

# PET 熔体界面渗透对覆膜滤料结构及过滤性能的影响

魏海眉<sup>a</sup>, 陈建勇<sup>b</sup>, 朱海霖<sup>b</sup>, 王 峰<sup>b</sup>

(浙江理工大学, a. 材料与纺织学院; b. 浙江省纤维材料和加工技术研究重点实验室, 杭州 310018)

**摘 要:** 为改善非织造材料的过滤精度,通过高温热压复合法将 PET 非织造材料和 PTFE 微孔膜结合,构建非对称结构覆膜滤料,研究高温热压复合工艺参数与 PTFE 微孔膜孔径对覆膜滤料结构、剥离性能及过滤性能的影响。结果表明:随着热压温度、热压压力的升高,渗入 PTFE 微孔膜的 PET 熔体量增加,机械结合作用增强,导致覆膜滤料的剥离力增大;随着 PTFE 微孔膜孔径的增大,微孔渗透压差减小, PET 熔体更易渗入微孔膜内部,导致覆膜滤料剥离力增大; PET 熔体渗透量的增加加剧 PTFE 微孔膜孔道堵塞, PTFE 微孔膜表面孔径减小,使得覆膜滤料的透气量减小,并且降低微粒的渗透几率,从而提高覆膜滤料的过滤效率。当 PTFE 微孔膜孔径为  $0.8\ \mu\text{m}$ ,热压温度为  $290\ ^\circ\text{C}$ ,热压压力为  $6\ \text{kg}/\text{cm}^2$  时,覆膜滤料的剥离性能最好,透气量  $51.52\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,过滤效率  $99.99\%$ 。

**关键词:** 非对称结构;覆膜滤料;剥离性能;过滤效率

**中图分类号:** TS176+.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2018)09-0560-06

## 0 引 言

过滤材料通过截留、捕集工业废气中的固体颗粒达到净化空气的效果<sup>[1]</sup>。目前,广泛使用的过滤材料有非织造过滤材料、微孔过滤膜和覆膜滤料等<sup>[2]</sup>。其中,非织造过滤材料中的纤维交错排列、堆砌,构成了孔径不一且无规则分布的网状结构,可以通过筛分作用优先截留较大粒径的颗粒,通过纤维的捕集作用分离过滤小粒径颗粒,实现深层过滤。非织造材料的优势在于过滤速度快,过滤量大,但是,由于其孔径较大易形成滤饼,产品使用周期短,一般用于粗过滤<sup>[3]</sup>。微孔过滤膜具有原纤维状微孔结构,孔径较小且分布均匀,通过微孔能够有效截留细小微粒,其光滑的表面使微粒脱落实现表面过滤<sup>[4]</sup>。微孔过滤膜的优势在于过滤精度高,化学稳定性好,但其微孔易堵塞,整体材料强度低,使用寿命短。覆膜滤料通过将非织造材料与 PTFE 微孔膜复合,构建非对称结构,有效结合非织造材料的粗

过滤与 PTFE 微孔膜的微粒过滤,既改善了非织造材料的过滤精度,大大提高其过滤效率,又增强了过滤材料强度,延长使用寿命,因而得到广泛应用<sup>[5]</sup>。目前,国内外主要采用高温热压复合技术制备覆膜滤料,如美国 Gore 公司研发的 Gore-Tex PTFE 覆膜滤料,我国中材科技南京玻纤院研发的玻纤覆膜滤料等<sup>[6-7]</sup>。在相关应用研究中,李慧芳等<sup>[8]</sup>将浸渍过 PTFE 乳液的玄武岩机织布与 PTFE 薄膜热压成型,得到了性能优异的覆膜滤料;郑玉婴等<sup>[9]</sup>采用 PTFE 发泡涂层剂对聚苯硫醚进行预处理,再与 PTFE 膜高温热压成型,得到了结合牢固、过滤效率高、过滤阻力低的覆膜滤料;但是,关于高温热压复合过程中界面渗透作用对各组分材料结构的影响,热压温度与压力以及微孔膜孔径对覆膜滤料结构及性能的影响研究甚少。因此,本文选择 PET 非织造材料作为基材,通过高温热压复合法将其与 PTFE 微孔膜复合,制备覆膜滤料,研究 PET 熔体的界面渗透对覆膜滤料结构、剥离性能和过滤性能的影响,优化工艺参数。

