

超高分子量聚乙烯纤维复合材料的研究进展

黄玉松 陈跃如 邵 军 李明利 王运华

(中国兵器工业集团第五三研究所,济南 250031)

摘要 概述超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维增强复合材料的研究进展,详细介绍了UHMWPE纤维的各种优良特性和UHMWPE纤维增强复合材料用基体树脂,以及UHMWPE纤维增强复合材料的制备方法与工艺,对UHMWPE增强复合材料的应用及其应用领域进行了汇总。

关键词 超高分子量聚乙烯纤维 增强 基体树脂 复合材料 应用

超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维也称超高模聚乙烯纤维或伸长链聚乙烯纤维,它是继碳纤维、Kevlar(芳纶)纤维之后的第三代高性能纤维。UHMWPE纤维增强复合材料与其它纤维增强复合材料相比,具有质量轻、耐冲击、介电性能高等优点,在现代化战争和航空航天、海域防御、武器装备等领域发挥着举足轻重的作用。同时,该纤维在汽车、船舶、医疗器械、体育运动器材等领域亦有广阔的应用前景。因此,UHMWPE纤维自问世起就倍受重视,发展很快。

1 UHMWPE纤维的性能

UHMWPE纤维是20世纪80年代初由荷兰DSM公司以其独创的凝胶纺丝——超拉伸技术研制的高性能有机纤维。到80年代中期,美国Allied Signal公司将凝胶纺丝的溶剂由十氢萘改进为矿物油体系。这种纤维兼有高强度高模量两大特性,因此又被称为高强高模纤维。该纤维的表面呈化学惰性,对酸、碱、一般化学药品和有机溶剂有很强的抗腐蚀性;由于其分子链上不含不饱和基团,其耐光、耐热老化性能优良;其吸能性和耐磨损性优于Kevlar纤维,断裂伸长率大于高强度型碳纤维;其应力波传播速度为Kevlar纤维的2倍,弹道防护性能超过以Kevlar为代表的芳族聚酰胺纤维,成为防弹领域里一种极具吸引力的高技术纤维;其密度比水还小(约0.97 g/cm³),可浮于水面,且持续浸于水中仍能较好地保持其性能。UHMWPE纤维还具有卫生无毒的优点,在实际使用中不需要任何保护措施^[1]。

(1) 优良的物理力学性能

UHMWPE纤维经凝胶热拉伸后,分子链完全伸展,纤维内部高度取向和高度结晶,使其强度、模量大为提高,是目前高性能纤维中比模量、比强度最高的纤维,它的比强度比钢高14倍,比高强度型碳纤维高2倍,比对位芳酰胺纤维高40%。表1列出荷兰DSM公司的Dyneema SK66 UHMWPE纤维与其它几种高性能纤维单丝的性能比较。从表1可以看出,UHMWPE纤维具有质量轻、高比模量、高比强度的特点。

(2) 优越的耐化学介质性和环境稳定性

UHMWPE纤维是一种非极性材料,分子链中不含极性基团,其表面会在拉伸应力下产生一层弱界面层(10~100 nm),因而纤维表面呈化学惰性,对酸、碱、一般化学药品和

表1 UHMWPE纤维与其它几种高性能纤维单丝的性能比较^[2]

项 目	Dyneema SK66	Kevlar		碳纤维		玻璃纤维 S-2	PA66 HT
		29	49	HM	LM		
密度/g·cm ⁻³	0.97	1.44	1.45	1.85	1.78	2.55	1.14
拉伸强度/GPa	3.10	2.67	2.76	2.30	3.40	2.00	0.90
拉伸弹性模量/GPa	100	88	124	390	240	73	6
断裂伸长率/%	3.7	3.6	2.5	1.5	1.4	2.0	20.0
比强度/10 ⁵ ·m ² ·s ⁻²	3.30	1.85	1.90	1.24	1.91	0.78	0.80
比模量/10 ⁵ ·m ² ·s ⁻²	103	61	86	210	135	1	5

有机溶剂有很强的抗腐蚀能力;由于分子链上不含不饱和基团,UHMWPE纤维的耐光、热老化性能优良,环境稳定性异常优越。

表2列出商品名为Spectra的UHMWPE纤维与Kevlar纤维在不同化学介质中的强度保留率比较。从表2可看出,在同样环境下,UHMWPE纤维只有在次氯酸钠溶液中浸泡6个月后其强度有所损失(降为91%),而Kevlar纤维在汽油、1 mol/L HCl溶液等多种介质中的强度保留率降低,在次氯酸钠溶液中其强度保留率为0,可见UHMWPE纤维的环境稳定性非常优异,拓宽了其应用领域。

