸声性能的影响

图 2 为孔隙度约为 91% 的 4 种不同厚度样品吸声性能曲线对比图。可以看出，材料在中、高频的吸声性能明显优于低频吸声性能。厚度对中、低频吸声系数影响较大，增加材料的厚度，低频吸声性能变好；5 mm 厚的材料在 2 kHz、10 mm 厚的材料在 1 kHz 以及 20 mm 厚的材料在 250 Hz 3 种情况下具有相同的吸声系数。厚度是影响多孔吸声材料吸声性能的一个重要因素。增加材料厚度可以大大改进材料在低频时的吸声能力。厚度越大，平均吸声系数越大，吸声频带越宽，材料整体吸声能力也就越强。厚度的增加对高频的吸声性能没有太大影响，这是因为大部分声波在材料表面被吸收。

2.1.3 空腔对吸声性能的影响

图 3 为空腔厚度为 0（与刚性壁贴实）、20、40 和 70 mm 4 种情况下的吸声性能曲线对比。图示曲线表明，空腔厚度对低频的吸声影响显著，材料低频时

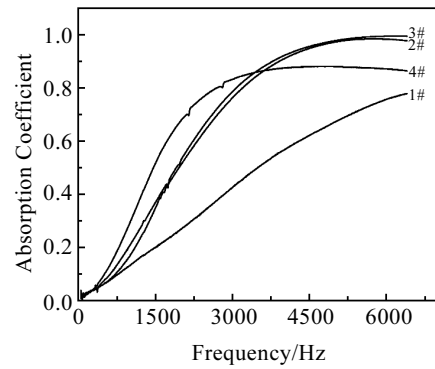


图 1 孔隙度对吸声系数的影响

Fig.1 Effects of porosity on sound absorption coefficient of the samples at 10 mm thickness

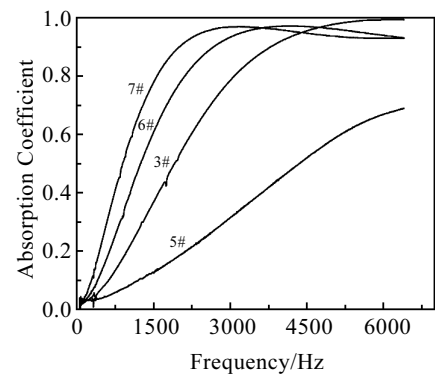


图 2 厚度对吸声系数的影响

Fig.2 Effects of the thickness on sound absorption coefficient of the samples at 91% porosity

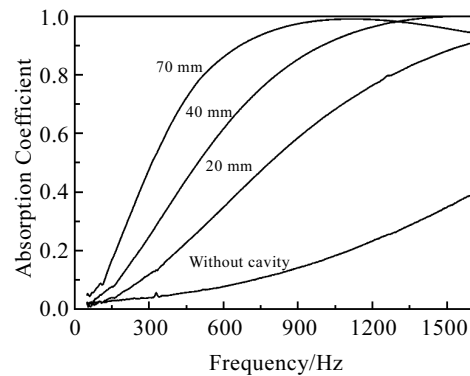


图 3 空腔对吸声系数的影响

Fig.3 Effects of cavity on sound absorption coefficient

的吸声系数随空腔厚度的增加而提高。空腔厚度为 70 mm 厚的材料在 400 Hz 时的吸声系数为 0.7，大大提高了材料在低频时的吸声性能。这与增加材料厚度的效果相似。但是并不是空腔厚度越大，吸声系数就越高。当增加到一定厚度时，吸声性能就不再继续明显增加。当空气层的厚度为入射声波 1/4 波长的奇数倍

时，吸声系数最大；而为 1/2 波长的整数倍时，吸声系数最小^[5]。这有很大的应用价值，将材料与刚性壁面之间留有一定的空腔，相当于增加材料的厚度，有利于低频吸声性能的提高，且节约了材料。

2.2 高声压下的声学特性

2.2.1 材料孔隙度对吸声性能的影响

图 4 为在高声压级 120 dB 条件下，厚度相同(15 mm)的 4 种不同孔隙度样品的吸声性能对比图。图中曲线表明，频率在低于 1500 Hz 时，吸声系数随孔隙度的减小而增加；随着频率的增加低孔隙度材料的吸声效果逐渐变差。但是过高孔隙度的材料(如 10#)在整个频率范围内的吸声效果都比较差。8#材料在频率为 5 到 6.4 kHz 之间的吸声系数已达到 1。在某一定频率值时，材料的吸声系数不随声压级的变化而变化，这种性能是其他吸声材料无法比拟的。在实际应用中，要根据使用环境的频率范围来选择材料的孔隙度，这样才能使材料发挥最好的吸声效果。

2.2.2 材料厚度对吸声性能的影响

图 5 是孔隙度约为 94%，高声压级 120 dB，厚度分别为 5、10、15 和 20 mm 时，材料吸声系数曲线对比图。在高压与常声压条件下厚度对吸声性能的影响相一致。在高压条件下，吸收高强度噪声的能力随材料厚度的增加而提高，且吸收峰值向低频移动。8#材料在频率为 5 到 6.4 kHz 之间的吸声系数高于 0.98。

2.2.3 材料空腔对吸声性能的影响

图 6 为空腔对材料的吸声特性影响图(定声压级 140 dB)。从图中可以看出，增加材料背后的空腔可以使材料在高压条件下的吸声峰值向低频移动。且经过增加空腔，使材料的吸声能力明显得到提高。这与在常声压条件下的影响规律一致。

