

# UHMWPE/PCH 复合材料性能研究

朱丹 王耀先 张兴鲁 程树军

(华东理工大学材料科学与工程学院超细材料制备与应用教育部重点实验室,上海 200237)

**文 摘** 采用超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维作增强材料,结构与 UHMWPE 纤维相似、且对纤维表面具有良好润湿性的全碳氢树脂(PCH)作基体,通过热压成型工艺制备 UHMWPE/PCH 复合材料,并通过扫描电镜、介电谱仪等方法对复合材料的力学性能、介电性能、吸水、湿热性能及界面粘接性能进行表征。结果表明,UHMWPE/PCH 复合材料力学性能良好、介电性能优异、吸水率小、吸湿率低、粘接性能好。

**关键词** 复合材料,透微波材料,介电性能

## Properties of UHMWPE/PCH Composite Material

Zhu Dan Wang Yaoxian Zhang Xinglu Cheng Shujun

(Key Laboratory for Ultrafine Materials of Ministry of Education, School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

**Abstract** In this paper, we chose ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) fiber as reinforcement and pure hydrocarbon (PCH) resin with the structure similar to the nonpolar UHMWPE fiber and a good wettability to the fiber surface as matrix. The UHMWPE/PCH composite material was manufactured by hot press molding. The mechanical properties, dielectric properties, water absorption, hygroscopicity and interfacial adhesion were characterized by SEM, dielectric spectrometer and so on. The results show that UHMWPE/PCH composite possesses better mechanical properties, excellent dielectric properties, low water absorption, low hygroscopicity and good adhesion.

**Key words** Composite materials, Electromagnetic microwave-transmitting materials, Dielectric properties

### 0 引言

超高分子量聚乙烯纤维(UHMWPE)密度低( $0.97 \text{ g/cm}^3$ ),由于纤维经高倍拉伸作用,其结晶度和轴向取向度都很高,从而使纤维的初始模量高达100 GPa,轴向拉伸强度高达3~7 GPa,而且纤维具有良好的耐化学性能、耐磨性、耐冲击性能,不吸水,与生物的相容性好等优点,由其作增强体的复合材料的抗冲击性能和耐磨性能是现有纤维增强复合材料所无法比拟的<sup>[1~2]</sup>。然而由于UHMWPE纤维分子链是全碳氢结构,纤维表面呈惰性,不易被树脂润湿,其复合材料的界面粘接强度低,影响了复合材料的力学性能,限制了它的应用。目前解决UHMWPE纤维增强复合材料的界面粘接性的途径均是从纤维入手,对纤维进行表面处理。虽然表面处理方法很多,但有效的在线配套处理方法很少<sup>[3]</sup>。纤维表面经处理后,

层间剪切强度虽然有所提高,但拉伸强度却明显下降。本文采用一种结构与UHMWPE纤维相似、且与纤维表面具有良好浸润性的全碳氢树脂(PCH)作基体,制备UHMWPE/PCH复合材料。

### 1 实验

#### 1.1 原材料

UHMWPE斜纹布为荷兰DSM公司生产;PCH树脂为自制。

#### 1.2 树脂胶液的制备

在PCH树脂中加入一定比例的固化剂,搅拌均匀制得树脂胶液。

#### 1.3 复合材料层压板的制备

将UHMWPE纤维织物裁剪成一定尺寸,放入80℃烘箱中预烘1h,取出后将纤维织物浸渍树脂胶液,然后将浸胶的纤维织物放入烘箱中加热一段时间

收稿日期:2008-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目(50773019)

作者简介:朱丹,1984年出生,硕士研究生,主要从事合成树脂及复合材料的研究。E-mail:wxyxiao@126.com

即可得到半固化片。根据厚度要求,将一定数量的半固化片整齐的叠放在一起,置于不锈钢板之间,再放在液压机中,按照一定的工艺条件热压成型,即可制得 UHMWPE 纤维织物增强复合材料层压板。

## 1.4 复合材料性能测试

### 1.4.1 力学性能测试

拉伸性能测试方法参照 GB1447—83,弯曲性能测试参照 GB1449—83,短梁剪切强度测试参照 GB1450.1—83。

### 1.4.2 介电性能测试

将复合材料层压板制备成直径为 20 mm、厚度为 2 mm 的圆形试样,采用德国 NOVOCONTROL Concept 40 宽频介电谱仪测定试样的介电常数( $\epsilon$ )和介电损耗( $\tan\delta$ )。

### 1.4.3 吸水性能测试

测试标准参照 GB2574—81。首先将尺寸为 50 mm×50 mm 的复合材料试样于 70℃ 干燥 4 h 后放入干燥器内冷却至室温,然后放入温度 25℃ 的去离子水中浸 24 h 后,取出试样并用滤纸吸干表面,测定试样浸入水中前后质量变化绝对值或对质量变化率进行评定。

