

玻璃纤维增强聚苯硫醚激光焊接的研究

沈晓洁, 华广洲, 卢军, 晁芬, 赵泳

(南京聚隆科技股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 本研究探讨了两种不同结构的聚苯硫醚 (PPS) 对玻璃纤维增强 PPS 复合材料激光焊接性能的影响。研究表明, 支化 PPS 显著提高了近红外光的透过率, 并改善了焊接接头的剪切强度; 玻璃纤维的添加会降低材料的透光率和焊接接头的剪切强度。

关键词: 聚苯硫醚; 激光焊接; 力学性能; 焊接强度; 透光率

引用论文: 沈晓洁, 华广洲, 卢军, 等. 玻璃纤维增强聚苯硫醚激光焊接的研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(6):05-08.

中图分类号: TQ326.5

文章编号: 1009-797X(2026)06-0005-04

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.06.002

0 前言

聚苯硫醚 (PPS) 材料具有优异的耐高温、耐腐蚀和机械性能, 被广泛应用于电子水泵外壳、叶轮、转子等零部件产品^[1]。电子水泵常用的连接方式有: 机械连接、密封连接、紧固连接三大类, 选择连接方式时需要充分考虑到 PPS 的物理特性, 同时在实际应用中还需要根据具体的设计要求和工作环境来选择最合适的连接方式。对于需要更高密封性能的连接部位, 可以采用激光焊接的方式将 PPS 零部件与其他部件连接在一起, 提高设备的整体性能和可靠性^[2-3]。目前, 有关激光焊接 PPS 方面的研究比较少, 尤其是玻璃纤维增强 PPS 体系, 本研究主要是 30% 玻璃纤维增强 PPS 体系和 40% 玻纤增强 PPS 体系的相关研究, 为激光焊接在电子水泵等零部件上应用提供了一些数据, 推动其发展。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PPS, 1150C, 线性注塑级, 新和成股份有限公司;

PPS, A, 支化挤出级, 市售;

短切玻璃纤维 (GF), T443R, 山东泰山玻璃纤维有限公司;

双(2,4-二枯基苯基)季戊四醇二亚磷酸酯, S9928, 美国 Dover Chemical 公司;

季戊四醇硬脂酸酯, PETS-AP, 意大利发基有限公司;

炭黑色母, KO 3300, 台湾高展国际股份有限公司。

1.2 主要仪器和设备

主要仪器和设备见表 1。

表 1 主要设备表

设备名称	型号	生产厂家
双螺杆挤出机	HK36	南京科亚装备科技有限公司
注塑机	MA360	海天集团
万能试验机	Z020	ZWICK/ROELL
摆锤冲击试验机	HIT25P	ZWICK/ROELL
差示扫描量热仪	DSC3	METTLER TOLEDO
透光率	定制	南京帝耐激光科技有限公司
激光焊接设备	Dn-Laser	南京帝耐激光科技有限公司

1.3 样品制备

实验配方见表 2。

表 2 实验配方表

试样编号	PPS 1150C	PPS A	GF T443R	S9228	PETS	KO 3300
1	69		30	0.2	0.8	
2	46	23	30	0.2	0.8	
3	23	46	30	0.2	0.8	
4		69	30	0.2	0.8	
5		59	40	0.2	0.8	
6	68.5		30	0.2	0.8	0.5
7		58.5	40	0.2	0.8	0.5

备注: 试样 1~5 为透光板, 试样 6 和试样 7 为吸光板; 透光板试样 1~4 与试样 6 焊接在一起, 试样 5 与试样 7 焊接在一起。

将 PPS、抗氧剂 S9228 和润滑剂 PETS 按照表 2 配方比例混合均匀后, 从双螺杆挤出机的主喂料口加入, 短切玻璃纤维从侧喂料口加入, 经双螺杆挤出机熔融共混挤出、冷却、牵引、造粒, 获得玻纤增强改

作者简介: 沈晓洁 (1990-), 女, 硕士研究生, 技术工程师, 主要从事功能材料的研究开发工作。

性的 PPS 材料, 将粒料放置在 150 °C 烘箱中干燥 3 h, 然后注塑成标准样条; 其中挤出机温度为 290~310 °C、螺杆转速为 400 r/min、注射温度为 300~340 °C、喷嘴温度为 340 °C、模具温度为 140 °C、注射压力为 80 MPa、保压压力为 70 MPa、保压时间为 12 s、冷却时间为 18 s。