表2 UHMWPE纤维与Kevlar纤维在不同化学介质中

浸泡6个月后的强度保留率^[3] %

介质	Spectra	Kevlar 纤维	介质	Spectra	Kevlar 纤维
10%洗涤剂	100	100	冰乙酸	100	82
水压流体	100	100	5 mol/L NaOH溶液	100	42
海水	100	100	氢氧化铵溶液	100	70
蒸馏水	100	100	聚四氟乙烯溶液	100	75
煤油	100	100	次磷酸盐溶液	100	79
汽油	100	93	次氯酸钠溶液	91	0
1mol/L HCl溶液	100	40	甲苯	100	72

(3) 优异的耐冲击性和防弹性能

防弹材料的防弹性能是以该材料对弹丸或碎片能量的吸收程度来衡量的。而防弹材料的能量吸收性是受材料的结构和特性影响的。纤维的密度、韧性、比模量及断裂伸长率都影响纤维的防弹效果。纤维的防弹性能可以由(1)式表征:

$$R^2 = W \cdot C \tag{1}$$

式中: R ——防弹性能指标;
 W ——断裂能量吸收率;
 C ——纤维中的声速。 C 由纤维的韧性和模量决定, 模量越高, 韧性越好, C 越大^[3]。

由于 UHMWPE 纤维的高模量、高韧性, 使其具有相应的高断裂能和高传播声速, 防弹性能好。表 3 列出 UHMWPE 纤维性能对防弹性能的影响。从表 3 可看出, UHMWPE 纤维的强度、模量不同, 其防弹性能存在着显著的差异。随着纤维强度和模量的增加, V_{50} 值和 SEA 值均增大, 说明纤维防弹性能提高。这从式 (1) 可得到解释。

表 3 UHMWPE 纤维性能对材料防弹性能的影响^[3]

UHMWPE 纤维		弹道性能	
强度 / $N \cdot d^{-1}$	模量 / $N \cdot d^{-1}$	V_{50} 值 ¹⁾ / $m \cdot s^{-1}$	SEA 值 ²⁾ / $J \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$
0.025	9.32	623	34.9
0.289	12.33	656	38.2
0.352	15.20	725	48.5

注: 1) V_{50} 值指有 50% 的弹丸击穿试样时的弹丸速度;
2) SEA 值为比能性, 即单位面密度吸收的能量。

(4) 其它性能
UHMWPE 纤维还具有良好的疏水性、抗紫外线性、自润滑性和耐磨性, 且抗霉、耐疲劳性好, 柔软, 有较长的挠曲寿命, 低温性能突出, 在 $-150^{\circ}C$ 时也无脆化点, 所以该纤维的使用温度范围宽 ($-150 \sim 100^{\circ}C$), 在较高温度下短时间不会引起性能降低; 由于其主链的氢原子含量高, 因而防中子、防 γ 射线性能优良。

2 UHMWPE 纤维增强复合材料的基体树脂

基体树脂在纤维复合材料中的作用主要是提供适当的界面结合强度, 避免纤维在拉伸、冲击等外力作用下产生滑移, 充分发挥纤维的增强特性。UHMWPE 纤维复合材料用基体树脂需具备的条件是: (1) 能改善界面的相容性、粘接性, 对纤维具有良好的浸润性; (2) 固化温度不能高于 $120^{\circ}C$ 。这是由于 UHMWPE 纤维在熔点 ($150^{\circ}C$) 以上处于高弹态, 熔体延展性差, 受力易断裂, 受热后收缩较大, 对纤维性能影响很大; (3) 基体树脂所用的溶剂必须是易挥发的低毒溶剂; (4) 满足 UHMWPE 纤维复合材料作为结构材料、防弹材料等方面的性能要求^[4]。

满足以上条件的基体树脂主要有聚氨酯 (PUR)、橡胶、不饱和聚酯 (UP)、聚乙烯 (PE)、环氧树脂 (EP) 等。

近年来, 有关对 UHMWPE 纤维增强复合材料用基体树脂的研究越来越多。主要集中于对常规的树脂进行改性, 或研发新型的基体树脂。基体树脂的性质和含量, 特别是与纤维形成的界面层性质直接影响到复合材料的最终力学性能。

