

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.06.027

芳纶纤维界面改性研究进展*

洪波^{1,2}, 罗筑^{1,2}, 夏忠林^{1,2}, 娄金分^{1,2}, 向坤^{1,2}

(1. 贵州大学材料与冶金学院, 贵阳 550025; 2. 国家复合改性聚合物材料工程技术研究中心, 贵阳 550014)

摘要: 从物理法、化学法、生物酶法和浸渍法四个方面, 综述了芳纶纤维(AF)的界面改性方法、作用效果及机理, 并总结了AF界面改性的发展趋势。

关键词: 芳纶纤维; 界面粘合; 改性

中图分类号: TQ342+.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)06-0126-05

Research Progress in Interfacial Modification of Aramid Fibers

Hong Bo^{1,2}, Luo Zhu^{1,2}, Xia Zhonglin^{1,2}, Lou Jinfen^{1,2}, Xiang Kun^{1,2}

(1. College of Materials Science and Metallurgy Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. National Engineering Research Center for Compounding and Modification of Polymeric Materials, Guiyang 550014, China)

Abstract: The methods, produced effects and mechanisms of interfacial modification of aramid fibers(AF) were reviewed, in terms of physical method, chemical method, biological enzymatic method and impregnation method. And the research trend on the interfacial modification of AF was summarized.

Keywords: aramid fiber; interfacial adhesion; modification

芳纶是由酰胺键直接桥连芳基所构成的直链大分子, 酰胺基中羰基氧与亚胺基氢可形成分子间氢键作用, 使芳纶纤维(AF)具有高结晶度、高比强度、高比模量、尺寸稳定性好、耐热、耐化学药品性强等一系列优点^[1], 被广泛用于航空航天、体育用品、轮胎骨架等领域^[2]。但AF表面的高结晶度及苯环空间位阻作用, 造成AF表面化学惰性, 使其难以与基体形成有效亲和及化学链接。因而, 对AF界面改性, 增强它与基体间的粘结性, 成为提高复合材料界面性能和扩展AF应用范围的重要研究方向。

笔者从改性方法的角度, 对AF界面改性技术及作用机理进行综述。

1 物理法

以等离子体、超声波、紫外光、 γ 射线等方式对AF表面输入能量, 提高其表面的分子链能量, 活化或刻蚀表面, 这一过程往往伴随着活性中间物或高能介质的作用, 增大与基体的吸附力与作用面积, 从而增强基体与AF的润湿性及界面粘结性能。

1.1 低温等离子体处理

低温等离子体轰击AF表面, 表面的一些化学键断裂成小分子产物或被氧化成CO、CO₂等而挥发掉, 使材料表面发生刻蚀, 粗糙度增加。在非反应性气体等离子体作用下, AF表面产生大量的自由基及不饱和键, 在存放时与空气接触而产生含氧官能团; 而反应性气体等离子体处理的表面则即时

直接被氧化、氮化, 或发生交联或接枝反应^[3]。等离子体作用的深度可控, 仅涉及离表面几个到数十个纳米范围。另外, 等离子体处理AF引发的自由基的半衰期较长^[4], 可通过自由基反应, 进行接枝复合改性^[5]。

Y. J. Hwang等^[6-7]研究了惰性气体等离子体处理后AF表面的性质。结果表明, AF表面的氧含量增加, 碳含量减小, 羟基大量增加, 与环氧树脂(EP)的界面剪切强度(IFSS)提高109%, 单丝强度提高26%。Jia Caixia等^[8]用空气等离子体处理AF, AF表面的粗糙度明显增大, 含氧基团(如C—O, C=O及O=C—O)增加, 表面自由能提高2.6倍, 且增大了与聚芳醚砜酮(PPEsk)树脂的润湿性。Zhang Xiangyi等^[9]以等离子体预处理AF, 再涂覆EP, 制备PPEsk/AF复合材料。结果发现, 等离子体能诱导化学接枝反应, 且PPEsk分子可扩散进入在AF表面的接枝环氧层, 并与之交缠, 从而使破坏模式从界面破坏变为基体断裂, 层间剪切强度(ILSS)提高了168.9%。

