

UHMWPE 纤维高强度绳索的研究

吕生华 王结良 何 洋 梁国正

(西北工业大学化工系,西安 710072)

陈成泗

(宁波大成新材料股份有限公司,宁波 315300)

摘要 研究了纤维捻度、粘结剂对超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维力学性能的影响及浸胶 UHMWPE 纤维表面的耐磨性能。UHMWPE 纤维的断裂强力随着纤维捻度的增加而下降;纤维表面浸胶处理后断裂强力提高,当 UHMWPE 纤维中改性氯丁胶或聚氨酯粘结剂的含量为 6% 时,其断裂强力增加 17.2% 或 13.9%。经聚氨酯粘结剂处理的 UHMWPE 纤维表面的耐磨性能最好。

关键词 UHMWPE 纤维 捻度 粘结剂 摩擦磨损 绳索

超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维是目前世界上强度最高的纤维,它的比强度相当于优质钢材的 15 倍左右,比碳纤维高 2 倍,比芳纶纤维高 40%,而且具有耐紫外线、耐化学药品、耐海水、耐摩擦、抗切割、密度小、质量轻等优点。因此,UHMWPE 纤维是制作软质防弹服、防刺衣、轻质防弹头盔、防弹装甲及舰艇、船舶用高强度绳索的理想材料^[1,2]。

我国是世界上四个可生产 UHMWPE 纤维的国家(荷兰、美国、日本及中国)之一,已具备年产 300 t 的生产能力。目前所生产的 UHMWPE 纤维主要用于生产轻质防弹头盔、防弹板及软质防弹服等防弹材料。随着 UHMWPE 纤维产量的不断扩大和成本的降低,需要继续开发 UHMWPE 纤维的新用途。近来用 UHMWPE 纤维制作高强度绳索的研究引起了有关部门的重视。高强度绳索主要用作海军各种舰艇及各类船舶的抛锚绳、停泊索、抗风浪缆绳及码头的吊装绳索等。目前各种舰艇及船舶所用的抛锚绳、停泊索及抗风浪缆绳几乎都是钢丝绳,自重太大,使用及存放很不方便,而且易受海水腐蚀。据报道,美国、俄罗斯等国家已经用高强度纤维绳索装备海军舰艇,以提高舰艇的战斗力,目前我国在这方面还是空白^[3]。为此,笔者和北京海军装备研究所、宁波大成新材料股份有限公司共同进行了 UHMWPE 纤维高强度绳索的研制工作,主要研究了纤维捻度及粘结剂对 UHMWPE 纤维力学性能的影响及浸胶纤维的耐磨性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

UHMWPE 纤维:300 根/束,宁波大成新材料股份有限公司;

改性氯丁胶:自制;

改性丁腈胶:自制;

弹性聚氨酯粘结剂(聚氨酯胶):工业品,天津市泡沫总厂;

SL 聚乙烯塑料粘结剂(SL 塑料胶):工业品,慈溪市胶粘剂厂;

甲苯、丙酮、阻燃剂、染料、抗老剂等均为市售工业品。

1.2 仪器与设备

多功能电子拉力机:TS2000-S 型,台湾高铁检测仪器有限公司;

织物动态耐磨仪:江苏常州纺织仪器厂。

1.3 UHMWPE 纤维的上胶实验

将改性氯丁胶、改性丁腈胶、聚氨酯胶和 SL 塑料胶 4 种粘结剂分别用溶剂、阻燃剂、染料、抗老剂等配制成适当浓度的胶液,使 UHMWPE 纤维分别以一定速度通过各种胶液浸胶,要求纤维表面上胶均匀,纤维束内部浸胶透彻。准确称量上胶前和上胶后的 UHMWPE 纤维质量,计算含胶量。

$$\text{含胶量} = [(W_1 - W_0) / W_0] \times 100\%$$

式中: W_1 ——上胶后的纤维质量;

W_0 ——上胶前纤维质量。

1.4 性能检测

对不同捻度的 UHMWPE 纤维及浸胶后的 UHMWPE 纤维进行断裂强力测试,测试条件为夹具距离 200 mm,拉伸速度 250 mm/min。纤维捻度是纤维单位长度上的捻回数,特数制的纤维捻度用 10 cm 长度内的捻回数表示^[4]。

上胶后纤维表面粘结剂的动态耐磨性能测试采用织物动态耐磨仪,试样的弯曲形式为三曲(试样弯折三次),初始张力为 9.8 N,纤维长度为 33 cm,

摩擦次数定为 1 000 次, 根据摩擦前后的纤维重计算试样磨损率。

试样磨损率 = $[(G_0 - G_1) / G_0] \times 100\%$

式中: G_0 ——磨损前的试样质量;