近年来的研究表明, 低模量基体树脂制备的复合材料比高模量基体树脂制备的复合材料耐冲击效果好。这是由于低模量基体树脂的阻尼性能优于高模量的基体树脂, 有利于能量吸收所致。

2.1 PUR

PUR 是最早被用作 UHMWPE 纤维复合材料用基体树脂的。由于 PUR 中含有柔性的分子链, 故具有极好的弯曲、

冲击等力学性能, 吸能能力强, 有较强的剥离强度和化学稳定性, 以及优异的耐低温性能, 被认为是理想的防弹材料用基体。

研究发现, 热塑性聚氨酯 (PUR-T) 中, 无定形的 PUR 比结晶态 PUR 可以产生更小的凸伤。虽然 PUR-T 具有相当优异的防弹性能, 但由于其与 UHMWPE 纤维的粘接性能不佳, 且属于弹性体, 耐高温蠕变性差, 很难适应目前 UHMWPE 纤维复合材料用作结构材料时对综合性能的较高要求。

2.2 橡胶

由于橡胶粘合剂具有粘着时成膜性能良好、胶膜富有韧性和抗振性、对纤维具有良好的浸润性等特性, 因而被广泛用作防弹类 UHMWPE 纤维复合材料用基体树脂。根据高分子材料的溶解性原则, 对于非极性 UHMWPE 纤维应选用非极性的橡胶来提高其界面粘接效果。目前主要采用的橡胶及其共聚物主要有异戊橡胶、丁苯橡胶、(苯乙烯/异戊二烯/苯乙烯) 共聚物 (D1107) 及 (苯乙烯/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (G1650) 等。

橡胶基体的防弹性能从整体上要优于 PUR 类, 而且橡胶基体模量越小, 防弹性能越好。这表明要寻找优良的防弹材料应从模量较小的无定形热塑性弹性体来考虑。

橡胶基体材料的尺寸稳定性差, 蠕变性明显, 力学强度和耐热性较之热固性树脂有很大的差距, 对耐高温蠕变性及强度高的 UHMWPE 纤维不能起到增强作用, 而且存在着老化、耐油性、耐有机溶剂和耐氧化性能不佳等缺点, 制约了其向结构材料方向发展。

2.3 UP(热固性乙烯基酯树脂)

乙烯基酯树脂酯基密度低、耐蚀性好, 兼具 EP 的粘接性能和 UP 的加工工艺, 且由于乙烯基酯中含有羟基, 而羟基对 UHMWPE 纤维有很好的浸润性, 所以乙烯基酯树脂与 UHMWPE 纤维具有很好的粘接性, 采用紫外线、电子束等光固化可以避免因基体树脂固化温度过高而引起的 UHMWPE 纤维性能降低^[4~6]。

2.4 PE 树脂^[7~10]

UHMWPE 纤维的界面粘接性极差, 选择同一类型的 PE 树脂作为基体树脂, 因材料的化学结构相似, 通过在纤维表面融化的聚合体外延结晶实现粘接。由粘接理论可知, 它应具有相对较好的粘接性, 因为处于接触的这两种材料的化学相似性, 成型时纤维表面会发生局部熔融, 在基体高分子和纤维表面高分子之间会发生共结晶过程。通过偏光显微镜观察穿晶界面, 可以看到这种外延结晶或共结晶。这种现象的发生证实了这两种成分之间物理化学相互作用的存在。通常认为穿晶界面的存在是改善 UHMWPE 纤维与 PE 树脂之间粘接的一个因素, 可使复合材料的热行为有所改善。

PE 树脂是热塑性树脂, 大致可分为高密度聚乙烯 (HDPE)、低密度聚乙烯 (LDPE) 和线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 三类。其中, HDPE 树脂结晶度高, 耐冲击性差; LDPE 树脂结晶度低 (约 48%), 断裂伸长率高 (约 760%), 但拉伸强度较低; LLDPE 树脂的冲击强度、拉伸强度、断裂伸长率及耐高低温性能都优于 HDPE 树脂和 LDPE 树脂。采用分子结构类似的 PE 树脂作为 UHMWPE 纤维的基体, 可以得