Ren Yu等^[10-11]探究了AF的回潮率对等离子体改性效果的影响。结果表明, 等离子体处理后, AF表面的氧、氮含量提高, AF吸潮的水分子加强了等离子体的氧化作用, 在表面产生的活性官能团增多, 吸潮率为5.5%时, 表面亲水性及

* 黔科合重大专项字 [(2013)6016]

联系人: 罗筑, 教授, 博导, 主要从事聚合物共混改性研究

收稿日期: 2014-03-20

抗老化性能最优,与 EP 的 ILSS 提高了 58%。

1.2 超声波处理

超声波处理主要通过空化作用改性 AF,使 AF 表面的缺陷及薄弱部位在微射流冲击下引起裂纹及刻蚀,同时会强化液体对 AF 的润胀作用,利于打开分子间氢键^[12],降低表面分子的内聚能。一方面,会产生纵向剥离的效果,促进 AF 细纤维化^[13],增加与基体作用的面积;另一方面,振荡波在表层产生清洗作用,降低 AF 表面的张力,微气泡崩溃时产生局部高温高压,促进酰胺键的水解,转化为活性自由态胺基与羧基^[14],增强与基体的极性吸附力或增加 AF 表面的化学吸附量。

Dong Huijuan 等^[15]对超声波的界面作用展开了理论分析,认为存在 4 大效应:空化效应、空化次级效应、强力相互作用效应和温升效应,分别产生了消除气体杂质、刻蚀表面、促进基体均匀铺覆于纤维表面和温度升高的作用。并探究了振幅与相对剪切强度的关系。在 4 大效应作用下,AF 表面的粗糙度明显增加,当振幅为 48 μm 时,EP/AF 复合材料的 IFSS 提高 10%。L. Liu 等^[16-18]研究发现,超声波振幅为 30 μm 时,AF 表面的自由能提高 6.3%,表面氧碳比增加 27%,氮碳比降低 20%,说明表面分子链可能发生了断裂或交联而被破坏,AF 与 EP 的 ILSS 提高了 13%,其主要是超声空化作用促使 EP 渗入 AF 表面的沟槽及微孔,形成了界面互锁结构。Sun Zhi 等^[19]研究了溶液浸渍超声对 EP/AF 界面改性的机理,双悬臂梁测得实验组的临界能量释放率提高 77%,表明处理后的界面在裂纹扩展中起到了增韧作用,改性试样断面中 AF 表面更粗糙且残留的 EP 块较大,说明断裂面增大及纤维拔出摩擦能耗增加共同使界面及其周围裂纹萌生及扩展功提升。

1.3 γ 射线处理

γ 射线主要以康普顿散射方式作用于 AF,使 AF 表面发生氧化或辐照接枝反应^[20],内部发生辐照交联反应^[21]。 γ 射线可以激发一定量的自由基,使 AF 皮芯之间发生交联,增加横向结合强度;也可在表面发生自由基反应,AF 与辐照液接触后,表面接枝上一定数量的活性基团,增加表面活性及粗糙度,形成可与基体有效粘结的过渡层。

Zhang Yanhua 等^[22]利用 γ 射线改性 AF,辐照增加了 AF 表面的含氧基团,因而与 EP 的润湿性增强,辐照后 AF 表面出现沟槽,同时皮芯发生交联,使 AF 结构整体变致密,结晶度及晶面间距也发生改变,EP/AF 复合材料的 ILSS 提高了 17.7%。另外,采用共辐照(辐照前浸入 EP 浸润液)方式处理 AF,发现在 γ 射线激发下,AF 表面发生接枝反应,润湿性和表面能进一步提高,与 EP 的 ILSS 最高提高了 25.4%^[23]。

1.4 紫外光处理

芳纶结构单元中的共轭结构(苯环和酰胺键)均可产生紫外吸收,AF 表面在紫外处理后即可被活化。随之,界面出现两种变化:(1)产生刻蚀效应,比表面积增加,表面粗化,会增大与基体间的摩擦系数^[24];(2)具有表面活化作用,AF 表面发生了氧化,产生含氧基团(如 $\text{C}=\text{O}$ 、 $-\text{COO}-$),增加了与基体的亲和性与作用力。

