

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.05.024

# 可降解聚乳酸/天然植物纤维复合材料的研究进展<sup>\*</sup>

张燕,李守海,黄坤,李梅,夏建陵

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所,江苏省生物质能源与材料重点实验室,国家林业局林产化学工程重点开放性实验室,生物质化学利用国家工程实验室,南京 210042)

**摘要:**从复合材料的植物纤维原材料类型、加工复合方式、增塑改性及增容改性等方面论述各种因素对可降解聚乳酸/天然植物纤维复合材料综合性能的影响,分析了该类型复合材料的研究现状,且着重介绍了增容改性的几种不同方式,并就此类型复合材料的发展趋势与前景进行展望。

**关键词:**天然植物纤维;聚乳酸;复合材料;增容改性;可生物降解

**中图分类号:**TQ317 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2012)05-0102-05

## Research Development of Polylactic Acid/Natural Vegetable Fiber Blend Composites

Zhang Yan, Li Shouhai, Huang Kun, Li Mei, Xia Jianling

(Institute of Chemical Industry of Forestry Products, CAF; Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province; National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization; Key and Lab. on Forest Chemical Engineering, SFA, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** The effects of several important factors such as raw material category of vegetable fiber, compounding methods, plastification modification and compatibilizing modification on the comprehensive properties of biodegradable polylactic acid (PLA)/natural vegetable fiber composites were summarized. And the research status of this new composites were analyzed. Several different compatibilizing modification were emphatically introduced. The development trends of blend composites in the future were also introduced briefly.

**Keywords:** natural vegetable fiber; polylactic acid; blend composites; compatibilizing modification; biodegradable

开发生物基完全生物降解塑料可缓解目前由于塑料制品带来的环境污染问题,而且可使塑料行业摆脱对石油资源的依赖,是真正减少塑料垃圾、保护生态平衡以及开辟新的塑料原料的重要途径。开发可生物降解的塑料制品来替代普遍使用的普通塑料制品曾经是20世纪90年代的研究热点,但由于当时降解塑料的高昂成本和技术问题,发展较为缓慢。近年来,随着原料生产和制品加工技术的进步,降解塑料尤其是生物可降解塑料重新受到关注,成为可持续发展的科研亮点。目前已开发了聚乳酸(PLA)、聚己内酯(PCL)<sup>[1]</sup>、聚酯丙烯酸酯(PEA)<sup>[2]</sup>、聚-β-羟基丁酸酯(PHB)<sup>[3]</sup>、聚丁二酸丁二醇酯(PBS)<sup>[4]</sup>等多种可完全生物降解塑料。PLA是一种能部分结晶的线性脂肪族热塑性聚酯,由于PLA具有优异的可生物降解性能,被认为是最具使用前景的脂肪族聚酯,现已广泛应用于医学领域:如手术缝合线、骨科固定材料、药物缓释和组织培养等。PLA及其单体无毒,且具有良好的生物相容性,能与许多聚合物形成热力学相容或部分相容的共混体系,但由于PLA价格居高不下,故很难得以普及使用。为降低使用成本,并确保体系的完全可降解性,将PLA与可再生的天然植物纤维复合制备出性价比高、完全环境友好的PLA/天然植物纤维复合材料,能有效提高材

料的综合性能,拓宽并提升其应用价值和领域。

### 1 复合材料用植物纤维原材料

天然植物纤维是一种纯天然的高分子材料,具有来源广泛、价格低廉、可再生、可生物降解等独特优点,在天然植物纤维与PLA制备的生物质复合材料中,常采用的天然植物纤维原材料主要有麻蕉、黄麻、大麻、亚麻、剑麻等麻类材料,以及木材、竹材、棉纤维、纸浆纤维、果壳纤维等。天然植物纤维原材料形态主要以纤维态或粉态为主,亦有采用织物形态的。

S.H.Lee等<sup>[5]</sup>以竹纤维为填充原料采用熔融捏合再热压的方法制备了PLA/竹纤维复合材料,当竹纤维质量分数为10%~50%时,复合材料的拉伸强度随着竹纤维添加量的增加而略微有所降低,但就整体而言,复合材料仍具有优异的力学性能。S.H.Li等<sup>[6]</sup>采用橡胶壳纤维填充PLA得到性能优异的果壳基可生物降解复合材料,研究发现大量橡胶壳纤维的填充使得PLA基体呈空间网络状分布,随橡胶壳