收稿日期: 2017-12-19 网络出版日期: 2018-02-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(201406207)

作者简介: 魏海眉(1991-),女,福建宁德人,硕士研究生,主要从事非织造材料改性方面的研究。

通信作者: 陈建勇, E-mail: c jy@zstu.edu.cn

## 1 实验部分

### 1.1 材料与仪器

PET非织造材料厚度为 $(0.476 \pm 0.005)$  mm, 克重为 $(141 \pm 5)$  g/m<sup>2</sup>、PTFE微孔膜(厚度为0.025 mm, 平均孔径分别为0.2、0.5、0.8 μm), 覆膜装置(浙江格尔泰斯环保特材科技股份有限公司)、DSC-8000 差示扫描量热仪(美国PerkinElmer公司)、XNR-400A 熔体流动速率仪(常州市第一纺织设备有限公司)、EDS/EBSD-vltra55 热场发射扫描电子显微镜(德国ZEISS公司)、INSTRON3699S3164 高强材料万能试验机(美国英斯特朗公司)、YG-461E-III 全自动透气量仪(宁波纺织仪器厂)、SX-L1050 滤料试验台(苏州市苏信净化设备厂)。

### 1.2 覆膜滤料的制备

PTFE/PET覆膜滤料的制备如图1所示, 将PTFE微孔膜与PET非织造材料通过传送辊输送至热压辊, 在预先设定好的温度与压力下热压复合制备覆膜滤料, 热压辊线速度为8 m/min, 最后通过卷绕机卷绕, 得到卷装覆膜滤料。

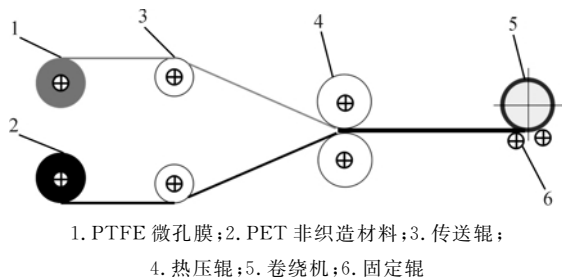


图1 覆膜滤料制备简易装置示意图

### 1.3 测试与表征

#### 1.3.1 PET非织造材料熔点测定

将PET非织造材料在烘箱中烘干后, 用差示扫描量热仪测试其玻璃化温度及熔点。测试升温速率为20 °C/min, 升温范围为0~300 °C。

#### 1.3.2 PET熔体流量分析

将干燥后的PET非织造材料剪切成小片状, 用

熔体流动速率仪, 分析PET熔体的流动性。设置不同温度, 测试PET熔体流量随温度升高的变化情况; 使用不同直径口模测试PET熔体流量随口模直径增大的变化情况。

#### 1.3.3 覆膜滤料微观形貌分析

使用热场发射扫描电子显微镜对覆膜滤料的表面、截面及复合界面形貌进行观察分析。

#### 1.3.4 覆膜滤料剥离强度分析

根据标准ISO 8510-2: 1990《胶粘剂—挠性材料与刚性材料粘合的胶接试样的剥离试验—第2部分: 180°剥离》, 用高强材料万能试验机对覆膜滤料的剥离强度进行测试。试样尺寸为200 mm×25 mm。

#### 1.3.5 覆膜滤料透气性分析

根据标准GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》, 采用全自动透气量仪对覆膜滤料的透气量进行测试。测试压差为200 Pa, 测试面积为20 cm<sup>2</sup>。

#### 1.3.6 覆膜滤料过滤性能分析

用滤料试验台对覆膜滤料的过滤阻力与过滤效率进行测试。流量32 L/min, 滤速5.33 cm/s, 时间60 s, 试样面积100 cm<sup>2</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 过滤材料结构分析

图2(a)~(c)分别为PET非织造材料表面、PTFE微孔膜表面和覆膜滤料截面的SEM图。图2(a)示出PET非织造材料中纤维之间相互交错、堆砌, 无规则排列, 形成一种杂乱的三维立体网状空间结构, 表面微孔孔径均大于30 μm。图2(b)示出PTFE微孔膜表面结构, 可观察到膜表面的“原纤-结点”结构构成微孔, 原纤间的距离较PET非织造材料小。图2(c)示出覆膜滤料截面的非对称结构, 由PTFE微孔膜和PET非织造材料构成, 该结构可将固体颗粒截留于PTFE微孔膜表面, 实现表面过滤<sup>[10]</sup>, 提高了非织造材料的过滤精度。