### 1.4.4 湿热性能测试

测试标准参照 GB2574—81。将试样放入烘箱中干燥至恒重,然后浸入温度为(60±2)℃ 去离子水中,相对湿度为(95±3)%,浸水时间一周(168 h),每间隔 24 h 取出试样,用滤纸迅速擦去表面残留水分并称重。

### 1.4.5 界面粘接性能

采用美国 EDAX 公司的扫描电子显微镜,观察复合材料拉伸断面状况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 力学性能

不同树脂质量分数 UHMWPE/PCH 复合材料的力学性能见表 1。

表 1 不同树脂质量分数 UHMWPE/PCH 的力学性能  
Tab.1 Mechanical properties of UHMWPE/PCH composites with different resin mass content

树脂质量 分数/%	纵向拉伸性能		弯曲强度 /MPa
	强度/MPa	模量/GPa	
51	426	8.3	125
53	441	8.6	157
55	512	12.6	148
57	475	11.7	140
59	459	10.4	137
62	447	9.3	135

由表 1 可知,树脂质量分数对 UHMWPE/PCH 复合材料力学性能影响较为明显。随着树脂质量分数的增加,复合材料的拉伸强度及模量增加,当树脂质

量分数为 55% 时,拉伸强度及模量达到最大值,强度为 512 MPa,模量为 12.6 GPa,之后随着树脂含量的增加,复合材料的拉伸强度及模量略有下降。复合材料的弯曲强度也呈先上升后下降的趋势,当树脂质量分数为 53% 时,弯曲强度可达 157 MPa。

### 2.2 介电性能

#### 2.2.1 温度对介电性能的影响

温度对 UHMWPE/PCH  $\epsilon$  和  $\tan\delta$  的影响见图 1。由图 1 可以明显看出,当温度从 25℃ 变化至 120℃ 时,复合材料的  $\epsilon$  和  $\tan\delta$  均随着温度增加而略有增加。

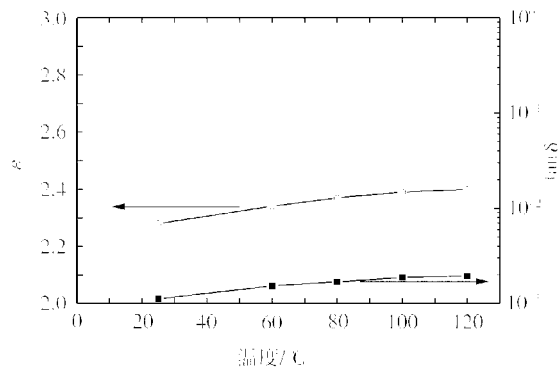


图 1 温度对 UHMWPE/PCH 介电性能的影响

Fig.1 Temperature vs dielectric properties of UHMWPE/PCH composite

#### 2.2.2 频率对介电性能的影响

UHMWPE/PCH 复合材料层压板的介电性能与频率的关系见图 2。由图 2 可见,复合材料层压板的  $\epsilon$  随着频率的变化比较稳定,而  $\tan\delta$  随着频率的增加而减少。

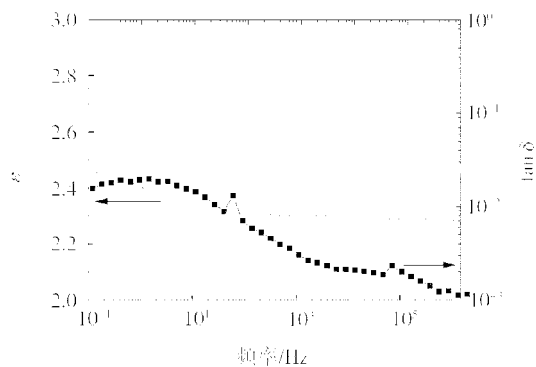


图 2 频率对 UHMWPE/PCH 介电性能的影响

Fig.2 Frequency vs dielectric properties of UHMWPE/PCH composite

### 2.3 吸水性能

复合材料由于其结构上的特殊性,在使用过程中非常容易吸水。吸水率的高低既影响其尺寸的稳定性,更容易影响其他的相关性能。UHMWPE/PCH 复合材料吸水性能如表 2 所示,当树脂质量分数为 53% 时,复合材