用低功率紫外光处理 AF,AF 的结晶度发生轻微降低,但芯核部分的元素组成几乎没有改变^[25];表面产生刻蚀而变粗糙,同时主链上酰胺键发生断裂和氧化,形成了亲水官能团($-\text{COO}-$),链末端基团也发生氧化,使表面极性基团增加^[26]。

紫外光的能量有限,不能像等离子体及 γ 射线一样能强有力地改性 AF。为增强紫外辐照效果,E. M. Kim 等^[27]用紫外臭氧清洗仪处理芳纶膜,发现处理后,由于羰基及羟基的生成使氧碳比增加,且芳纶膜表面粗糙化;此外,极性表面能显著增加而引起总表面能增加,与水的接触角减小。F. Bédoui 等^[28]则用紫外高能激光替代普通紫外光处理 AF,发现 AF 表面形成微消融结构,呈对称的水波纹状,可与 EP 基体形成机械互锁结构,IFSS 提高了 1.2 倍;按 45° 入射角辐照处理 AF,可形成锯齿状非对称表面,是一种机械自锁结构,在沿纤维的伸展方向,与 a 方向相同方向上的外剪切力远高于 a 方向相反方向上的外剪切力(见图 1);另外,AF 浸渍在溶剂中,紫外高能激光辐照仍能有效发挥作用,给复合处理提供了更多可能性。

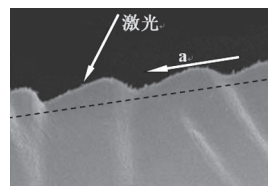


图 1 紫外激光处理后的 AF 表面

2 化学法

以化学活性试剂与 AF 直接接触,AF 表面发生取代、聚合、水解、氧化及断链等化学反应,从而增强 AF 与基体的亲和性及作用力。

2.1 表面水解及配位处理

芳纶结构单元中含有酰胺键,可在酸性或碱性溶液及升温条件下发生水解,降低表面的结晶度,释放出活性基团,并增加 AF 表面的粗糙度,从而增强与树脂的界面粘结强度。C. Y. Yue 等^[29]用乙酸酐/甲醇改性 AF,发现处理后的 AF 表层发生氧化,并且出现起泡、条纹及波纹状等表面粗化现象,与 EP 的 IFSS 提高 60%。Cao Keqin 等^[30]通过磷酸、戊二醛两级改性芳纶微纤,从机理上分析了磷酸促进芳纶微

纤表面水解,戊二醛与水解产生的端胺基缩合的过程,发现芳纶微纤表面有限的水解及适度地与戊二醛缩合,可明显提高芳纶网络微结构的硬度、屈服强度及热稳定性。而对水解反应和缩合反应的调控,可在不同维度上调节 AF 的性质及其作为填料增强复合材料的性能。Jia Zhao 等^[31-32]采用磷酸处理 AF,实验发现,改性后 AF 表面的极性基团增加并有羟基生成,表面出现微球状凸起,与 EP 的 IFSS 最高提高了 43.58%。Yuan Feipin 等^[33]利用氢氧化钠溶液处理 AF,红外测试表明,羰基峰与亚胺基峰增强,AF 表面明显变粗糙,使 PP/AF 复合材料的拉伸强度提高了 94.1%,说明处理后的 AF 表面出现刻蚀,酰胺键水解,从而与基体的结合强度增加。

配位处理是将金属离子引入 AF 表面与酰胺键产生配位反应,破坏表面分子间的氢键,降低结晶度,增加表面活性,金属离子也可作为活性中心,再与树脂发生络合反应。Wu Ju 等^[34]对比了稀土改性及化学接枝法的处理效果,研究表明,稀土元素通过配位反应,提高了 AF 表面活性基团(—COOH)的浓度,相对于化学接枝,极大地提高了 AF 和 EP 基体的界面结合力,且 AF 本体强度几乎没有破坏。夏忠林等^[35]利用 CaCl_2 改性 AF,结果发现,络合了 CaCl_2 的 AF 表面的结晶度降低,粗糙度增加。