到“无界面”的复合材料,而且满足回收再利用的现代环保要求。

值得注意的是,近年来人们开始关注将 UHMWPE 树脂作为 UHMWPE 纤维复合材料的基体。

(1) LDPE 树脂

LDPE 树脂作为基体,可分别加工成软质和硬质防弹复合材料。弹道冲击实验表明,硬质防弹复合材料由于整体性较好,纤维的协同效应更明显而表现出更高的防弹性能。

(2) HDPE 树脂

Pegoretti 等在 0.3、1.3、10、30、50 Hz 等 6 种不同的频率下,研究了以 HDPE 树脂和 LLDPE 树脂为基体的 UHMWPE 纤维增强复合材料的动态储能模量、损耗模量和 α 、 β 、 γ 转变。他们发现随着基体树脂结晶度的降低, α 、 γ 转变的活化能都有明显的降低,即以 HDPE 为树脂基体的复合材料较以 LLDPE 树脂为基体的复合材料有更高的动态模量;在 0.3 ~ 50 Hz 范围内,频率越高,两者的三种转变的损耗模量越小,其原因是 HDPE 树脂的结晶度高、分子链活动能力更低的缘故。

(3) LLDPE 树脂

LLDPE 树脂的熔点较低(123℃),因而较适合用作 UHMWPE 纤维复合材料的基体。S. G. Lee 等用 DSC、POM、SEM 等手段研究了 LLDPE 树脂、LLDPE 树脂/UHMWPE 纤维复合材料的结晶动力学特性,并研究了不同结晶温度下树脂的相对结晶度与结晶时间的关系。结果表明,与 UHMWPE 纤维复合增强后,LLDPE 树脂的结晶速度更快;但在复合材料中,UHMWPE 纤维表面的结晶较 LLDPE 基体的结晶快,且随着冷却速率而改变;冷却速率越快,UHMWPE 纤维在 LLDPE 树脂中的单纤拔出强度越高;当冷却速率为 1 ~ 10℃/min 时,单纤拔出强度可达到 9 ~ 13 MPa。所以可通过控制 LLDPE 树脂/UHMWPE 纤维复合材料的冷却速率来控制界面的结晶行为,达到改善界面粘接的目的。

(4) UHMWPE 树脂

UHMWPE 纤维增强复合材料中使用 UHMWPE 树脂尚存在一些难点,主要是:(1)取向的 UHMWPE 纤维的熔融温度(142℃)和未取向的 UHMWPE 树脂的熔融温度(138℃)相差很小,采用熔融结晶的方法在纤维上涂布树脂可能会损坏纤维的力学性能;(2)UHMWPE 树脂密度高,分子量达到数百万,因此在模压过程中因粘度高、流动困难,难以加工;(3)未处理的 UHMWPE 纤维与 UHMWPE 树脂的粘接性相对较差。

2.5 EP^[5,7]

EP 是纤维增强复合材料的主要基体树脂,也是 UHMWPE 增强复合材料的重要基体树脂。EP 的强度、模量、硬度都较高,有较好的粘附力,具有较好的耐腐蚀性和几何稳定性,可在 120℃ 条件下长期使用。但 EP 的热膨胀系数与 UHMWPE 纤维相差很大,易形成不良界面,而且 EP 的力学性能在湿热条件下也会下降,不能长期使用。所以在 UHMWPE 纤维增强复合材料中使用 EP 时往往需经过改性。

目前研究较为成熟的用作 UHMWPE 纤维复合材料基体树脂的 EP 有是环氧甲基丙烯酸乙酯树脂(YX23、

YX931、MFE 等)、环氧丙烯酸乙酯树脂(3200)、异氰酸酯改性乙酯树脂(3201)等。据报道,按适当比例调节双酚 A EP 丙烯酸和苯乙烯,且在室温下用电子束辐射固化可得到粘接性能、力学性能优良的 UHMWPE 纤维复合材料用基体树脂。

提出橡胶改性 EP 的初衷是对 EP 增韧改性。因橡胶与 UHMWPE 纤维有很好的粘接性能,因此合理地调节橡胶与 EP 组分的配比有望得到粘接性能优异而又不降低 EP 综合性能的优良改性 EP 体系。

据专利介绍,一种改性 EP 的制备方法是,在 110℃、不断搅拌的条件下,在 EP 单体中加入一种含有能与环氧基团反应的基团如羟基、羧基、硫醇、胺基和酸酐等的弹性体,例如,在三官能团缩水甘油氨基 EP 中加入质量分数为 5% ~ 50% 的端羧基丁腈橡胶(CTBN 1300)或丁基橡胶(C 1000)。这种改性 EP 可单独用作基体树脂,也可配合其它树脂使用。