G_1 ——磨损后的试样质量。

2 结果与讨论

2.1 捻度对 UHMWPE 纤维断裂强力的影响

纤维加捻的目的是为了使纤维束均匀受力并不松散开来, 便于使用和存放。如图 1 所示, 加捻将直接影响纤维的力学性能, 使纤维的断裂强力降低^[4]。纤维受力的方向与其取向或者轴向方向的断裂强力最大, 加捻纤维断裂强力的降低是由于在受力情况下, 外力的方向与纤维的轴向取向方向发生了偏离, 如图 2 所示。纤维捻度愈大, 偏离的角度愈大, 相当于纤维受到一个剪切力的作用, 因此纤维的断裂强力降低。所以, 在制作高强度缆绳时为了达到一定的断裂强力, 要采用无捻度或者低捻度的纤维, 或增大纤维的数目即缆绳的直径。由于高强度 UHMWPE 纤维的价格非常昂贵, 增大纤维数目即缆绳直径的做法不可取, 一般采用无捻度或者低捻度的 UHMWPE 纤维, 以达到用最少量的纤维制作最大强度缆绳的目的。为了编织方便, 一般采用捻度小于 5 捻/10 cm 的 UHMWPE 纤维, 这时捻度对断裂强力的变化影响较小。

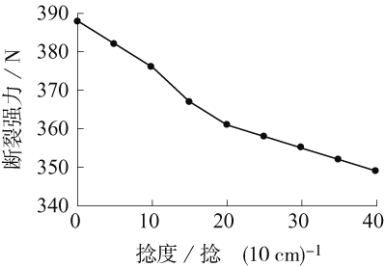


图 1 捻度对 UHMWPE 纤维断裂强力的影响

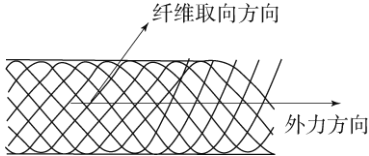


图 2 外力方向与纤维取向方向

2.2 粘结剂及含胶量对 UHMWPE 纤维断裂强力的影响

用 UHMWPE 纤维制作高强度缆绳之前需要进行表面浸胶处理, 浸胶的目的是为了使无捻度或低捻度的纤维粘结在一起, 使用或存放时不松散; 粘结在一起的纤维束能够将所受到的作用力均匀地分布

及传递给每一根纤维, 使纤维束内的每一根纤维都能步调一致地产生应力作用, 从而使其断裂强力有较大增加; 粘结在一起的纤维接触空气及海水的面积减少, 有利于延缓纤维的老化, 增加使用寿命。用相同质量浓度的 4 种胶液进行浸胶实验, 调节纤维通过胶槽的速度, 控制含胶量均为 6% 左右, 所得 UHMWPE 纤维的断裂强力如表 1 所示。从表 1 可以看出, 浸胶后 UHMWPE 纤维的断裂强力都有不同程度的增加, 其中改性氯丁胶粘结剂可使纤维的断裂强力提高 17.2%, 聚氨酯粘结剂可使纤维的断裂强力提高 13.9%。粘结剂使 UHMWPE 纤维束断裂强力提高的大小次序为: 改性氯丁胶 > 聚氨酯胶 > 改性丁腈胶 > SL 塑料胶。而相应的断裂伸长率基本上没有大的变化。同时, 用于缆绳浸胶的粘结剂要有卓越的粘结性, 突出的柔韧性和适中的硬度。

表 1 粘结剂种类对 UHMWPE 纤维力学性能的影响

粘结剂	断裂强力 / N	断裂强力提高幅度 / %	断裂伸长率 / %
无	388		3.8
改性氯丁胶	455	17.2	4.3
聚氨酯胶	442	13.9	4.2
改性丁腈胶	421	8.5	4.1
SL 塑料胶	418	7.7	4.1

图 3 为 UHMWPE 纤维中改性氯丁胶的含量与其断裂强力的关系。从图 3 可看出, 纤维中粘结剂含量少时, 断裂强力提高得较少, 这是由于纤维束之间的浸胶不完全, 纤维未被粘结成一个整体, 致使纤维的受力不均匀。随着纤维中改性氯丁胶含量的增加, 纤维的断裂强力不断提高, 在粘结剂含量为 6% 时, 断裂强力达到了最大值, 说明此时的粘结剂能够将所有的 UHMWPE 纤维粘结成一个整体, 且具有一定的粘结强度, 使其能够将受到的作用力均匀地传递给每一根纤维, 从而表现出最大断裂强力。

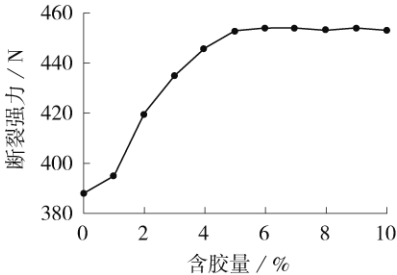
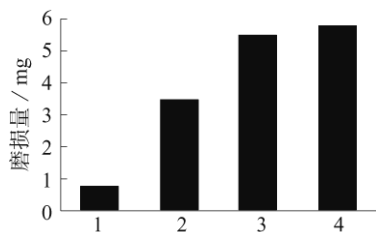