2.2 表面接枝取代反应

AF 的表面接枝取代反应研究得较广泛且成熟,按接枝取代位点的不同,可分为芳纶表面苯环上取代反应和酰胺键上活泼氢的取代反应。

芳纶苯环上可通过付瑞德-克拉夫茨反应^[36]、硝化/还原反应^[37]和氯磺化反应^[38]发生接枝取代反应。接枝上的活性侧基,也可再接枝 EP、硅烷及烯丙基化合物等长链分子。Liu Tiemin 等^[39]利用环氧氯丙烷通过付瑞德-克拉夫茨反应改性 AF,结果发现,处理后的 AF 本体强度变化不大,表面粗化,氧碳比及官能团数增加,表面自由能也同时增加,因而与 EP 的界面粘结强度显著变化,提高了 50%。Qu Rongjun 等^[40-41]以硝化/还原反应改性 AF,发现处理后的 AF 对金属离子的吸附性明显增强,并提出准二级吸附模型,该吸附机理较好地解释了实验测得的吸附过程。

酰胺基团中的活泼氢可与亲电试剂发生取代反应^[42],也可先离子化再接枝烷烃链^[43]。同苯环上接枝活性基团类似,也可再与其它活性长链反应^[44]。Zhao Songfang 等^[45]在 AF 的酰胺键上先接枝甲苯二异氰酸酯,再桥联已内酰胺,实验发现,处理后的 AF 表面变粗糙,可与等规聚丙烯/尼龙 6 基体形成机械互锁结构,使复合材料的力学性能、热学稳定性均显著提高。Chen Wei 等^[46]用己二异氰酸酯桥联 AF 表层分子链与酰氯化碳纳米管,结果发现,改性 AF 经清洗后

仍有 20% 的表面覆有碳纳米管,改性 AF 的拉伸强度提高 12%,且与双马来酰亚胺的 ILSS 提高 30%。

利用化学接枝法处理 AF,效果明显,反应速度较快,但操作复杂,反应过程难以精确控制,尤其是硝化与磺化反应程度深而易损伤 AF 本体,并且不适合连续操作,工业化难度高,也存在环保等问题,都极大地限制了化学接枝法的应用。

3 生物酶法

由于 AF 表面的惰性,常规物理及化学方法改性需要提供较高能量或高活性物质,而酶作为主要的生物催化剂,具有高效性、专一性、反应条件温和及环保等诸多优点,可在 AF 表面改性反应中大大降低活化能,充当表面分子水解、接枝、聚合等反应的高效催化剂。

目前,酶催化改性 AF 的研究较少,仅苏州大学对此进行了初步研究,取得了一些进展。Liu Yang 等^[47]用辣根过氧化物酶为催化剂, H_2O_2 为自由基引发体系的氧化剂,催化芳纶接枝烯丙基缩水甘油醚 (AGE),结果发现,AGE 接枝到芳纶结构中的苯环中,AF 的热稳定性及表面粗糙度明显增加,并且与水及乙二醇的接触角减小,表面极性基团含量增加,从而增加了与 EP 的粘结强度。Li Shineng 等^[48]利用酶催化 AF 表面聚合甲基丙烯酸缩水甘油酯,检测结果表明,聚集在 AF 表面的聚甲基丙烯酸缩水甘油酯明显增加了表面的极性基团,表面能增加,且表面呈现屋脊或花叶形貌,使粗糙度增加,从而提高了 AF 表面的润湿性;而且 AF 的晶体结构未被破坏,热稳定性增加,改性 AF 的强度、断裂能和弹性模量分别提高了 23%,19.4% 和 16.4%。

4 间苯二酚-甲醛-胶乳 (RFL) 浸渍增粘法

传统的 RFL 浸渍体系是指间苯二酚、甲醛、胶乳浸渍液,适用于纤维与橡胶的粘合体系^[49]。在浸渍液中,间苯二酚与甲醛先反应生成活性间苯二酚-甲醛 (RF) 树脂,RF 树脂再被吸附在胶乳表面上,随胶乳向纤维表面扩散,附着在纤维表面的无定形区^[50]。同时,RF 树脂的羟甲基可与芳纶分子中的酰胺基中的活泼氢发生缩合,酚羟基的氧原子与酰胺基的氢原子结合成氢键。