3 UHMWPE 纤维增强复合材料的制备

由于 UHMWPE 纤维的表面十分光滑、比面积小、呈化学惰性,且存在弱边界层(UHMWPE 纤维凝胶加工后,表面会残留一些溶剂、酸和低分子聚合物,从而形成较弱的界面层),使得该纤维的表面能很低,基体与纤维界面粘附性极差,导致 UHMWPE 纤维的高强度、高模量特性难以充分发挥,因而必须对 UHMWPE 纤维进行表面处理。

3.1 UHMWPE 纤维的表面处理^[11,12]

国内外研究了许多 UHMWPE 纤维表面处理方法,如低温等离子体、化学酸蚀、电晕、火焰等,这些方法都取得了一定程度的进展。

(1) 化学试剂处理 化学试剂多为强氧化剂,如铬酸、高锰酸钾溶液和双氧水等。UHMWPE 纤维表面经这些试剂氧化浸蚀会产生含氧活性基团,在其表面形成蜂窝状凹坑,粗糙程度加大,提高了纤维与基体树脂的接触面积,有利于纤维与树脂间的力学啮合,从而提高其粘接性能。其中以铬酸处理的效果较好。

(2) 等离子体处理 等离子体处理仅涉及 UHMWPE 纤维的表面(小于 1 μm),故该纤维自身的性质不会受太大的影响。此法按处理性质可分为表面不形成聚合物和表面形成聚合物两类。区别在于处理气氛不同,如在 O_2 、 N_2 、 H_2 、Ar、 NH_3 等气氛中处理,UHMWPE 纤维表面不形成聚合物,而采用有机气体或蒸汽来产生等离子体(如丙烯胺)时,则在 UHMWPE 纤维表面会因聚合反应而沉积一层涂层。这种涂层会在纤维与基体间形成很好的粘接层,提高复合材料的柔韧性。其中前一类处理方法应用较广。

(3) 电晕放电处理法 使 UHMWPE 纤维通过电晕放电装置氧化产生微坑、表面交联、链断裂,以及消除弱边界层,使表面能增大,以改善 UHMWPE 纤维与基体树脂间界面的粘接性。

(4) 辐射引发表面接枝处理 辐射引发表面接枝是在 UHMWPE 纤维表面通过辐射引发第二单体(如丙烯酸类单体丙烯酸(AA)、丙烯酰胺(AM)、甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)等)进行接枝聚合,从而在纤维表面覆盖一层与 UH-

MWPE 纤维化学性质不同的涂层,以此来改善 UHMWPE 纤维与基体间的粘接性能。辐射源有 γ 射线、电子束、紫外线等。其中紫外线引发接枝是先引发光敏剂(如二苯甲酮),再由光敏剂引发单体接枝到 UHMWPE 纤维表面。现用的第二单体主要为丙烯酸类单体,如丙烯酸等。

此外,还有涂层法、压延法、激光法等。

3.2 复合材料的制备

大概是技术保密的原因,有关 UHMWPE 纤维增强复合材料的制备工艺很少有人报道。

通常采用层压方法制备 UHMWPE 纤维增强复合材料。将经预处理的 UHMWPE 纤维或其织物与基体树脂先通过预浸方法(又分为粉末熔化预浸和预制树脂薄膜预浸两类)进行初步复合,然后对 UHMWPE 纤维预浸料层合堆叠,加压固化。各层间纤维层叠角度随性能要求可呈 $(0/90)_{\text{n}}$ 、 $(0^{\circ})_{\text{n}}$ 、 $(0/+45^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ})_{\text{n}}$ 等多种分布,固化时(除 LDPE 树脂外)须加一定的压力,并应将温度控制在纤维的熔点以下($<150^{\circ}\text{C}$)。另外,纤维与基体的体积比可为 $5 \sim 150:100$,一般为 $50 \sim 70:100$,最佳为 $75:100$ 。