\*“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD32B03)

联系人:夏建陵,研究员,硕士生导师,主要从事天然资源化学利用的研究

收稿日期:2012-03-10

纤维含量的增加,基体的连接程度逐渐下降,所制备的复合材料的拉伸强度和弯曲强度亦略微有所降低。

A.K.Bledzki 等<sup>[7]</sup>采用一种复杂的共混捏合、挤出成型工艺制备出了马尼拉麻纤维增强 PLA 复合材料,当填充质量分数为 30% 的马尼拉麻纤维时,复合材料的拉伸、弯曲强度较纯 PLA 提高了近 20%,而弯曲弹性模量提高了近 1 倍,表明马尼拉麻纤维的添加使得复合材料的刚性和力学强度大大增强。S.Ochi<sup>[8]</sup>采用洋麻为原料制备了洋麻纤维单向增强 PLA 复合材料,随洋麻纤维含量的提高,复合材料的力学性能逐渐提高。N.Graupner 等<sup>[9]</sup>采用洋麻、大麻、棉花和里奥赛尔(Lyocell)纤维与 PLA 纤维经分梳辊混合纺织后,用多层叠加的层压方法经热压后制得复合材料,并研究了不同纤维组分和对比对复合材料性能的影响,研究发现,洋麻和大麻纤维复合材料的拉伸强度和弹性模量较高,而棉纤维复合材料的冲击性能最为优异。B.Bax 等<sup>[10]</sup>采用亚麻纤维与 PLA 复合,发现亚麻纤维质量分数为 30% 的复合材料的拉伸强度接近纯 PLA,但冲击强度较纯 PLA 降低约 30%。M.S.Huda 等<sup>[11]</sup>采用废报纸纤维为增强填充材料,采用双螺杆挤出共混的方法制备了 PLA/废报纸纤维复合材料,制备的复合材料较纯 PLA 相比,拉伸强度和弯曲强度均存在不同程度的提高。A.Gregorova 等<sup>[12]</sup>制备了西加云杉棉纸纤维增强 PLA 复合材料,并研究了不同树龄的棉纸纤维对复合材料力学性能的影响。研究发现成年云杉(大于 20 年)棉纸纤维复合材料具有最为优异的力学性能,压缩云杉(10~15 年)棉纸纤维次之,青年云杉(小于 10 年)棉纸纤维复合材料最差。

不同的植物纤维具有不同的特点,对复合材料的力学性能亦会产生不同的影响,植物纤维的树龄、含水量和形态等因素都会对复合材料的性能产生不同的影响。目前对植物纤维形态方面的研究较多,短切植物纤维在呈接近粉末状时,如短麻纤维、竹纤维、木粉、果壳纤维等与 PLA 制备的复合材料中的植物纤维在 PLA 基体中仅起到填充作用,且随着填充物含量的增加,其复合体系的力学性能一般呈逐渐下降趋势。当短纤维的长径比达到一定程度时,其均匀交织填充于 PLA 基体中,对复合材料的力学性能起到一定的增强作用。由于麻纤维具有强度高、长径比可控的优点,故而用天然麻类纤维与 PLA 复合制备生物基复合材料的研究很受关注,研究较多,目前采用天然纤维增强 PLA 复合材料已可用于汽车内饰及部件材料。

## 2 复合材料的加工方式

PLA/天然植物纤维复合材料制备所采用的复合方式有注塑法、共混挤出捏合法、热压法及层压法等。针对不同植物纤维可选用不同的复合加工方式,另一方面采用同种纤维

亦可选用不同的复合加工方式制备出性能不同的复合材料。短麻纤维、竹纤维、木粉、果壳纤维等短切植物纤维与 PLA 复合制备复合材料可选用多种方式,而一些长径比较大的麻纤维复合材料则主要采用热压法制备。

