

一种高剥离强度和透气性的玻纤/纺粘无纺布复合滤材的制备工艺与性能

熊晨 张久政 王洪

Preparation and properties of a glass fiber/spunbond composite filter with high peel strength and permeability

XIONG Chen, ZHANG Jiuzheng, WANG Hong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20210615.002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

陶瓷纤维长度对复合精铸型壳抗弯强度与透气性的影响及增强行为

Effects and enhanced behavior of ceramic fiber length on bending strength and breathability of composite shell for investment casting

复合材料学报. 2017, 34(4): 865–872 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20160720.001>

空气过滤用电纺聚偏氟乙烯-聚丙烯腈/熔喷聚丙烯无纺布复合材料的制备及过滤性能

Preparation and filtration properties of electrospun poly(vinylidene fluoride)-polyacrylonitrile/melt-blow polypropylene nonwoven composite filtration materials

复合材料学报. 2019, 36(2): 277–282 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20180514.002>

复合纤维配比对精铸硅溶胶型壳性能的影响

Effects of composite fiber ratio on the properties of silica sol shell for investment casting

复合材料学报. 2018, 35(6): 1535–1541 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20170904.002>

尼龙66纤维混杂刚玉砂对复合纤维型壳性能的影响

Effects of polyamide 66 fibers added to corundum sands on properties of composite shell

复合材料学报. 2020, 37(4): 927–934 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20190529.003>

中空桔瓣型超细纤维/水性聚氨酯合成革的制备及性能

Preparation and properties of hollow segmented-pie microfiber/waterborne polyurethane synthetic leather

复合材料学报. 2017, 34(11): 2392–2400 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20170220.002>

陶瓷-尼龙复合纤维含量对石膏铸型性能和微观形貌的影响

Effect of ceramic-nylon composite fiber content on properties and micromorphologies of gypsum mold

复合材料学报. 2020, 37(5): 1167–1174 <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20190909.002>

DOI: 10.13801/j.cnki.fhclxb.20210615.002

一种高剥离强度和透气性的玻纤/纺粘无纺布
复合滤材的制备工艺与性能



熊晨¹, 张久政², 王洪^{*1}

(1. 东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620; 2. 中国船舶重工集团公司 第七〇七研究所九江分部, 九江 332000)

摘 要: 玻纤滤材具有过滤精度高和纳污量大等优点, 但其耐折和耐压性能较差, 需要与非织造布复合以提高其加工性和使用寿命, 但传统的上胶复合工艺容易造成玻纤复合滤材透气性下降。将热熔胶树脂颗粒通过熔喷技术以超细纤维形式均匀负载到纺粘布上, 进一步利用热轧复合技术与玻纤滤材复合, 得到了剥离强度高、透气性基本不变的玻纤/纺粘复合滤材。通过对比复合玻纤滤材的剥离强度和透气性变化, 发现超细纤维负载量对复合滤材的性能影响最大, 当负载量为 8 g/m² 时, 复合滤材剥离强度即可达到要求, 对透气性也不会造成明显影响。综合考虑产品性能与生产实际, 建立了最佳复合工艺为上胶量 8 g/m²、辊间距 0.3 mm、热轧温度 120℃、热轧速度 15 m/min, 在此工艺下玻纤滤材和纺粘布间达到了较好的粘合效果, 且复合滤材透气性变化较小。

关键词: 熔喷; 玻纤滤材; 热熔胶; 复合; 透气性

中图分类号: TS176 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3851(2022)05-2398-07

Preparation and properties of a glass fiber/spunbond composite filter
with high peel strength and permeability

XIONG Chen¹, ZHANG Jiuzheng², WANG Hong^{*1}

(1. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. No.707 Research Institute Jiujiang Branch, China Shipbuilding Industry Corporation, Jiujiang 332000, China)

Abstract: Glass fiber materials, a kind of filter medium, have advantages of high filtration accuracy and large holding capacity of pollution. It is usually composited with nonwoven materials to improve its processability and service life by overcoming the poor folding ability and pressure resistance. However, the air permeability of this kind of composites will be decreased caused by the hot melt adhesive coating method. In this paper, this issue is addressed by creating a melt-blown fibrous bonding layer of hot melt resin rather than just coating a compact film between glass fiber medium and spunbond nonwoven materials. By this approach, the loading amount of melt-blown fibrous layer plays a significant role in the filtration performance of this filter medium. The results show that a high peel strength can be achieved but without compromising the permeability when loading 8 g/m² melt-blown fibers. And, considering the properties of the product and the production, a filter medium product with good mechanical properties and filtration performance can be fabricated when setting the loading amount of melt-blown fibers, gauge, temperature, and speed of hot calender at 8 g/m², 0.3 mm, 120℃ and 15 m/min, respectively.