在传统的 RFL 浸渍体系中,主要发展了两类改性 RFL 体系,一类是一浴增粘法,即在 RFL 中添加封闭异氰酸酯分散体系或对氯苯酚-甲醛树脂等活化 AF 表面物质的方法;另一类是二浴法,即以溶剂型或水分散型树脂(主要有环氧树脂及环氧化物和异氰酸酯的乳液)作底涂, RFL 浸渍液作表涂的两步浸渍法。

刘继涛等^[51]在 RFL 体系的基础上引入甲苯-2,4-二异氰酸酯 (TDI) 进行改性,结果发现,加入 TDI,一方面在 RFL 胶膜中增加了活性基团,增强胶膜在 AF 与基体间的偶联架

桥作用,另一方面,会造成胶乳粒子的凝聚,降低胶乳与橡胶共硫化时的二次粘合;当 TDI 质量分数为 3% 时,静态结合力达到最大,约为 160 N。P. J. de Lange 等^[52]依次用环氧-胺粘结体系和 RFL 体系浸渍的二浴法处理 AF,结果发现,一浴浸渍液中油(提升加工性)与环氧-胺的比例存在一个安全的油量值范围(0.3%~2.4%),适量时,可提高环氧-胺在 AF 表面的分散性,强化环氧-胺粘结体系对 AF 与 RFL 胶膜的化学键合作用;超量时,油对环氧-胺的稀释占主导,表皮剥离力降低。

RFL 浸渍法有两点有待改善:一是 RFL 胶膜对光和空气敏感,在其纤维复合材料制备中胶膜易被氧化,从而降低了与 AF 的粘结活性;二是 RFL 浸渍处理短 AF 时易结团,操作比芳纶帘线复杂得多。M. Shirazi 等^[53]研究了用氯甲酸酯及异氰酸酯化学改性替代 RFL 体系作为表涂的二浴法,结果表明,先用 EP 底涂,再以化学改性的方法表涂,可促使 EP 官能化而与基体共交联,简化了加工工艺且有效地提高了复合材料的弹性模量。

5 结语

AF 的界面改性方式、效果及机理各异,优缺点也十分明显。物理法工艺简单、易控,可连续化处理,稳定性高,对环境无污染,但因成本高、能耗大而难以普遍应用;化学法改性效果显著,反应灵活,但反应的程度及速度往往难以准确调控,污染环境,连续化生产困难;RFL 浸渍法在目前工业化应用中最为有效、广泛,体系配方灵活,可设计性强,但在处理短 AF 时存在聚团及再处理难等问题。

基于各种处理方式优缺点的互补,越来越多的复合处理及多级处理方式正在研究与开发。化学接枝法引入 RFL 体系作为表涂^[53],化学改性前先进行适当物理的处理以增强浸润性^[54],物理改性为其它反应提供引发能量等新的处理方式^[23],充分利用了各自处理的优势,使综合处理方法操作灵活、有效。另外,生物酶法及配位法处理量少、高效,反应条件温和,都将成为极具研究和开发价值的新方向。