热压、层压法是制备复合材料的惯用方法,设备简单,譬如一些长纤维状的麻纤维与 PLA 复合多采用此种方法,此方法可制备出天然植物纤维增强 PLA 复合材料。S.Ochi<sup>[8]</sup>采用模压法制备了洋麻纤维单向增强 PLA 复合材料,纤维质量分数为 70% 的复合材料的拉伸强度高达 233 MPa,弯曲强度高达 254 MPa,与实验所用纯 PLA(纯 PLA 拉伸强度为 32.5 MPa,弯曲强度为 71.5 MPa)相比,力学性能明显提高。D.Plackett 等<sup>[13]</sup>用 PLA 薄膜与黄麻纤维毡采用层压的方式制备了增强复合材料,并研究了不同加工温度对复合材料拉伸强度的影响,研究发现,层压温度为 200 时,黄麻纤维质量分数为 40% 的复合材料的拉伸强度最佳,达到 100 MPa,较实验所用纯 PLA(拉伸强度为 55 MPa)相比提高近 1 倍。E.Zini 等<sup>[14]</sup>曾对层压法与共混捏合法制备的 PLA/亚麻复合材料进行研究,结果表明层压法制备的复合材料具有更优异的力学性能。

共混挤出捏合法是一种较为常见的加工方法,设备操作简单,譬如一些短纤维状或粉状的植物纤维与 PLA 复合多采用此种方法,设备生产制备效率较高。K.Oksman 等<sup>[15]</sup>采用双螺杆挤出法制备了亚麻纤维质量分数分别为 30% 和 40% 的 PLA/亚麻纤维复合材料,复合材料易于加工挤出、注塑,且具有优异的力学性能,当亚麻纤维质量分数为 30%、40% 时,其拉伸强度可分别达到 53 MPa、44 MPa,由此可见,PLA/亚麻纤维复合材料的拉伸性能通常随纤维添加量的增加而有所降低。有研究表明<sup>[16-17]</sup>,PLA 在经过注塑成型或挤出成型后,特别是双螺杆挤出后,PLA 的分子量会大幅下降,单次加工过程分子质量下降率可能达到 40%。但还有研究认为<sup>[18]</sup>,在 PLA 注塑成型前后,PLA 分子质量基本没有发生太多改变。

由此可见,成型加工工艺对于材料的性能影响很大,特别是在天然植物纤维与 PLA 的复合工艺过程中,复杂的天然植物纤维小分子可能会对 PLA 的分子质量变化产生较为复杂的影响,另外天然植物纤维游离出的物质亦会对复合材料的性能产生一定的影响。不同的制备工艺存在诸多优缺点,注塑法、共混挤出捏合法设备虽然高昂,但生产效率较高,可适合工业化应用。热压、层压法设备简单,易操作,可制备出特殊用途的单向或多向增强复合材料,但其生产效率较低的缺点限制了该法的长足发展。在实际生产中可针对不同类型的天然植物纤维选择不同的制备工艺,另一方面亦可针对复合材料的不同需求而选择不同的制备工艺。

### 3 复合材料的改性方式

较聚烯烃相比而言,PLA 与天然植物纤维具有良好的生物相容性,相关研究已证实这一结论,V.L.Finkenstadt 等<sup>[19]</sup>发现 PLA/糖用甜菜渣(SBP)复合材料的力学性能的实测值与复合材料不同配比的 Nicolais-Narkis 修正方程的预测值相比存在一定程度的提高,表明 SBP 与基体 PLA 两相之间存在一定的界面粘结性。虽然天然植物纤维与 PLA 之间存在一定的相容性,但为获得性能更为优异的复合材料,仍然要对复合材料进行进一步改性。

#### 3.1 增塑改性

PLA/天然植物纤维复合材料的基体材料 PLA 是一种刚性较强的材料,在遇到强力作用时,材料缺乏韧性容易断裂,特别是在加入天然植物纤维后,复合材料的刚性更为增强,大大限制了该类复合材料的应用。科研工作者为此开展了众多研究,增塑改性是扩展该类型复合材料应用领域的常用方法。