Keywords: melt-blown; glass fiber filter; hot melt adhesive; composite; air permeability

近年来, 由于化石资源的枯竭和全球空气状况的恶化, 柴汽比出现下降趋势, 但柴油发动机具有比汽油发动机更高的能量转换效率, 在船舶、航空、军工等设备中广泛使用^[1]。由于柴油燃烧会产生大量氮氧化物和颗粒物, 开发替代柴油的生物燃料或升级燃油喷射系统是当下的研究热点^[2-4]。

收稿日期: 2021-05-06; 修回日期: 2021-05-25; 录用日期: 2021-06-05; 网络首发时间: 2021-06-15 12:18:28
网络首发地址: <https://doi.org/10.13801/j.cnki.fhclxb.20210615.002>
通信作者: 王洪, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为多孔功能材料、生物质材料和再生资源材料 E-mail: wanghong@dhu.edu.cn
引用格式: 熊晨, 张久政, 王洪. 一种高剥离强度和透气性的玻纤/纺粘无纺布复合滤材的制备工艺与性能 [J]. 复合材料学报, 2022, 39(5): 2398-2404.
XIONG Chen, ZHANG Jiuzheng, WANG Hong. Preparation and properties of a glass fiber/spunbond composite filter with high peel strength and permeability[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2022, 39(5): 2398-2404(in Chinese).

喷油系统的升级虽然能在一定程度上提升柴油的燃烧利用率，但也对燃油洁净程度提出了更高要求，开发新型燃油滤清器过滤材料具有重要意义^[5]。

燃油过滤中常用的玻纤滤材具有过滤精度高和纳污容量大等优点，但玻纤本身不耐弯折，在加工使用过程中容易破损^[6]。为了提高其过滤精度稳定性和使用寿命，通常需要与非织造布复合后使用^[7]。纺粘非织造布具有透气性好、力学性能好等优点，被广泛应用于过滤、建筑、医疗、服装等领域^[8-9]。纺粘非织造布与玻纤滤材复合后能对“质脆”的玻纤滤材起保护作用。传统的玻纤滤材复合工艺包括机械复合和粘合复合两种^[10-11]。机械复合是将非织造布和玻纤滤材叠合后在机械力的作用下复合在一起，层间结合力弱，非织造布层不能为玻纤层提供充分的保护，复合滤材过滤精度稳定性差^[7]。粘合复合包括化学粘合和热粘合。石玉强等^[12]以丙烯酸胶粘剂为粘合介质，将纺粘非织造布和玻纤滤材复合后发现，纺粘非织造布可以提高滤材抗水流冲击的能力。李惠等^[13]研究发现，常规化学粘合和热粘合都会由于粘合点的存在降低玻纤滤材的孔径，最终缩短滤材使用寿命。

热熔胶被誉为“绿色胶粘剂”，受热熔融成为流体状态，冷却凝固后产生粘合力^[14]。相对于其他化学粘合剂，热熔胶生产使用过程中不添加任何溶剂，与玻纤滤材复合后使用不会给燃油引入水分杂质，是复合玻纤滤材的优选粘合剂^[15]。根据所用的聚合物基体不同，热熔胶分为聚酰胺类、聚酯类、聚氨酯类、聚烯烃类等多个种类，可以被加工成粉末、颗粒、棒状、薄膜等多种形态，满足不同复合工艺需求^[16-18]。为了减少热熔胶对复合材料透气性的影响，热熔胶网膜技术也逐步发展起来^[19]。但现有的刮涂、网纹涂布、喷涂等热熔胶上胶工艺很难将粘合点控制在微米级别内^[20]。

本文尝试将热熔胶通过熔喷技术以超细纤维形式喷吹到纺粘布上，进一步利用热轧机将其与玻纤滤材复合，通过对热熔胶选型、复合工艺优化，得到了剥离强度高、透气性好的玻纤/纺粘复合滤材。

1 实验与测试

1.1 原材料

玻纤滤材(单位面积质量为 80 g/m²，厚度为

0.65 mm)；纺粘布(单位面积质量为 30 g/m²，厚度为 0.13 mm)；热熔胶(上海天洋热熔粘结材料股份有限公司)。

1.2 试样制备

玻纤/纺粘无纺布复合滤材的制备工艺流程如图 1 所示。热熔胶颗粒由上料系统输送到螺杆挤出机，在螺杆挤出机中加热熔融后经过滤器和计量泵到达熔喷模头，从模头喷丝孔挤出后形成熔体细流，在高速热气流的喷吹下到达纺粘布表面。通过调整接收装置速度，使纺粘布表面的超细纤维负载量分别为 5、8 和 12 g/m²。进一步将玻纤滤材退卷到该纺粘布表面，然后一起送入热轧机进行热轧复合。通过控制热轧机温度和速度，得到不同复合效果的玻纤/纺粘无纺布复合滤材。