参考文献

- [1] 季家友. 芳纶 III 表面改性及其与环氧复合体系的结构与性能研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
Ji Jiayou. Study on surface modification of aramid III and properties and structures of aramid III / epoxy resin composites[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [2] 凌新龙, 等. 天津工业大学学报, 2011, 30(3):11-18.
Ling Xinlong, et al. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2011, 30(3):11-18.
- [3] 严志云, 等. 合成橡胶工业, 2007, 30(3):200-204.
Yan Zhiyun, et al. China Synthetic Rubber Industry, 2007, 30(3):200-204.
- [4] 严志云. 芳纶表面改性及其与橡胶复合体系的结构和性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2004.
Yan Zhiyun. Study on surface modification of aramid fiber and structure-properties of aramid/rubber composite[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2004.
- [5] 孔海娟, 等. 中国材料进展, 2013, 32(11):676-684.
Kong Haijuan, et al. Materials China, 2013, 32(11):676-684.
- [6] Hwang Y J, et al. Journal of Adhesion Science and Technology, 2003, 17(6):847-860.
- [7] Gu Ruxi, et al. Applied Surface Science, 2012, 258(24):10 168-10 174.
- [8] Jia Caixia, et al. Applied Surface Science, 2011, 257(9):4 165-4 170.
- [9] Zhang Xiangyi, et al. Vacuum, 2013, 97:1-8.
- [10] Ren Yu, et al. Applied Surface Science, 2007, 253(23):9 283-9 289.
- [11] Liu L, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 102(1): 242-247.
- [12] 严志云, 等. 橡胶工业, 2004, 51(6):325-329.
Yan Zhiyun, et al. China Rubber Industry, 2004, 51(6):325-329.
- [13] 朱正锋, 等. 纺织学报, 2012, 33(1):24-28.
Zhu Zhengfeng, et al. Journal of Textile Research, 2012, 33(1):24-28.
- [14] 刘丽, 等. 复合材料学报, 2003, 20(2):35-40.
Liu Li, et al. Acta Materiae Compositae Sinica, 2003, 20(2):35-40.
- [15] Dong Huijuan, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(3):1 816-1 821.
- [16] Liu L, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 99(6): 3 172-3 177.
- [17] Liu L, et al. Applied Surface Science, 2008, 254(9):2 594-2 599.
- [18] Shchukin D G, et al. Advanced Materials, 2011, 23(17):1 922-1 934.
- [19] Sun Zhi, et al. Polymer Composites, 2014. doi:10.1002/pc.22929.
- [20] 何森. γ -射线辐照对国产芳纶纤维及其复合材料界面性能的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
He Miao. Effects of γ -ray irradiation on indigenous aramid fiber and its composite interface performance[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [21] 邱军, 等. 沈阳化工学院学报, 2000, 14(4):263-265.
Qiu Jun, et al. Journal of Shenyang Institute of Chemical Technology, 2000, 14(4):263-265.
- [22] Zhang Yanhua, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 106(4):2 251-2 262.
- [23] Zhang Yanhua, et al. Applied Surface Science, 2008, 254(10): 3 153-3 161.
- [24] 张珊珊. Kevlar 纤维的表面处理及其复合材料界面研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
Zhang Shanshan. Study on surface modification of kevlar fiber and composite interfacial[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.