图 3 纤维中改性氯丁胶含量与断裂强力的关系

2.3 UHMWPE 纤维浸胶后的耐磨性能

缆绳在使用过程中会经常接触到不同的物体并

与之发生摩擦产生磨损,因此,必须对浸胶后用于制作绳索的 UHMWPE 纤维进行摩擦磨损性能测试。UHMWPE 纤维在上述 4 种粘结剂胶液中浸胶后的耐磨性如图 4 所示,耐磨性能优劣的次序为:聚氨酯胶>改性氯丁胶>改性丁腈胶>SL 塑料胶。聚氨酯浸胶纤维的耐磨性能最好,原因在于聚氨酯分子之间能够形成图 5 所示的非环状及(或)环状氢键,在外力(摩擦力)作用下,氢键可以裂开而吸收外来的能量,外力除去后又可重新形成氢键,氢键裂开形成的可逆重复使得聚氨酯胶膜具有较高的耐磨性和韧性^[5]。而改性氯丁胶膜、改性丁腈胶膜及 SL 塑料胶膜分子间没有氢键存在,耐磨性能较聚氨酯胶差。



1—聚氨酯胶; 2—改性氯丁胶; 3—改性丁腈胶; 4—SL 塑料胶

图 4 浸胶 UHMWPE 纤维的耐磨性能

3 结论

当用 UHMWPE 纤维制作高强度绳索时,尽可能采用低捻度或者无捻度纤维,以减少纤维用量及力学性能的损失。制作无保护外套高强度缆绳时,可选用聚氨酯类粘结剂作为 UHMWPE 纤维的浸胶剂,既有好的耐磨性,又有优良的耐化学药品、耐酸

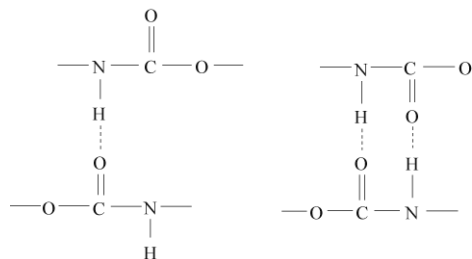


图 5 聚氨酯分子内的环状及非环状氢键

碱盐及海水的能力;制作有保护外套的高强度缆绳时,聚氨酯胶、改性氯丁胶粘结剂都可以选用,上胶量可以控制在 6% 左右。用 UHMWPE 纤维制作的直径 1 cm 缆绳的断裂强力可达 120 kN,与钢丝绳相比,直径减少 12%,绳重减少 50%,强度却能够提高 15%,并且耐海水腐蚀,使用寿命是钢丝绳的几倍,使用及存放方便,在舰艇等方面具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 Ogawa T, Mukai H. Effects of functional groups and surface roughness on interfacial shear strength in ultrahigh molecular weight polyethylene fiber/polyethylene system. *J Appl Polym Sci*, 1999, 71: 243
- 2 罗益锋. 世界超高分子量聚乙烯纤维发展概况与对策建议. *高科技纤维应用*, 1999, 24(5): 13
- 3 Ogawa T, Mukai H, Osawa S. Improvement of the mechanical properties of an ultrahigh molecular weight polyethylene fiber/epoxy composite by corona-discharge treatment. *J Appl Polym Sci*, 2001, 79: 1162
- 4 赵书经. 纺织材料实验教程. 北京: 中国纺织出版社, 2000. 223
- 5 虞兆年. 涂料工艺(第二分册). 北京: 化学工业出版社, 1997. 253

STUDY ON HIGH STRENGTH ROPE OF UHMWPE FIBERS

Lü Shenghua, Wang Jieliang, He Yang, Liang Guozheng

(Department of Chemical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Chen Chengsi

(Ningbo Dacheng Advanced Material Co. Ltd., Ningbo 315300, China)

ABSTRACT The effect of the twist and adhesive on the mechanical properties of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) fibers and the friction and abrasion of the adhesive-pretreated UHMWPE fibers surface were investigated. The result showed that the strength of UHMWPE fibers decreased rapidly with the increase of the twist and increased largely after the adhesive-treatment of the UHMWPE fibers surface. When the modified neoprene or polyurethane adhesive content in UHMWPE fibers was 6%, the strength of UHMWPE fibers increased 17.2% or 13.9%, respectively. It was also found the friction and abrasion resistance of polyurethane was best.

KEYWORDS UHMWPE fiber, twist, adhesive, friction and abrasion, rope

双色挤出吸塑成型机研制成功

近日福州保创机械技术开发有限公司研制成功双色挤出吸塑成型机。该机可用两种原料生产双层不同颜色的快餐盒,外层可使用回收料或价格便宜的原料,内层用符合食品卫生标准的原料。

该机可直接用粉状聚丙烯、粉状 CaCO_3 生产,因此可在降低成本的同时,生产出质量较好的产品。全自动挤出吸塑成型采用智能机械手推进,自动模切冲压。整套工序全自动生产,无需人工模压切边,可日产降解快餐盒 12 万个。该设备带有正压、负压装置,也可生产碗、杯、盘等。(周明慧)