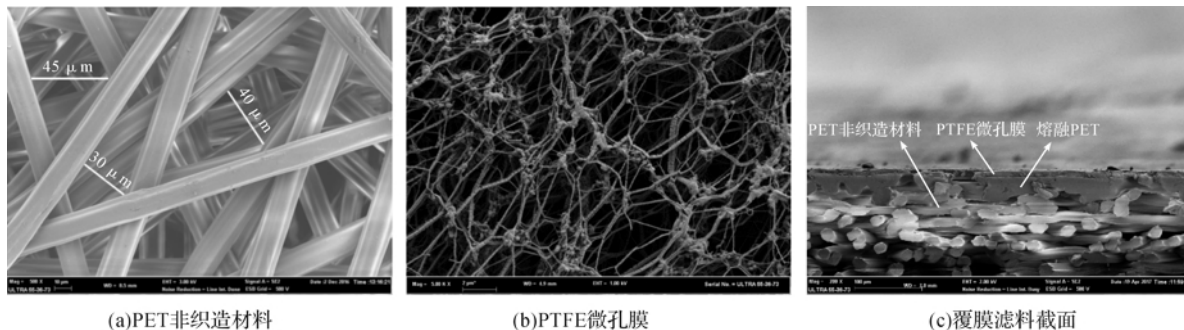


图2 过滤材料 SEM 图

## 2.2 热压温度对覆膜滤料结构的影响

图3和图4分别为采用不同热压温度制备的覆膜滤料粘合面与截面SEM图。由图3(a)~(c)可知,随着温度升高,PET非织造材料表面纤维熔融程度增加。由图4(a)~(c)可知,随着温度升高,

PET非织造材料熔融层厚度增加。这是因为当热压温度高于PET非织造材料的熔点(图5)时,PTFE/PET界面处的PET纤维熔融,形成PET熔体。温度升高,PET纤维受热量增加,熔融程度增大,表现为熔融层厚度的增加。