料吸水率为 0.28%。

表 2 不同树脂质量分数 UHMWPE/PCH 的吸水性能

Tab.2 Water absorption of UHMWPE/PCH composite with different resin mass content

树脂质量分数/%	吸水率/%
51	0.49
53	0.28
55	0.33
57	0.34
59	0.36
62	0.44

## 2.4 湿热性能

湿热环境不仅可以较大程度地影响复合材料的力学性能和耐热性,而且由于水分的扩散,进一步影响复合材料的界面。实际上是复合材料经受吸湿、温度和应力联合作用而产生的退化过程,其退化机制作用与纤维、基体及两者界面发生物理-化学变化有关。UHMWPE/PCH 复合材料的吸湿曲线见图 3。

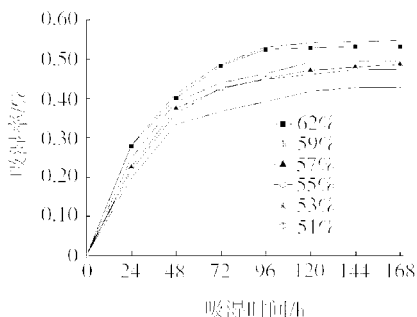


图 3 不同树脂质量分数 UHMWPE/PCH 的吸湿曲线

Fig.3 Imbibition curves of UHMWPE/PCH composite with different resin mass content

由图 3 可知,不同树脂含量的复合材料的吸湿率都是随着水煮时间的延长而增大,吸湿初期吸湿率迅速增加,吸湿一段时间后吸湿率变化趋于平缓。由于 UHMWPE 纤维和 PCH 树脂都是非极性材料,其复合材料的吸湿率很低,树脂质量分数从 51% 变化至 62%,吸湿时间为 168 h 时,复合材料的最大吸湿率也不超过 0.6%;并且在相同的湿热时间下,随着树脂质量分数的降低,复合材料的吸湿率降低,当树脂质量分数为 53% 时,UHMWPE/PCH 复合材料的吸湿率仅为 0.43%,但是当树脂含量过低时,UHMWPE 纤维与 PCH 树脂基体的粘接性较差,孔隙率较高,导致吸湿率偏高。

## 2.5 界面粘接性能

UHMWPE/PCH 复合材料拉伸断口形态的扫描电镜照片见图 4。由图 4 可见,UHMWPE 纤维表面粗

糙,暴露出来的 UHMWPE 纤维表面仍牢固地黏附着较多的基体,这说明纤维与基体之间具有很好的界面粘接性能。用短梁法测得 UHMWPE/PCH 复合材料(树脂质量分数为 55%)的层间剪切强度为 15.2 MPa,表明 PCH 树脂与 UHMWPE 纤维的界面粘接强度较高。

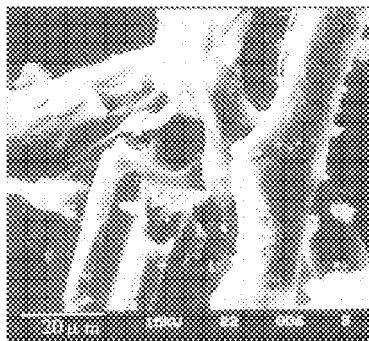


图 4 UHMWPE/PCH 拉伸断口形态的 SEM 照片

Fig.4 SEM photograph of tensile fracture morphology of UHMWPE/PCH composite

## 3 结论

(1)UHMWPE/PCH 复合材料层合板的力学性能优良,当树脂质量分数为 55% 时,复合材料的拉伸强度为 512 MPa,拉伸模量为 12.6 GPa;当树脂质量分数为 53% 时,复合材料的弯曲强度可达 157 MPa。

(2)UHMWPE/PCH 复合材料层合板的介电性能优异,频率在 1 MHz 时材料的  $\epsilon$  为 2.29,  $\tan\delta$  为  $1.12 \times 10^{-3}$ ,复合材料介电性能在较宽的温度和频率范围内有较高的稳定性。

(3)UHMWPE/PCH 复合材料层合板吸水率小,吸湿率低。当树脂质量分数为 53%,吸水率为 0.28%;当吸湿时间为 168 h 时,UHMWPE/PCH 复合材料的吸湿率仅为 0.43%。

(4)UHMWPE/PCH 复合材料拉伸断口形态的 SEM 照片中,暴露出来的 UHMWPE 纤维表面仍牢固地粘附着较多的基体,而且复合材料的短梁剪切强度可达 15.2 MPa,表明 PCH 树脂与 UHMWPE 纤维之间的界面粘接性较好。

## 参考文献

- 1 吕生华,梁国华,何洋等. 超高相对分子质量聚乙烯纤维研究进展. 化工新材料,2002;(8):13~16
- 2 张建艺,王俊. 超高分子量聚乙烯纤维及其复合材料的研究进展. 宇航材料工艺,1997;27(4):24~26
- 3 Andreopoulos A G, Tarantili P A. A review on various treatments of U-HMPE fiber. Journal of Elastics, 1998;30(2): 118~132

(编辑 李洪泉)