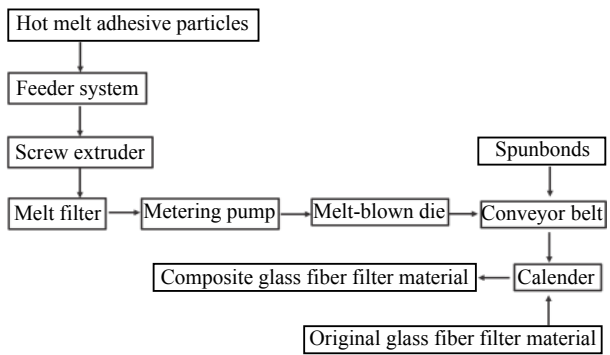


图 1 玻纤/纺粘无纺布复合滤材试样制备工艺路线图

Fig. 1 Diagram of glass fiber/spunbond filter compounding process

1.3 性能测试

1.3.1 熔点测试

采用差示扫描量热仪(DSC8500, 美国珀金埃尔默股份有限公司)测试热熔胶的熔点。在氮气气氛下，以 30℃/min 的升温速度由 30℃ 升温至 300℃。

1.3.2 热降解性能表征

采用热重分析仪(Claruss Q8000, 美国珀金埃尔默股份有限公司)测试热熔胶的热降解性能。在氮气气氛下，以 30℃/min 的升温速度由 30℃ 升温至 400℃。

1.3.3 熔体流动指数测试

采用 XNR-400BM 熔体流动速率仪，根据《热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定》(GB/T 3682.1—2018)^[21]，测试热熔胶在不同实验温度下的熔体流动指数。实验负荷为 2.160 kg，出料口直径为 2.095 mm。

1.3.4 粘结牢度

参照《胶粘剂 T 剥离强度试验方法(挠性材

料)》(GB/T 2791—1995)^[22], 测试热熔胶的粘结牢度。基材采用涤纶机织布, 涂胶厚度为 0.2~0.3 mm。试样尺寸 200 mm×25 mm、拉伸速度 100 mm/min、传感器量程 100 N。

1.3.5 剥离性能

参照《纸和纸板层间剥离强度的测定》(GB/T 34444—2017)^[23], 对玻纤/纺粘无纺布复合滤材进行剥离强力测试。试样尺寸 25 mm×150 mm、夹持距离 50 mm、拉伸速度 300 mm/min、传感器量程 50 N。

1.3.6 透气性

根据《纺织品织物透气性的测定》(GB/T 5453—1997)^[24], 用 YG461G 型全自动透气量仪对玻纤/纺粘复合滤材进行透气性测试 (mm/s), 压差为 200 Pa, 压脚面积为 20 cm², 自动调节喷嘴。

1.3.7 扫描电镜测试

用扫描电子显微镜 (Regulus8230, 日立仪器有限公司) 观察热熔胶超细纤维结构, 在 15 mA 电流下对样品喷金 90 s。

2 结果讨论与分析

2.1 热熔胶的选择与性能评价

基于增强和粘合性要求, 选取纺粘布材质为聚酯, 在此基础上选择了两种聚酯类热熔胶 (A 胶、B 胶) 和一种聚酰胺类热熔胶 (C 胶) 进行热熔胶选型研究。为了考察不同热熔胶的粘合牢度, 参照《胶粘剂 T 剥离强度试验方法 (挠性材料)》(GB/T 2791—1995)^[22], 将三种热熔胶涂布于强力较大的涤纶机织布上, 然后测试其剥离强度, 结果如表 1 所示。

表 1 热熔胶剥离强力

Table 1 Peel strength of hot melt adhesives

Glue number	A	B	C
Peel strength/N	37.62	36.49	11.96

Notes: A, B—Different kinds of polyester hot melt adhesive; C—Polyamide hot melt adhesive.