1.4 性能测试与方法

1.4.1 拉伸强度

按 ISO 527 测试, 拉伸样条尺寸为 150 mm×10 mm×4 mm, 拉伸速度为 50 mm/min。

1.4.2 弯曲强度

按 ISO 178 测试, 弯曲样条尺寸为 120 mm×10 mm×4 mm, 测试速度为 2 mm/min。

1.4.3 悬臂梁缺口冲击强度

按 ISO 180 测试, 样条尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm, 缺口深度为 2 mm, 缺口形状为 V 形。

1.4.4 简支梁无缺口冲击强度

按 ISO 179 测试, 样条尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm。

1.4.5 透光率

样板尺寸为 60 mm×60 mm×1.5 mm 方板, 测试

波长 980 nm。

1.4.6 焊接工艺

焊接样条尺寸为 125 mm×13 mm×1.5 mm, 焊接工艺为焊接速度 300 mm/min, 焊接功率为 100 W, 焊接次数 3 次, 焊接面积 10×2 mm²。

1.4.7 焊接强度

透光板试样 1~4 与试样 6 焊接在一起, 试样 5 与试样 7 焊接在一起; 焊接样品采用 5 mm/min 恒速加载获得最大拉伸力, 最大拉伸力与焊接面面积的比值即为焊接强度。

1.4.8 熔融温度、结晶温度以及结晶度

按 ISO 11357-1 测试, 样品数量 5 mg, 测试温度范围: 50~330 °C, 升温速度和降温速率为 10 °C/min。

2 结果与讨论

2.1 不同 PPS 的热性能分析

图 1 是两种结构 PPS 的 DSC 曲线图, 吸热方向为第二次升温过程的熔融峰, 放热方向为降温过程的结晶峰。支化结构的 PPS A 的结晶峰位置与熔融峰位置明显低于线性结构的 PPS 1150C。

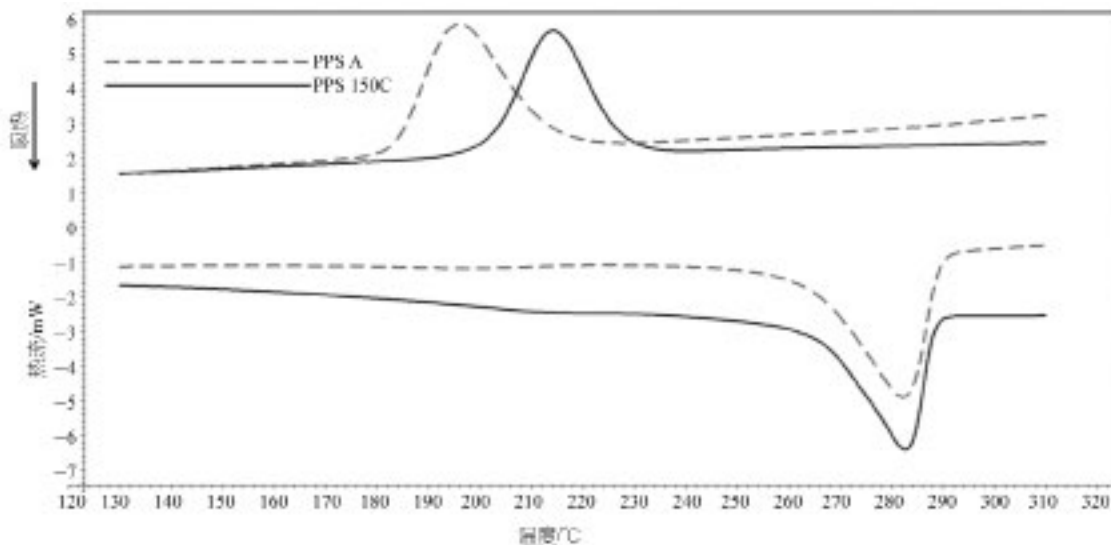


图 1 不同结构 PPS 材料的 DSC 曲线图 (升温 and 降温速度均为 10 °C/min)