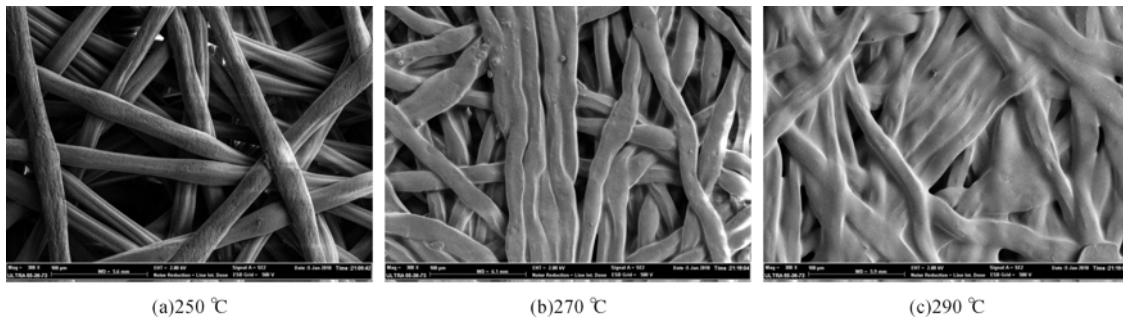


图3 不同热压温度制备的覆膜滤料粘合面SEM图

注:热压压力为  $4 \text{ kg/cm}^2$

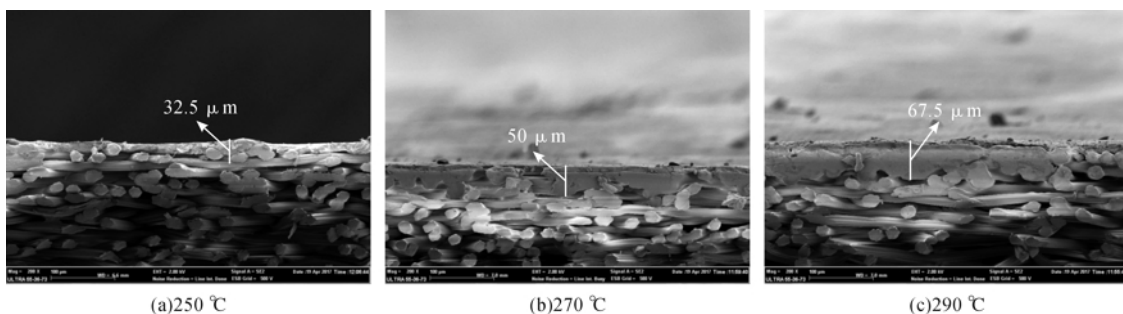


图4 不同热压温度制备的覆膜滤料截面SEM图

注:热压压力为  $4 \text{ kg/cm}^2$

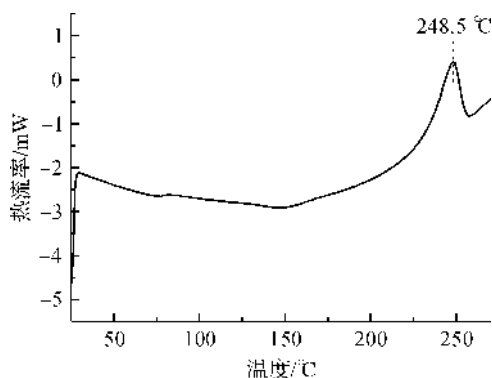


图5 PET非织造材料DSC曲线

## 2.3 热压压力对覆膜滤料结构的影响

图6为采用不同热压压力制备的覆膜滤料截面SEM图,由图6(a)~(c)可知,随着热压压力增加,覆膜滤料厚度减小,且均小于PET非织造材料的厚度。因为PET纤维交错堆叠而成的非织造材料具有大量的微孔,微孔在压力和温度的作用下压缩,最终导致滤料厚度减小。

## 2.4 覆膜滤料的剥离性能分析

### 2.4.1 温度与压力对覆膜滤料剥离性能的影响

图7显示了热压温度对覆膜滤料剥离力的影响。

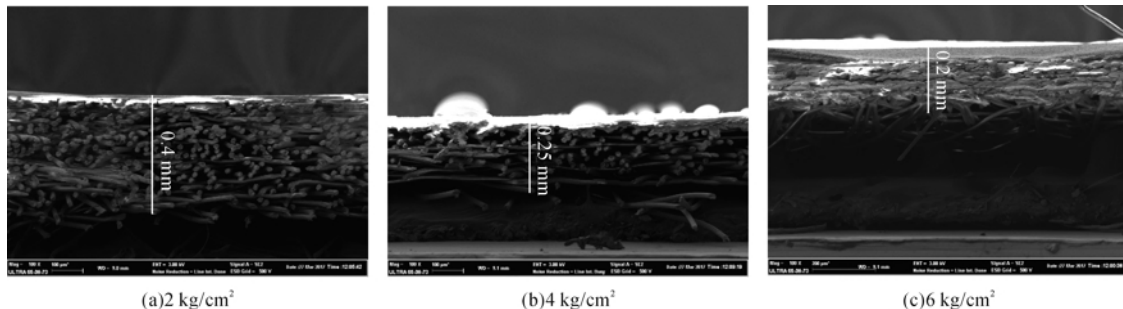


图6 不同压力制备的覆膜滤料截面SEM图

注:PTFE微孔膜孔径为  $0.5 \mu\text{m}$ ;热压温度为  $290 \text{ }^{\circ}\text{C}$

由图 7 可知,剥离力随着热压温度的升高而增大,因为当温度高于 PET 非织造材料熔点时,PTFE/PET 界面处的 PET 纤维熔融,形成熔体。根据机械粘合理论,PET 熔体渗入膜表面微孔并包裹在原纤表面,冷却后使膜与 PET 非织造材料相互粘合<sup>[11]</sup>。随着温度升高,熔体的流动性改善(表 1),导致渗入 PTFE 微孔膜的熔体量增加,与截面形貌分析结构一致(图 4)。因此,温度升高加强了非织造材料与膜之间的机械粘合作用力,增大了覆膜滤料的剥离力。