从表 1 可见, 相对于 A 胶和 B 胶, C 胶的剥离强力较小, 用于滤材复合可能会出现粘合不牢的现象。而 A 胶和 B 胶的剥离强力较接近, 约是 C 胶剥离强力的三倍。这是由于聚酰胺材质的热熔胶与涤纶机织布的界面作用力小, 而 A 胶和 B 胶与涤纶机织布都是聚酯类, 界面作用力大。因此, 认为 A 胶和 B 胶可以应用于滤材复合。

考虑到热轧复合工艺要求, 进一步对 A 胶和

B 胶的热性能进行评价。用差示扫描量热仪 (DSC) 测试两种热熔胶的熔点, 其 DSC 曲线如图 2 所示。由图可知, A 胶和 B 胶的熔点分别为 168℃ 和 125℃, A 胶的熔点高于 B 胶。本文选择熔点较低的 B 胶作为粘合剂, 有利于在更低的温度下进行滤材的热轧复合。

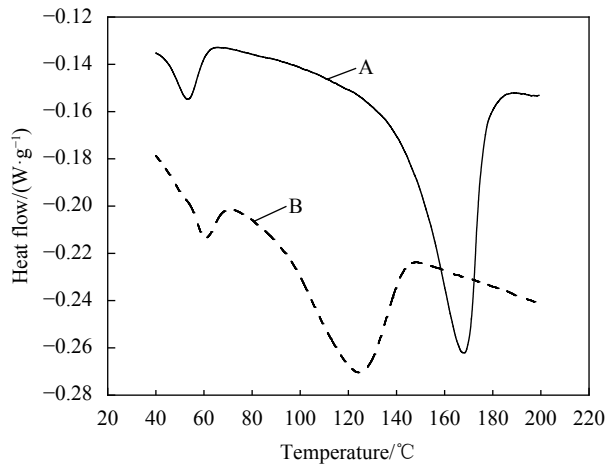


图 2 A 热熔胶和 B 热熔胶的差示扫描量热 (DSC) 曲线图对比
Fig. 2 Comparison of differential scanning calorimeter (DSC) curve for hot melt adhesive A and B

为了评估所选热熔胶是否适合熔喷工艺, 进一步采用热重分析仪测试其热降解 (TG) 性能, 其 TG 曲线如图 3 所示。从图中可以看出, 该热熔胶的初始热降解温度为 350℃ 左右, 结合图 2 的熔点测试结果, 认为该热熔胶具有非常宽的热熔加工窗口 (125~350℃), 应该适合熔喷工艺。

另外, 熔喷工艺要求树脂具有非常好的流动性, 以得到超细纤维网^[9], 为了评价 B 胶的熔喷

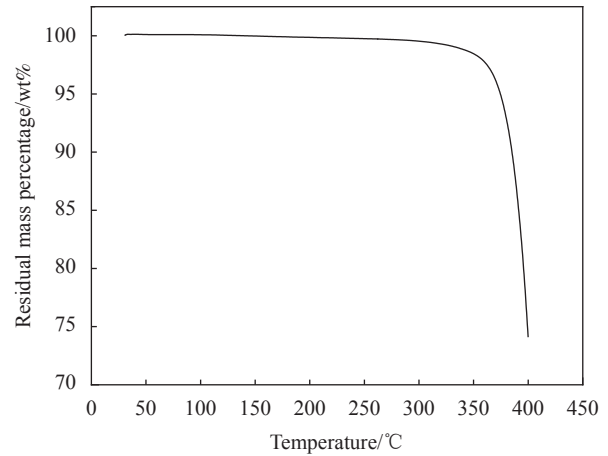


图 3 B 热熔胶的热降解性能
Fig. 3 Thermal degradation properties of B hot melt adhesive

工艺可行性, 基于现有实验室条件, 采用熔体流动速率仪, 测试其不同温度下的熔体质量流动速率 (Mass flow rate, MFR) 变化, 从而表征其加工流动性, 结果见图 4。从图中可以看出, 根据 GB/T 3682.1—2018^[21] 关于熔体流动速率的规定, B 胶的熔融指数为 30 g/10 min。当温度从 150℃ 升高到 270℃ 时, 属于共聚酯类的 B 胶的熔体流动指数从 30 g/10 min 增加到 270 g/10 min, 说明其流动性能较好。

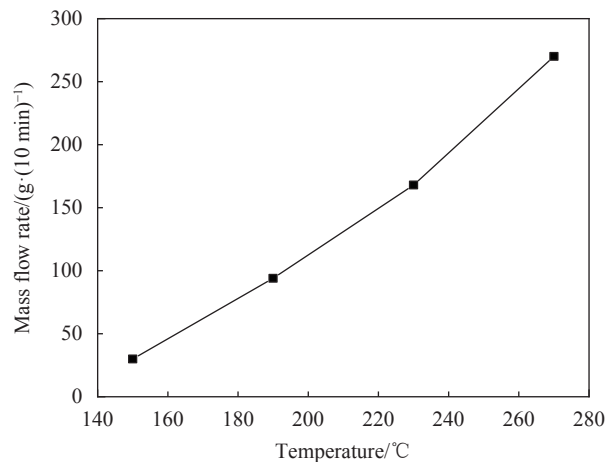


图 4 不同温度下 B 热熔胶的温度-熔体流动速率 (MFR) 变化
Fig. 4 Melting mass flow rate (MFR) change of hot melt adhesive B under different temperature