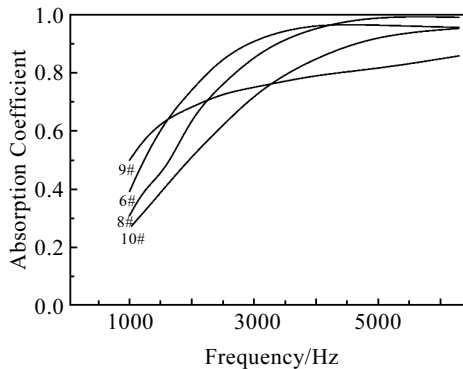


图 4 孔隙度对吸声系数的影响

Fig.4 Effects of porosity on sound absorption coefficient of the samples at 15 mm thickness and 120 dB

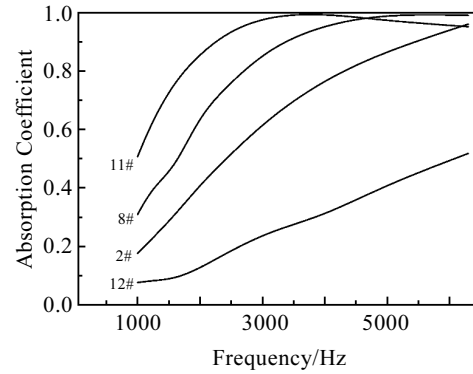


图 5 厚度对吸声系数的影响

Fig.5 Effects of thickness on sound absorption coefficient of the samples at 94% porosity and 120 dB

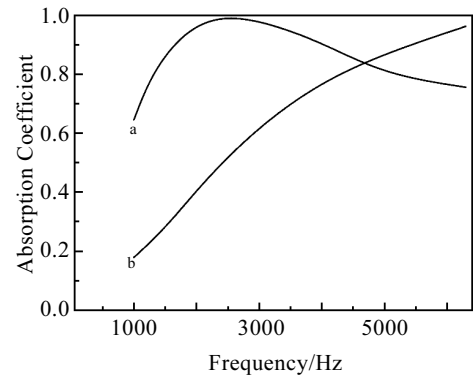


图 6 加空腔和不加空腔时材料的吸声曲线对比

Fig.6 Comparison of sound absorption curves between adding(a) and un-adding(b) cavity

3 结 论

1) FeCrAl 烧结纤维多孔材料在常声压下，孔隙度过高或是过低在全频段的吸声性能较差。材料厚度和空腔厚度对吸声系数的影响规律一致，即低频的吸声系数随材料厚度和空腔厚度的增加而提高，但是对高频的吸声性能没有太大影响。

2) 在高压条件下(100~140 dB)，孔隙度对材料吸声系数的影响规律与常声压下规律有所不同。在中低频时，低孔隙度的材料要比高孔隙度材料的吸声性能要好；而在高频时，孔隙度过高或是过低均不利于吸声性能的提高。厚度与空腔对吸声性能的影响与常声压下的规律相一致，随着材料厚度和空腔厚度的增加，吸声峰值向低频移动，整体吸声性能有明显提高。

参考文献 References

[1] Zhong Xiangzhang(钟祥璋). *Building Materials and Institution*

- Materials*(建筑材料与隔声材料)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 55
- [2] Kobayashi Hiroshi. *Nal Res Prog*[J], 2003: 63
- [3] Lu Tianjian(卢天健), He Deping(何德坪), Chen Changqing(陈常青) *et al. Advances in Mechanics*(力学进展)[J], 2006, 36(4): 517
- [4] Hu Songchun(胡颂纯), Zhong Xiangzhang(钟祥璋). *Acoustic Technology*(声学技术)[J], 1994, 13(3): 139
- [5] Pan Zhonglin(潘仲麟), Zhai Guoqing(翟国庆). *Noise Control Technique*(噪声控制技术)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 90

Sound Absorption Characteristics of FeCrAl Sintering Fibrous Porous Materials

Ao Qingbo, Tang Huiping, Zhu Jilei, Wang Jianyong, Zhi Hao

(State Key Laboratory of Porous Metals materials, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: FeCrAl fibrous porous materials with the porosity larger than 85% were prepared using the fiber of 20 μm in diameter as starting material. Under the ordinary sound pressure and high sound intensity conditions, the sound absorption properties of FeCrAl sintering fibrous porous materials were tested. The results indicate that the sound absorption properties of FeCrAl fibrous porous materials were increased by increasing of the porosity under ordinary sound pressure. But it was not beneficial to sound absorption under high frequency when the porosity was too high or too low. The larger the thickness was, the better the sound absorption properties of FeCrAl fibrous porous materials were. Adding the airspace can improve the sound absorption properties under low frequency. Under high sound intensity (100-140 dB), the sound absorption properties of the material would not change with the sound pressure level (SPL); effects of the parameters on the sound absorption properties were in concordance with that under ordinary sound pressure. The sound absorption coefficient of FeCrAl fibrous porous materials with 94% porosity and 20 mm thickness was up to 90% at 120 dB and in the frequency range of 2.5-6.4 kHz.

Key words: FeCrAl sintering fibrous porous materials; sound absorption character

Biography: Ao Qingbo, Master, State Key Laboratory of Porous Metals Materials, Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, P. R. China, Tel: 0086-29-86231095, E-mail: panpan0605@163.com