- [25] 厉世能. 芳纶纤维的老化及表面处理的研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2012.
Li Shineng. Research on ageing and surface modification of aramide fibers[D]. Suzhou: Soochow University, 2012.
- [26] 王钧, 等. 武汉理工大学学报, 2005, 26(11): 12-15.
Wang Jun, et al. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 26(11): 12-15.
- [27] Kim E M, et al. Fibers and Polymers, 2010, 11(5): 677-682.
- [28] Bédoui F, et al. Journal of Materials Science, 2008, 43(16): 5 585-5 590.
- [29] Yue C Y, et al. Composites Part B: Engineering, 1999, 30(2): 205-217.
- [30] Cao Keqin, et al. Advanced Functional Materials, 2013, 23(16): 2 072-2 080.
- [31] Jia Zhao, et al. Advanced Materials Research, 2012, 548: 29-33.
- [32] Jia Zhao. Fibers and Polymers, 2013, 14(1): 59-64.
- [33] Yuan Feipin, et al. Journal of Forestry Research, 2013, 24(1): 149-153.
- [34] Wu Ju, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 102(5): 4 165-4 170.
- [35] 夏忠林, 等. 现代化工, 2013, 33(10): 86-90.
Xia Zhonglin, et al. Modern Chemical Industry, 2013, 33(10): 86-90.
- [36] Li J, et al. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2010, 49(2): 178-181.
- [37] Wu Yulong, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1986, 31(4): 1 041-1 059.
- [38] Benrashid R, et al. Textile Research Journal, 1990, 60(6): 334-344.
- [39] Liu Tiemin, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118(5): 2 541-2 552.
- [40] Qu Rongjun, et al. Polymers Advanced Technologies, 2012, 23(1): 21-30.
- [41] Qu Rongjun, et al. Chemical Engineering Journal, 2012, 181-182: 458-466.
- [42] Day R J, et al. Composites Science and Technology, 2002, 62(2): 153-166.
- [43] Ou Rongxian, et al. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2010, 41(9): 1 272-1 278.
- [44] 郑玉婴, 等. 光谱学与光谱分析, 2006, 25(11): 1 810-1 812.
Zheng Yuying, et al. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 25(11): 1 810-1 812.
- [45] Zhao Songfang, et al. Materials & Design, 2012, 35: 749-753.
- [46] Chen Wei, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 123(4): 1 983-1 990.
- [47] Liu Yang, et al. Advanced Materials Research, 2012, 430-432: 233-241.
- [48] Li Shineng, et al. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22(18): 8 960-8 968.
- [49] 廖颖芳. 浸渍处理层与芳纶纤维粘合问题的研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006.
Liao Yingfang. Study on adhesion problem between adhesive and aramid fiber[D]. Nanjing: Hohai University, 2006.
- [50] 蒲启君. 橡胶工业, 1999, 46(11): 683-695.
Pu Qijun. China Rubber Industry, 1999, 46(11): 683-695.
- [51] 刘继涛, 等. 中国纺织大学学报, 2000, 26(4): 82-84.
Liu Jitao, et al. Journal of China Textile University, 2000, 26(4): 82-84.
- [52] de Lange P J, et al. Journal of Adhesion Science and Technology, 2009, 23(1): 139-149.
- [53] Shirazi M, et al. Journal of Adhesion Science and Technology, 2013, 27(9): 1 048-1 057.
- [54] 杨诗润, 等. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(12): 77-81.
Yang Shirun, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2013, 29(12): 77-81.

汉高发布新型聚氨酯类基体树脂并展示成型品

汉高日本公司于2014年5月21日宣布, 将开始向日本市场供应用于纤维增强复合树脂的新型聚氨酯类基体树脂。该公司在同一天开幕的汽车技术展“人与车科技展 2014”上, 展示了采用该树脂的碳纤维增强树脂基复合材料的成型品——汽车车顶。

新型基体树脂“Loctite MAX3”的特点是, 与环氧基体树脂相比, 可缩短树脂传递模塑(RTM)成型工艺的成型时间, 耐热性指标——玻璃化转变温度为125℃, 与环氧树脂相同, 延展率和韧性超过了环氧树脂, 拉伸弹性模量和拉伸强度与环氧树脂相同。

另外, Loctite MAX3树脂在高温下的黏度较低, 在RTM工艺的树脂注入工序中, 更容易渗入到纤维材料中。由于Loctite MAX3树脂本身的固化速度比环氧树脂快, 因此可以缩短向成型模具注入树脂到脱模的时间(脱模时间)。据

介绍, 此次展示的碳纤维增强树脂基复合材料车顶以高压RTM工艺成型时, 脱模时间为5.5 min, 缩短到采用环氧树脂时的1/5左右。(中国色母粒网)

奥升德推出 PA66 产品组合, 适用领域广泛

近日, PA66树脂和化学中间体生产商——奥升德高性能材料有限公司推出了创新型PA66产品组合, 可用于汽车、扎带、电气电子、工业纤维、纺织纤维及地毯纤维等多个领域。此次推出的新材料的耐热性、阻燃性和产品外观均有所改善, 且能帮助客户提高生产效率, 提供更宽的设计自由度。新产品组合具有良好的流动性、低杂质析出性, 同时材料黏度控制更严格, 适用于结构复杂、大规模量产的部件。如应用于全新汽车的改性Vydyne PA66, 具有良好的耐热性和耐水解性能, 适用于汽车动力系统和冷却系统等各类发动机部件; 一款全新Ultron Ombre PA66地毯纤维, 具有专有、独一无二的染色性能。(环球塑化)