综合上述对剥离强力、热性能和流动特性的评价结果, 选择共聚酯类的 B 胶作为粘合剂, 用于玻纤和聚酯无纺布的热轧复合。

2.2 超细纤维负载量对玻纤/纺粘无纺布复合滤材剥离强度和透气性的影响

通过熔喷工艺, 将 B 胶制成的超细纤维直接喷吹到纺粘无纺布表面, 通过扫描电子显微镜观察其结构, 结果如图 5 所示。从图中可见, 在纺粘布表面形成了一薄层超细纤维网, 该超细纤维以单根或者 2~3 根堆叠的形式均匀分散。进一步通过 Nano Measurer 软件计算, 其平均直径为 3.42 μm, 小于玻纤滤材的平均孔径 (10.65 μm), 复合后不会明显影响玻纤滤材的透气性。

固定热轧温度为 120℃、热轧速度为 10 m/min、辊间距为 0.3 mm, 改变热熔胶超细纤维负载量分别为 5、8 和 12 g/m², 制备玻纤/纺粘复合滤材, 超细纤维负载量对复合滤材透气性和剥离强度的影响如表 2 所示。

从表 2 和图 6 可以看出, 当超细纤维负载量为 5 g/m² 时, 样品的剥离强度为 3.3 N/cm², 其强

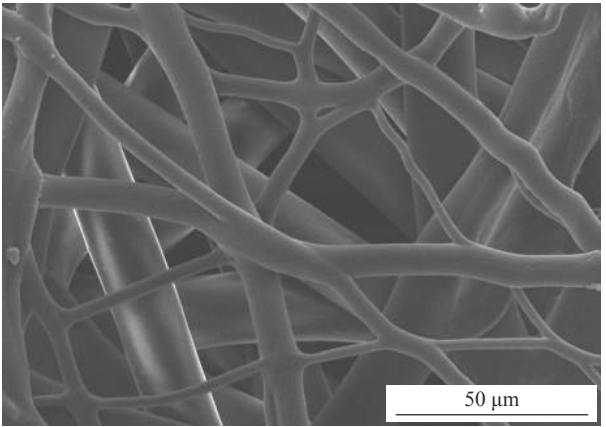


图 5 热熔胶纤维形态结构
Fig. 5 Fiber morphology and structure of hot melt adhesive

表 2 玻纤/纺粘复合滤材透气性能测试 Table 2 Air permeability test of fiber/ spunbond composite filter		
Microfiber loading/ (g·m ⁻²)	Peel strength/ (N·cm ⁻²)	Permeability/ (mm·s ⁻¹)
5	3.3	168.5
8	Breakage	165.9
12	Breakage	154.0

Note: Air permeability of the original glass fiber filter material is 185.2 mm/s.

力值不到 1 N, 能够轻易将玻纤和纺粘布剥开。当上胶量为 8 g/m² 和 12 g/m² 时, 在剥离试验过程中, 玻纤滤材层提前破坏, 无法将玻纤滤材与纺粘布无损剥离, 其破损结构如图 6 所示。这是由于热熔胶超细纤维是复合材料粘合牢度的主要来源, 当超细纤维负载量达到 8 g/m² 时, 纺粘布与玻纤滤材间的粘合牢度已经大于玻纤滤材自身

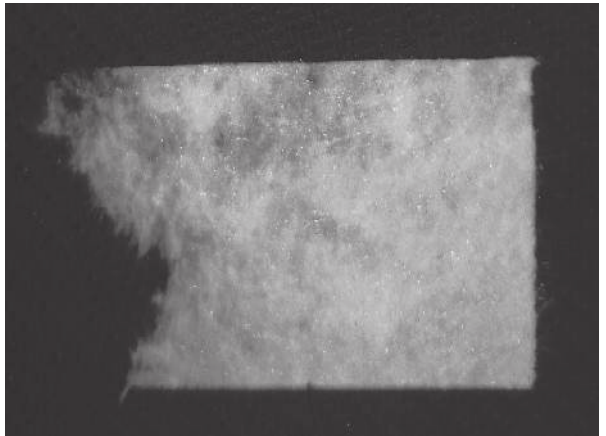


图 6 剥离试验中玻纤/纺粘无纺布复合滤材破损照片
Fig. 6 Photo of damaged glass fiber/spunbond composite filter damage during peeling test