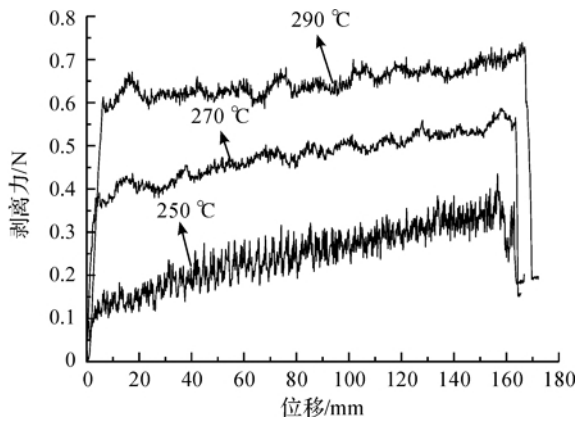


图 7 不同热压温度制备的覆膜滤料剥离力与位移的关系曲线

注:PTFE 微孔膜孔径为  $0.5\ \mu\text{m}$ ;热压压力为  $4\ \text{kg}/\text{cm}^2$

表 1 PET 熔体流量

组别	1	2	3	4	5
口模直径/mm	1.595	1.595	1.595	2.095	2.595
温度/ $^{\circ}\text{C}$	250	270	290	270	270
熔体流量/ $(\text{g} \cdot (10\ \text{min})^{-1})$	3.018	31.254	51.300	47.260	87.380

注:口模直径指熔体流动速率仪挤压出料口直径;熔体流量指在一定温度与负荷下,熔体每 10 min 通过口模的质量;测试压力为  $3.8\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 。

图 8 显示了热压压力对覆膜滤料剥离力的影响。由图 8 可知,覆膜滤料的剥离力随着热压压力的升高而增大。这可由界面渗透示意图(图 9)加以说明:渗透过程中,渗透压差( $\Delta P$ )与膜孔径( $R$ )满足 Young-Laplace 方程<sup>[12]</sup>,即  $\Delta P$  与  $R$  呈负相关关系,由此可知,随着压力升高,熔体渗透的驱动力增强,渗入膜表面微孔的熔体量增加,最终导致剥离力增大。

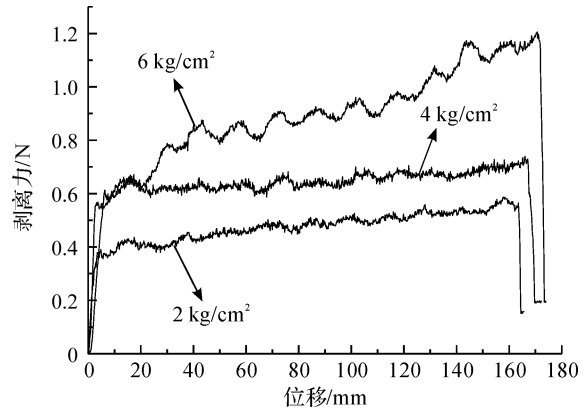


图 8 不同热压压力制备的覆膜滤料剥离力与位移的关系曲线

注:PTFE 微孔膜孔径为  $0.5\ \mu\text{m}$ ;热压温度为  $270\ ^{\circ}\text{C}$

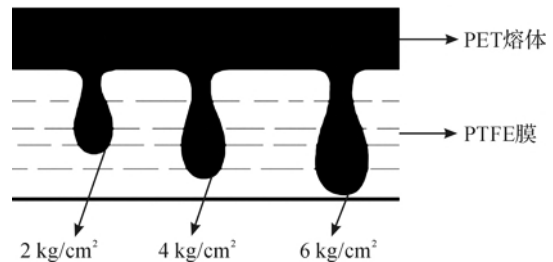


图 9 界面熔体渗透示意图

#### 2.4.2 PTFE 膜孔径对覆膜滤料剥离性能的影响

图 10 为不同孔径 PTFE 微孔膜制备的覆膜滤料剥离力与位移关系曲线图。由图 10 可知,随着 PTFE 微孔膜孔径的增大,覆膜滤料的剥离力变大。因为随着 PTFE 微孔膜孔径增大,PET 熔体更易渗入 PTFE 微孔膜内部孔道中,熔体渗入量增加,这与表 1 中口模直径对熔体流量的影响规律一致。熔体渗入量的增加引起 PTFE/PET 界面处机械结合作用力增强,覆膜滤料剥离力增大。