对于以 UHMWPE 树脂为基体制备的复合材料, E. Anagnostis 等^[13]成功地改进了复合工艺,其具体方法是将质量分数为 5% 的 UHMWPE 树脂溶解在 95% 的石蜡油中,加热到 125°C 以形成“准凝胶态”,再与 UHMWPE 织物在 2 MPa、 125°C 下层压复合。然后,降低温度至 100°C ,用正乙烷抽提出石蜡油,蒸发掉正乙烷后,即制得 UHMWPE 树脂/UHMWPE 纤维复合材料。Y. Cohen 等^[14]提出了一种新思路:将 UHMWPE 树脂涂布在单向 UHMWPE 纤维上,然后层压成单层单向的无纬片,最后将其按所需的形状裁剪,加压加热模压成型,得到 UHMWPE 纤维复合材料。W. Shalaby 等^[15]提出了另一种解决办法,他们认为先对 UHMWPE 粉末加热至其熔点温度以上,冷却至室温后再加热, UHMWPE 粉末会从一个更低的温度(约低 10°C)开始熔融,先制成 UHMWPE 片或膜,在一定的温度、压力下与 UHMWPE 纤维进行层压;或在乙炔气氛中进行高能(γ 射线、X 射线)辐射,通过控制乙炔气体的浸透时间、温度和压力控制 UHMWPE 纤维复合材料的结晶程度。

4 UHMWPE 纤维增强复合材料的应用

UHMWPE 纤维增强复合材料与其它纤维增强复合材料相比,质量轻,耐冲击,弹性能及介电性能均很高,在武器装备、工农业生产、医疗卫生等领域有着广阔的应用前景。

(1) 武器装备领域^[16]

在武器装备方面,用于装甲车辆的防护板、雷达防护外壳、头盔、坦克的防护内衬、防弹衣等。

近年来,防弹服的原料已逐渐被 UHMWPE 纤维所代替,例如,在波斯尼亚,越来越多的法国维和部队使用了 Dyneema 全防式防弹服,其中整套的 Dyneema 内插板不足 5 kg,可一次成型,能防护人的颈部、胸部和腹部,无须用复合陶瓷或钢板,可防 83 m/s 的 7.62 mm 和 5.56 mm 的 NATO 弹,其它任何材料在如此低的质量下都不能满足这一要求;日本 Sumitomo Bakelite 公司用橡胶粘合剂粘接 UHMWPE 纤维和芳纶纤维预浸料热压而成的层压板,能经受质量为 3.1 g 的

子弹以 650 m/s 的速度射击,无穿透,无变形;我国武警部队开发的贝雷牌防弹衣,采用 UHMWPE 纤维复合材料压制而成,内衬采用高密度弹性材料附体护身,前片有减震板,能防 54 式手枪普通弹、钢芯弹和 79 式微型冲锋枪普通弹、钢芯弹。

目前,军用头盔大都由钢或纤维增强热固性树脂制成。钢头盔笨重,且防护力有限;增强热固性树脂头盔易受低速冲击损伤。而使用 UHMWPE 纤维复合材料内衬外加钢壳头盔,使用寿命长,具有很好的抗弹、抗低速冲击能力,且质轻、价廉。在波黑战争中,装备法国士兵的 Spectra 制 F2 头盔(CGF 加勒公司产)拯救了许多名法国士兵的生命。英军用 UHMWPE 纤维织物复合材料 $0/90^{\circ}$ 铺层制作的防弹头盔,减重 16%,且有比其它防弹材料更好的防弹性能。我国警用轻型防弹头盔采用 UHMWPE 纤维复合材料热压而成,内衬采用抗震橡胶加固,能有效防 54 式手枪射击的普通子弹。

另外, UHMWPE 纤维增强复合材料的介电常数和介电损耗值低,能抑制电弧和火花的转移,反射雷达波很少,适用于制造各种雷达罩。

(2) 航空航天领域

在航空航天工程中, UHMWPE 纤维增强复合材料因轻质高强和抗撞击性能好而适用于制造各种飞机的翼尖结构、飞船结构和浮标飞机部件等,其发展速度异常迅速。

(3) 体育器材用品

在体育用品方面已经制成安全帽、雪橇、滑雪板、帆船板、钓竿、球拍及自行车、滑翔板、超轻量飞机零部件等,其性能较传统材料好。由于 UHMWPE 纤维增强复合材料的比强度、比模量高,加之韧性和损伤容限好,制成的运动器械既耐用又能出好的成绩。

(4) 生物材料

UHMWPE 纤维增强复合材料作为牙托材料、医用移植物和整形材料等具有良好的生物相容性和耐久性,并具有高的稳定性,不会引起过敏,已作临床应用,而且还还可用于 X 光室的工作台等。