的强度。

透气性方面，从表2可以看出，相对于原始玻纤滤材，玻纤/纺粘无纺布复合滤材的透气性都稍有下降。相对来说，超细纤维负载量为5 g/m²的复合玻纤滤材的透气率下降最小。当超细纤维负载量为12 g/m²时，复合玻纤滤材的透气率下降明显，降低了16.9%。而当超细纤维负载量为8 g/m²时，透气量下降了10.4%。虽然增加超细纤维负载量会提高复合滤材的粘合效果，但同时堵塞玻纤滤材孔洞的概率也会增大。综合考虑剥离强度与透气性，认为超细纤维负载量为8 g/m²时，在满足剥离强度的同时，对透气量的影响较小。

2.3 热轧复合温度对复合效果的影响

固定热熔胶超细纤维负载量为8 g/m²，辊间距为0.3 mm，热轧速度为10 m/min，分别在100℃、120℃和150℃的热轧温度下制备复合滤材。实验过程中发现，当热轧温度为100℃时，玻纤滤材和纺粘布不能有效粘合，结果如图7所示。这是由于该热轧温度远低于热熔胶的熔点，因此无法有效复合。进一步通过测试复合滤材的透气性来研究复合温度对复合效果的影响，结果如表3所示。

从表3可以看出，在保持其他工艺参数不变

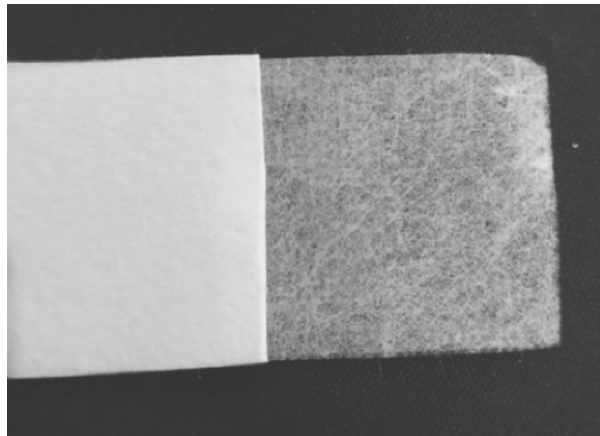


图7 热轧温度100℃下的玻纤/纺粘无纺布复合滤材

Fig. 7 Glass fiber/spunbond composite filter calendered at 100℃

表3 温度对玻纤/纺粘无纺布复合滤材透气率的影响

Table 3 Permeability of fiber/spunbond composite filter calendered at different temperatures

Calendering temperature/℃	120	150
Permeability/(mm·s ⁻¹)	165.9	164.9

Note: Air permeability of the original glass fiber filter material is 185.2 mm/s.

的条件下，热轧温度从120℃升高到150℃，并不会对复合滤材的透气性产生明显影响。虽然对于热轧工艺来说，提高热轧温度可以提高热轧速度，但玻纤滤材本身耐折性较差，过高的热轧复合速度会引起玻纤滤材的破损，而且提高温度会大大增加生产能耗。综合考虑，认为120℃更符合实际生产需求。

2.4 热轧速度对复合滤材性能的影响

固定热轧温度为120℃、辊间距为0.3 mm，超细纤维负载量为8 g/m²，分别在5、10、15、20和25 m/min的热轧速度下制备玻纤/纺粘复合滤材。实验发现，当热轧速度为20和25 m/min时，玻纤滤材和纺粘布之间没有形成有效粘合，而且在此速度下，“质脆”的玻纤滤材极易发生破损；当热轧速度为5、10和15 m/min时，复合滤材均剥离不开，即不能将玻纤滤材和纺粘布无损分离。因此，进一步测试在5、10和15 m/min时复合样品的透气性，对复合速度进行优化，其结果如表4所示。可以看出，在相同上胶量、热轧温度、辊间距的条件下，当热轧速度从5 m/min提高到15 m/min时，玻纤/纺粘复合材料的透气性波动较小，即热轧速度在5~15 m/min区间变化时，不会对复合滤材的透气性产生明显影响。

表4 热轧速度对玻纤/纺粘无纺布复合滤材透气率的影响
Table 4 Permeability of fiber/spunbond composite filter calendered at different speed

Calendering speed/(m·min ⁻¹)	5	10	15
Permeability/(mm·s ⁻¹)	171.0	165.9	168.0

通过SEM观察热轧速度为15 m/min时所得样品的截面形貌，结果如图8所示。从图中可以看出，在热熔胶超细纤维的作用下，玻纤滤材和纺粘布间达到了较好的粘合效果。同时，在热轧辊的压力作用下，热熔胶超细纤维已经熔融失去纤维外观。

3 结论

本文对比分析三种热熔胶的粘合强度、热性能和流动特性后，选择出最适合复合玻纤滤材的热熔胶。然后通过熔喷技术将热熔胶以超细纤维形式均匀负载到纺粘布上，进一步利用热轧复合技术将带胶纺粘布与玻纤滤材复合，形成了一种复合牢度高、透气性基本不变的玻纤滤材与纺粘布的复合方法。研究了热熔胶超细纤维负载量、