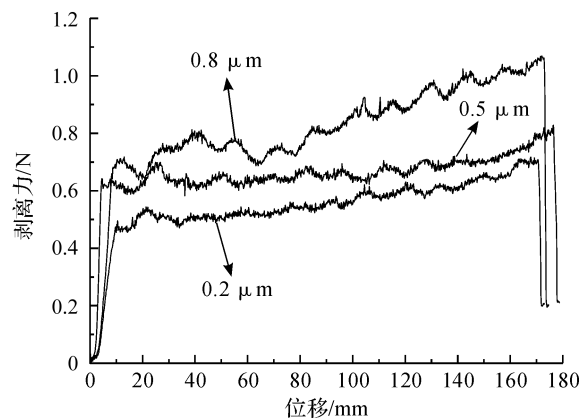


图 10 不同孔径 PTFE 微孔膜制备的覆膜滤料剥离力与位移关系曲线

注:热压温度  $290\ ^{\circ}\text{C}$ ,热压压力  $6\ \text{kg}/\text{cm}^2$

### 2.5 覆膜滤料的过滤性能

表2反映了高温热压复合工艺参数、PTFE微孔膜孔径对覆膜滤料透气量与过滤效率的影响。由表2透气量结果可知,覆膜后,覆膜滤料的透气量显著降低。对比试样C、D、E与F、D、G的透气量可知,覆膜过程中,升高热压温度/压力,覆膜滤料的透气量均降低。这是因为覆膜滤料的透气量取决于PTFE微孔膜,故覆膜后透气量显著降低<sup>[13]</sup>。覆膜过程中,随着热压温度/压力的升高,渗入PTFE微孔膜的PET熔体量增加,加剧微孔堵塞,PTFE微孔膜表面孔径减小,透气量降低。对比试样H、I、J透气量可知,覆膜滤料的透气量随PTFE微孔膜孔

径增大而降低,因为当PTFE微孔膜孔径增大,微孔压力差减小,故PET熔体更易渗入PTFE微孔膜微孔中,渗入PTFE微孔膜的PET熔体量增加(表1),加剧微孔堵塞,PTFE微孔膜表面孔径减小,最终导致透气量降低。

由表2过滤效率结果可知,覆膜后,滤料的过滤效率大大提高,且均高于99.98%。这是因为覆膜滤料表面的PTFE微孔膜孔径小、表面光滑、摩擦系数小,能够截留细小颗粒,且易脱覆,可实现表层过滤。因此,通过高温热压复合法制备具有非对称结构的PTFE/PET覆膜滤料,可显著提高过滤材料的过滤效率。

表2 过滤材料各项性能参数

编号	高温热压复合工艺参数		PTFE微孔膜 孔径/ $\mu\text{m}$	性能测试	
	温度/ $^{\circ}\text{C}$	压力/ $(\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2})$		透气量/ $(\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	过滤效率/%
A	—	—	—	206.27	46.56
B	—	—	0.5	68.99	99.98
C	250	4	0.5	67.99	99.98
D	270	4	0.5	60.93	99.98
E	290	4	0.5	50.57	99.98
F	270	2	0.5	65.53	99.98
G	270	6	0.5	53.00	99.98
H	290	6	0.2	51.52	99.98
I	290	6	0.5	46.84	99.98
J	290	6	0.8	41.78	99.99

注:A为PET非织造材料,B为PTFE微孔膜,C—J为采用不同工艺参数制备的覆膜滤料。

## 3 结 论

以PET非织造材料为基材,通过高温热压复合法将不同孔径的PTFE微孔膜与PET非织造材料复合,制得具有非对称结构的高过滤效率覆膜滤料。主要研究结论如下:

a) 在高温热压复合过程中,PET非织造材料中的纤维熔融形成熔体并渗入PTFE微孔膜中。随着热压温度、热压压力的升高,渗入PTFE微孔膜的熔体量增加,机械结合作用增强,覆膜滤料的剥离力变大,剥离性能变好。随着PTFE微孔膜的孔径增大,微孔渗透压差减小,PET熔体更易渗入微孔膜内部,覆膜滤料剥离力增大,剥离性能变好。

b) 热压温度、压力的升高以及PTFE微孔膜孔径的增加都会导致渗入微孔膜的PET熔体量增加,加剧了PTFE微孔膜孔道堵塞,使得PTFE微孔膜表面孔径减小,最终导致覆膜滤料的透气量减小,并且降低了微粒的渗透几率,从而提高覆膜滤料过滤效率。

c) 当PTFE微孔膜孔径为 $0.8\mu\text{m}$ ,热压温度为 $290^{\circ}\text{C}$ ,热压压力为 $6\text{ kg/cm}^2$ 时,覆膜滤料的剥离性能最好,透气量 $51.52\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,过滤效率99.99%。