(5) 其它应用

工业上, UHMWPE 纤维增强复合材料可用作耐压容器、传送带、过滤材料、汽车缓冲板、防护挡牌、大型储罐、扬声器振动膜、光缆的保护层、无线电发射装置的天线整流罩等;在建筑材料方面可用作墙体、隔板结构等,用作增强水泥复合材料时可以改善水泥的韧度,提高其冲击性能。

5 结语

近几年, UHMWPE 纤维的消费量以高达 20% 的增长率递增,未来几年全球的年需求量将接近 5000 t。在进行 UHMWPE 纤维增强复合材料应用开发的同时, UHMWPE 纤维本身的性能也在进一步提高, UHMWPE 纤维及其复合材料还有许多潜力尚待开发,比如, UHMWPE 纤维的理论强度比现有纤维还能提高 7~8 倍;理论推断其 V_{50} 值比芳纶纤维高 0.7~1 倍。因此, UHMWPE 纤维增强复合材料还有很大的发展潜力和更为广阔的应用前景。

参考文献

- 1 梁子青,等.纤维复合材料,2002(4):6

- 2 胡晓兰,等. 纤维复合材料, 2000(2):40
- 3 王结良,等. 化工新型材料, 2003, 31(1):12
- 4 何洋,等. 化工新型材料, 2002, 30(10):29
- 5 郑震,等. 合成纤维, 2002, 31(4):20
- 6 郎彦庆,等. 功能高分子学报, 2004, 17(2):225
- 7 朱武,等. 材料导报, 2005, 19(3):68
- 8 张用兵,等. 玻璃钢/复合材料, 2005(2):17
- 9 梁子青,等. 天津工业大学学报, 2003, 22(2):6
- 10 杨博,等. 材料导报, 2003, 17(11):82
- 11 Hearle J W S. High-Performance Fibers. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001. 62
- 12 骆玉样,等. 复合材料学报, 2001, 18(4):29
- 13 Anagnostis E, et al. USP 5160472. 1992-11-03
- 14 Cohenr Y, et al. Composites(Part A), 1999, 30(1):19
- 15 Shalaby W, et al. USP 5824411. 1998-10-20
- 16 武警部队科技开发部. 现代兵器, 1998(4):2

ADVANCE IN THE RESEARCH OF ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE FIBER REINFORCED COMPOSITES

Huang Yusong, Chen Yueru, Shao Jun, Li Mingli, Wang Yunhua
(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The properties of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) fiber were summarized. The matrix resins and the processing techniques of UHMWPE fiber reinforced composites were introduced in detail. The applications as well as the recent situation in this field were reviewed.

KEYWORDS ultra-high molecular weight polyethylene fiber, reinforcing, matrix resin, composite

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填写《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No. _____

读者姓名 _____ 单位 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ 邮政编码 _____

欲获得《工程塑料应用》_____年第_____期第_____页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031

北京星贝达化工材料有限公司

美国大湖化学公司指定经销商: 十溴联苯醚、十溴二苯乙烷(环保阻燃剂)、四溴双酚 A(适于 ABS)、聚溴化苯乙烯(PBS-64HW)(适于尼龙、聚酯,热稳定性好,不析出)、苯氧基四溴双酚 A 碳酸酯齐聚物(BC-58、BC-52)(适于 PC、PBT、PET、PC/ABS 合金,且热稳定性好)、磷酸酯(无卤阻燃 PC 用)系列阻燃剂; 抗氧剂: 1010、168、DSTP、330、GP-45(245)、TBM6(300)。

湖南嘉星铋业公司专售商: 三氧化二铋、铋酸钠(塑料用)、硫化铋(粉/块)、铋锭。

阿托菲纳(阿科玛)指定经销商: 核-壳增韧剂 MBS(E-920, C223)/ACR(D440, D320)和三元共聚增韧剂(聚酯或尼龙专用)(AX8900, LOTADER4700, LOTADER3210), EMA, EBA 等。

本公司还销售: POE、乙丙胶、SBS、SEBS、EAA、超韧尼龙增韧剂、PC/ABS 合金相容剂、接枝 PP、接枝 PE。

总公司地址: 北京上地信息路 1 号国科创业园 1-802(100085)

电话: 010-82895069 82895074

http://www.starbetter.com

E-mail: sales@starbetter.com, info@starbetter.com

广州办事处: 东圃商业大厦 A-802(510660)

电话: 020-82580538 82580439

上海湖盟化工公司: 中山北路 2918 号 1-1415(200063)

电话: 021-62164991 51272622