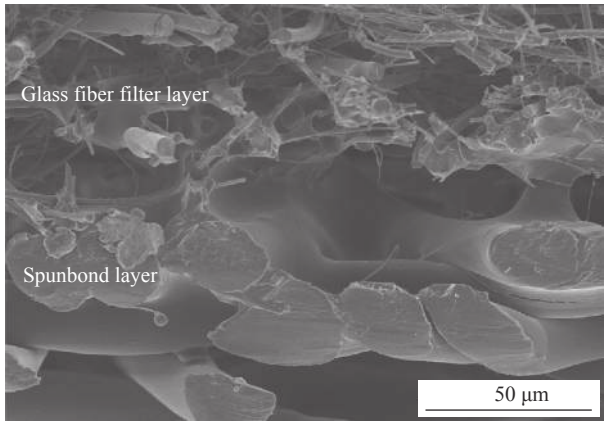


图8 热轧速度为15 m/min时的玻纤/纺粘无纺布复合滤材截面SEM图像

Fig. 8 Cross section SEM images of fiber/spunbond composite filter calendered at the speed of 15 m/min

热轧温度和速度对复合滤材性能的影响, 得到如下结论:

(1)通过熔喷工艺技术, 可以将熔点和初始热降解温度分别为125℃和350℃、熔体流动指数为30 g/10 min的共聚酯类热熔胶成形为纤维平均直径为3.42 μm的超细纤维网, 并均匀负载到纺粘布上;

(2)超细纤维负载量对复合滤材的性能影响最大, 当负载量为8 g/m²时, 复合滤材剥离强度即可达到要求, 对透气性也不会造成明显影响;

(3)热轧速度对复合滤材的粘合效果影响较大, 过高的热轧速度影响玻纤滤材与纺粘布的复合效果, 而热轧温度只要高于热熔胶的熔点, 即可具有较好的粘合效果;

(4)通过对比复合玻纤滤材的剥离强度、复合前后的透气率变化, 建立最佳的复合工艺为: 上胶量8 g/m²、热轧温度120℃、辊间距0.3 mm、热轧速度15 m/min。

参考文献:

[1] 丛新兴. 经济高质量发展战略下我国成品油消费的变化[J]. 中国石油和化工经济分析, 2019(9): 46-48.
CONG Xinxing. Changes of China's refined oil consumption under the strategy of high-quality economic development[J]. Economic Analysis of China Petroleum and Chemical Industry, 2019(9): 46-48(in Chinese).

[2] XIAOHUI C, ZHIYONG W, SHOUQUAN P, et al. Improvement of engine performance and emissions by biomass oil filter in diesel engine[J]. Fuel, 2019, 235(1): 603-609.

[3] LIJIANG W, RUPENG C, HONGJUN M, et al. Combustion

process and NO_x emissions of a marine auxiliary diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel blends[J]. Energy, 2018, 144(1): 73-80.

[4] SANGKI P, JUNGMO O, KIHYUNG L. Investigation on spray behavior and NO_x conversion characteristic of a secondary injector for a lean NO_x trap catalyst[J]. International Journal of Automotive Technology, 2018, 19(2): 199-207.

[5] 孙梦楠, 王佳, 陈怀松, 等. 提高内燃机车燃油滤器过滤性能的试验研究[J]. 内燃机, 2019(5): 24-27.
SUN Mengnan, WANG Jia, CHEN Huaisong, et al. Study on improving the filtration performance of fuel filter for diesel locomotives[J]. Internal Combustion Engines, 2019(5): 24-27(in Chinese).

[6] 邵超凡, 卢继霞, 白亚洲, 等. 一种新型复合油液过滤材料的研制[J]. 液压与气动, 2020(10): 39-43.
SHAO Chaofan, LU Jixia, BAI Yazhou, et al. Preparation and research of a new composite oil filtration material[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2020(10): 39-43(in Chinese).

[7] 周子敬, 狄俊平, 孙梦楠, 等. 无纺布对滤芯过滤精度稳定性的影响[J]. 过滤与分离, 2016, 26(2): 37-39.
ZHOU Zijing, DI Junping, SUN Mengnan, et al. Influence of non-woven fabric on filtering accuracy stability of filter element[J]. Journal of Filtration & Separation, 2016, 26(2): 37-39(in Chinese).

[8] 柯勤飞, 靳向煜. 非织造学[M]. 第3版. 上海: 东华大学出版社, 2016: 295-296.
KE Qinfei, JIN Xiangyu. Nonwovens[M]. 3rd ed. Shanghai: University Press, 2016: 295-296(in Chinese).