### 参考文献:

- [1] 何东芮,修雪英.覆膜滤料在工业粉尘过滤中的应用分析[J].化工管理,2016(15):119-119.
- [2] 杨朝坤,赵谦,蒋云,等.纤维过滤材料技术与应用[J].棉纺织技术,2009,37(9):1-4.
- [3] 倪冰选,张鹏.非织造布孔径分布及过滤效率研究[J].产业用纺织品,2012(3):25-28.
- [4] 赵子赫,卢继霞,袁晓旭,等.微孔滤膜污染机理分析方法综述[J].中国粉体技术,2017(1):27-31.
- [5] 白耀宗,董浩宇,高政,等.高效过滤工业粉尘用覆膜滤料的研发与示范应用[J].玻璃纤维,2015(3):24-29.
- [6] 陈亏,高晶,俞建勇,等.玻璃纤维/PTFE高温热压覆膜滤料的发展现状[J].产业用纺织品,2010,28(2):1-5.
- [7] 郑玉婴,蔡伟龙,汪谢,等.无胶热压聚四氟乙烯覆膜高温滤料[J].纺织学报,2013,34(8):22-26.
- [8] 李慧芳,陈慰来,隋伟东,等.玄武岩纤维复合材料过滤

- 性能的研究[J]. 现代纺织技术, 2013, 21(4): 11-14.
- [9] Park B H, Lee M H, Kim S B, et al. Preparation and characterization of porous composite filter medium by polytetrafluoroethylene foam coating [J]. Air Repair, 2010, 60(2): 137-141.
- [10] 包怡文. 聚四氟乙烯覆膜滤料技术[J]. 冶金环境保护, 2005(3): 59-61.
- [11] 汪锡安, 胡宁先. 粘合剂及其应用[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1981: 22-25
- [12] García-Payo M C, Izquierdo-Gil M A, Fernández-Pineda C. Wetting study of hydrophobic membranes via liquid entry pressure measurements with aqueous alcohol solutions [J]. Journal of Colloid & Interface Science, 2000, 230(2): 420-431.
- [13] 唐琴. PTFE 覆膜防水织物的透气性研究[J]. 现代纺织技术, 2008, 16(3): 7-9.

## Effect of interfacial penetration of PET melt on the structure and filtration performance of membrane filter material

WEI Haimei<sup>a</sup>, CHEN Jianyong<sup>b</sup>, ZHU Hailin<sup>b</sup>, WANG Feng<sup>b</sup>

(a. College of Materials and Textiles; b. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Fiber Materials and Manufacturing Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** To improve the filtration accuracy of nonwovens, membrane filter material with asymmetric structure was prepared by combing PET nonwovens with PTFE microporous membrane through high temperature hot pressing process. The effects of high temperature hot pressing process parameters and the pore size of PTFE microporous membrane on the structure, the peeling force and the filtration efficiency of the membrane filter material were studied. The results show that with the increase of hot pressing temperature and hot pressing pressure, the amount of PET melt penetrated into the PTFE microporous membrane increases, and the mechanical binding effect is enhanced, which leads to the increase of the peeling force of the membrane filter material. With the increase of pore size of PTFE microporous membrane, the microporous osmotic pressure decreases, PET melt is more easily penetrated into the microporous membrane, resulting in the increase of the peeling force of the membrane filter material. The amount of PET melt penetration increased PTFE microporous membrane pore blockage, the surface pore of PTFE membrane decreases, causing the air permeate flux of the membrane filter material decreases, and reduce the probability of penetration of particles, thereby improving the filtration efficiency of membrane filter media. When the pore size of PTFE microporous membrane is  $0.8\ \mu\text{m}$ , the hot pressing temperature is  $290\ ^\circ\text{C}$  and the hot pressing pressure is  $6\ \text{kg}/\text{cm}^2$ , the peeling performance of the membrane filter material is best, and the air permeate flux is  $51.52\ \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , the filtration efficiency is 99.99%.

**Key words:** asymmetric structure; membrane filter material; peeling performance; filtration efficiency

(责任编辑: 唐志荣)