表 3 是 PPS 1150C 和 PPS A 的 DSC 测试结果。结果表明: 线性 PPS 1150C 的结晶度为 56.2%, 而支化 PPS C 的结晶度为 46.9%; 线性 PPS 1150C 的结晶温度为 214 °C, 而支化 PPS C 的结晶温度为 196 °C。这是因为线性 PPS 的分子链结构相对规整, 分子链间易

形成有序的晶体结构, 而支化 PPS 由于分子链上存在支链, 使得分子链在形成晶格时受到阻碍, 从而降低了材料的结晶度^[4]。线性 PPS 在降温过程中, 有序分子链结构更易于排列晶格中, 从而导致在相对高的温度下产生一定的结晶, 相反, 结构复杂的支化结构

不利于晶格排列，需更低温度才能保证结晶。因此，支化 PPS A 的结晶温度低于线性 PPS1150C，其结晶度也低于支化 PPS A。

表 3 不同结构 PPS 材料的热性能

材料	熔融温度 /°C	结晶温度 /°C	结晶度 /%
PPS 1150C	282	214	56.2
PPS A	281	196	46.9

2.2 不同 PPS 对力学性能的影响

表 4 是不同玻纤增强 PPS 体系的力学性能，结果表明：试样 1~4 是 30% 玻纤增强 PPS 体系，试样 1 的拉伸强度和弯曲强度均高于试样 4；试样 1 的悬臂

表 4 不同玻纤增强 PPS 材料的力学性能

试样编号	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /MPa	悬臂梁缺口冲击强度 /($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	简支梁冲击强度 /($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)
1	170	230	9 750	7.7	30
2	165	224	9 510	8	35
3	159	223	9 280	8.3	35
4	149	214	9 050	9.2	38
5	176	250	12 000	11	47

2.3 不同 PPS 对近红外光透光率的影响

PPS 是一种半结晶性材料，其结晶度和填料会直接影响透光率。表 5 是不同玻纤增强 PPS 材料的透光率，对比试样 4 和试样 5，当玻纤含量从 30 份增加到 40 份时，材料的透光率从 10.4% 降低到 7.7%，说明添加玻璃纤维填料会显著降低 PPS 的透光率。这是玻璃纤维的折光指数在 1.4 左右，PPS 树脂的折光指数在 1.77 左右，两者折光指数相差较大，当激光束达到 PPS 与玻璃纤维两者界面时，激光束会发生折射和漫反射从而导致激光束的穿透率降低。

表 5 不同玻纤增强 PPS 材料的透光率

试样编号	1	2	3	4	5
透光率 /%	4.6	6.4	8.2	10.4	7.7

试样 1~4 的结果表明：针对 30% 玻纤增强 PPS 体系，试样 1 的透光率低，仅有 4.6%；而试样 4 选择支化的 PPS 为基材，其透光率是试样 1 的 2 倍多，达到 10.4%；当支化结构的 PPS 与线性结构 PPS 不同比例共混时，其透明率均有一定的提高。这对因为线性结构 PPS 1150C 的结晶度高，透光率较低，因为结晶区域会散射光线，减少光线的透过；相反，低结晶度的支化 PPS A 结晶度低，具有更高的透光率^[5]。

2.4 不同 PPS 对激光焊接的影响

在本次研究中，当激光焊接速度固定在 300 mm/s，焊接功率 100 W 时，焊接次数为 2 次时，焊接不牢或

梁缺口冲击强度和简支梁冲击强度均低于试样 4；试样 2 和试样 3 是 PPS 1150C 和 PPS A 两者的混合物，并且 PPS A 按照一定比例增加，随着 PPS A 的份数增加，材料的拉伸强度和弯曲强度逐渐下降，反之，材料的冲击强度随着 PPS A 份数增加而提高。40% 玻纤增强 PPS A 体系的拉伸强度、弯曲强度以及冲击强度均高于 30% 玻纤增强 PPS A 体系。

线性结构的 PPS 1150C 分子链规整度高于支化结构的 PPS A，其玻纤增强改性材料的强度和刚性相对高于支化体系。支化结构 PPS 有利于提供材料的韧性。

者未焊接在一起，当焊接次数为 4 次时，焊接透光层表面易焊伤，表观质量差，所以本次研究中激光焊接工艺优选焊接速度 300 mm/s，焊接功率 100 W，焊接次数 3 次。