[9] 王洪, 靳向煜, 吴海波. 非织造材料及其应用[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2020: 25-28.
WANG Hong, JIN Xiangyu, WU Haibo. Nonwovens and their applications[M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2020: 25-28(in Chinese).

[10] 刘振. 无纺布复合燃油滤材的制备及性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
LIU Zhen. Preparation of non-woven composite fuel filter media and study on filtration performance[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013(in Chinese).

[11] 李燕霞. 有机无机复合过滤材料的设计、制备及性能研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
LI Yanxia. Design, preparation and performance of organic-inorganic composite filter materials[M]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015(in Chinese).

[12] 石玉强, 杨超, 瞿晓吉, 等. 复合滤材组合方式对其过滤特性的影响研究[J]. 玻璃纤维, 2020(5): 21-24.
SI Yuqiang, YANG Chao, ZHAI Xiaoji, et al. Study on the influences of composite filter material combination on its

- filtration characteristics[J]. *Fiber Glass*, 2020(5): 21-24(in Chinese).
- [13] 李惠, 伍茜, 潘志娟. 高精度燃油过滤材料的结构与性能分析[J]. *现代纺织技术*, 2018, 26(6): 6-11.
LI Hui, WU Qian, PAN Zhijuan. Analysis on structure and properties of high-precision fuel filter materials[J]. *Advanced Textile Technology*, 2018, 26(6): 6-11(in Chinese).
- [14] 周向群, 沈伟, 林雪梅, 等. 热熔黏合聚酯的合成技术以及应用[J]. *合成纤维工业*, 2019, 42(1): 59-63.
ZHOU Xiangqun, SHEN Wei, LIN Xuemei, et al. Synthesis technology and application of hot melt bonding polyester[J]. *China Synthetic Fiber Industry*, 2019, 42(1): 59-63(in Chinese).
- [15] 马安博. 热熔胶技术的发展及应用[J]. *化学与黏合*, 2018, 40(3): 211-215.
MA Anbo. Development and application of hot-melt adhesive technology[J]. *Chemistry and Adhesion*, 2018, 40(3): 211-215(in Chinese).
- [16] 李娟, 蔡益波, 刘枫. 热塑性热熔胶的研究进展[J]. *中国胶粘剂*, 2019, 28(12): 56-60.
LI Juan, CAI Yibo, LIU Feng. Research progress of thermoplastic hot melt adhesive[J]. *China Adhesives*, 2019, 28(12): 56-60(in Chinese).
- [17] 李娟, 蔡益波, 王恒. 反应型聚氨酯热熔胶研究进展[J]. *中国胶粘剂*, 2019, 28(10): 50-54.
LI Juan, CAI Yibo, WANG Heng. Research progress of reactive polyurethane hot melt adhesive[J]. *China Adhesives*, 2019, 28(10): 50-54(in Chinese).
- [18] 王鸣义. 热熔黏聚酯合成技术的发展及应用[J]. *纺织导报*, 2019(4): 48-54.
WANG Mingyi. Synthesis technology and application of hot melt adhesive polyester[J]. *China Textile Leader*, 2019(4): 48-54(in Chinese).
- [19] 宣中旺, 孙良友. 热熔胶网膜生产用喷丝板: 中国, 2018-21481436.7[P]. 2019-08-09.
- XUAN Zhongwang, SUN Liangyou. Spinneret for production of hot melt adhesive screen film: China, 20182148-1436.7[P]. 2019-08-09(in Chinese).
- [20] 杨洋. 双撞针式压电驱动热熔胶喷射阀的机理及实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
YANG Yang. Mechanism and experimental study on double-needle type piezo-driven injecting valve of hot melt adhesive[D]. Changchun: Jilin University, 2020(in Chinese).
- [21] 中国国家标准化管理委员会. 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定: GB/T 3682.1—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Plastics-determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics: GB/T 3682.1—2018[S]. Beijing: China Standards Press, 2018(in Chinese).
- [22] 中国国家标准化管理委员会. 胶粘剂T剥离强度试验方法(挠性材料): GB/T 2791—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
Standardization Administration of China. T peel strength test method for a flexible-to-flexible test specimen assembly: GB/T 2791—1995[S]. Beijing: China Standards Press, 1995(in Chinese).
- [23] 中国国家标准化管理委员会. 纸和纸板层间剥离强度的测定: GB/T34444—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Paper and board-determination of the layer peel strength: GB/T34444—2017[S]. Beijing: China Standards Press, 2017(in Chinese).
- [24] 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 织物透气性的测定: GB/T5453—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Textiles-Determination of the permeability of fabrics to air: GB/T5453—1997[S]. Beijing: China Standards Press, 1997(in Chinese).