表 6 不同玻纤增强 PPS 材料的焊接性能

试样编号	1	2	3	4	5
本体断裂比例	0/5	1/5	3/5	4/5	0/5
焊接强度 /MPa	25.7	29	32.6	34	29.8

激光焊接材料的破坏方式有以下 3 种方式：本体断裂、焊接面剪切剥离、焊接缝断裂。玻纤增强 PPS 的断裂方式以本体断裂和焊接面剪切剥离两种方式体现。表 6 是不同玻纤增强 PPS 材料的焊接性能结果，结果表明：30% 玻纤增强 PPS 1150C 全部以焊接面剪切剥离方式断裂破坏，并且其焊接强度在 25.7 MPa；添加少量支化 PPS A 会使材料发生本体断裂破坏，并且随着支化 PPS A 比例的增加，本体断裂破坏方式占比越来越高，当树脂基材全部是支化 PPS A 时，本体断裂比例占 4/5，其焊接强度也增加到 34 MPa，是 PPS 1150C 焊接强度的 1.3 倍以上。

玻纤增强 PPS 1150C 体系的透光率低，焊接强度低，在拉伸过程中，焊接面首先发生剪切剥离形成破坏。相比线性 PPS 1150C，玻纤增强支化结构的 PPS A 体系的透光率高，将有更多激光束能量穿过透光板达到吸光板界面，使吸光板吸收产生更多热量，进而

传递到透光板，增加两板之间的粘合力，进而提高材料的焊接强度，当焊接最大拉伸力高于材料本身承受的力时，材料会产生本体断裂，造成产品失效。

相比 30% 玻纤增强 PPS A，40% 玻纤增强 PPS A 的透光率降低，其焊接强度也有一定程度降低，焊接强度为 29.8 MPa，介于试样 2 和试样 3，与透光率结果相对应。但 40% 玻纤增强 PPS A 的拉伸强度高达 176 MPa，焊接后拉伸最大力不足以造成本体破坏，故本体破裂断裂占比为 0/5。

3 结论

(1) 线性 PPS 1150C 的结晶度、熔融温度和结晶温度均高于支化 PPS A。

(2) 玻纤增强 PPS 体系，线性 PPS 1150 C 的拉伸强度和弯曲强度高于 PPS A，但其冲击强度稍低于

PPS A。

(3) 玻纤增强 PPS 体系，支化 PPS 显著提高了近红外光的透过率，并改善了焊接接头的剪切强度。

(4) 玻璃纤维降低 PPS 材料的透光率，以支化 PPS A 为基材，40% 玻纤增强 PPS 的透光率在 7.7%，30% 玻纤增强 PPS 的透光率在 10.4%。

参考文献：

- [1] 李沃源. 高性能聚苯硫醚树脂在工程塑料项目中的应用 [J]. 技术应用于研究, 2022(18):135-137.
- [2] 张明. 塑料激光焊接工艺发展和应用前景 [J]. 通讯世界, 2019,26(5):237-238.
- [3] 周克良, 覃晴, 卢豆豆. 塑料激光焊接技术的研究动态和发展趋势 [J]. 工程塑料应用, 2022,50(6):177-182.
- [4] 符若文, 李谷, 冯开才. 高分子物理 [M]. 北京: 化工出版社, 2005:31-79.
- [5] Dave F, et al. Polymers, 2021, 13(5):675.

Research on laser welding of glass fiber reinforced polyphenylene sulfide

Shen Xiaojie, Hua Guangzhou, Lu Jun, Chao Fen, Zhao Yong

(Nanjing Julong Technology Co. LTD., Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract: This study investigated the effects of two different structures of polyphenylene sulfide (PPS) on the laser welding performance of glass fiber reinforced PPS composites. The results showed that branched PPS significantly improved the transmittance of near-infrared light and enhanced the shear strength of the welded joint; the addition of glass fibers decreased the transmittance of the material and the shear strength of the welded joint.

Key words: polyphenylene sulfide; laser welding; mechanical properties; welding strength; transmittance

(R-03)