K.Oksman 等<sup>[15]</sup>向 PLA/亚麻纤维复合材料中加入一定量的增塑剂(质量分数为 5%~15%),如醋酸甘油酯、三醋酸甘油酯等,研究发现增塑剂的添加对复合材料的力学性能无任何增强效果,并存在一定程度上的减弱,但复合材料的韧性明显改善,该复合材料可用于制造汽车面板。V.L.Finkenstadt 等<sup>[20]</sup>向 PLA/SBP 复合材料中加入甘油、山梨醇作为增塑剂(质量分数为 10%~40%),复合材料的拉伸强度虽然有所降低,但断裂伸长率明显提高,增塑效果较为明显;甘油较山梨醇更适合作为复合体系的增塑剂,当添加相当于 SBP 质量 40% 的甘油时,复合材料中 SBP 与 PLA 形成均匀连续相,该复合材料可用于制造包装、容器和轻型建筑材料。R.Masirek 等<sup>[21]</sup>采用聚乙二醇(PEG)-600 作为 PLA/大麻纤维复合材料的增塑剂,PEG 的添加并未明显改变复合材料的力学性能,明显降低了材料的玻璃化转变温度和熔融温度,PEG 对 PLA 基体具有较好的增塑效果。R.M.Taib 等<sup>[22]</sup>亦采用 PEG 作为 PLA/洋麻纤维复合材料的增塑改性剂,复合材料的力学性能的明显改善,基体的断裂伸长率亦有所提高,基体的玻璃化转变温度从 63 降至 40,表明 PEG 对复合体系具有优良的增塑效果。

增塑剂的添加降低了 PLA 基体材料的刚性,其力学强度和玻璃化转变温度亦会随之降低,复合材料的使用范围亦会随之扩大,但总体而言,对复合材料增塑改性的相关研究仍显不足,PLA/天然植物纤维复合材料的增塑改性研究仍需进一步加强。

#### 3.2 增容改性

在 PLA/天然植物纤维复合材料中,PLA 是连续基体,而通常的短切天然植物纤维常在共混体系内作为填充材料,

可提高复合材料的模量,却使拉伸强度、断裂伸长率和韧性降低。目前,改进复合材料相容性的方法通常有两种:一是对天然植物纤维进行表面改性;二是引入第三相界面增容剂。

#### (1) 对天然植物纤维的处理

由于天然植物纤维具有一定的吸湿和吸水性,此缺陷会大大影响复合材料的使用范围和使用耐久度,故而对天然植物纤维进行疏水改性显得尤为重要。K.M.Almgren 等<sup>[23]</sup>采用漂白的桦树牛皮纸纤维作为填充材料,制备了 PLA/桦树牛皮纸纤维复合材料,并采用丁烷四羧酸(BTCA)改性桦树牛皮纸纤维,提高复合材料的耐湿耐水性。当牛皮纸纤维质量分数为 70% 时,改性后的复合材料的吸湿膨胀率大大下降,吸湿膨胀率从 30% 下降至 10% 以下,吸湿率亦从 70% 下降至 15%。S.H.Lee 等<sup>[24]</sup>采用马来酸酐酯化处理竹纤维后,所制备的 PLA/马来酸酐酯化竹纤维复合材料的疏水性明显改善,另外马来酸酐酯化竹纤维对复合材料基体 PLA 的熔点及结晶温度产生一定的影响,偏光显微镜分析表明,复合材料中 PLA 的晶核尺寸随着马来酸酐酯化竹纤维的加入而变小。

M.Shibata 等<sup>[25]</sup>对短马尼拉麻纤维分别利用乙酸酐、丁酸酐、碱和丙烯酸进行处理后,采用双螺杆挤出法制备了 PLA/马尼拉麻纤维复合材料,研究表明,采用乙酸酐和丙烯酸处理后,麻纤维的拉伸性能明显下降,但复合材料的弯曲强度均存在不同程度的提高,相比较而言,采用丁酸酐处理后,复合材料的综合性能最为优异。

M.S.Islam 等<sup>[26]</sup>采用大麻纤维与 PLA 纤维复合,编制成席,热压成型制得复合材料,在紫外光、50 水条件下进行加速老化实验,发现麻纤维经过碱液处理后所制备的复合材料的耐老化性能和力学性能明显提高。B.H.Lee 等<sup>[27]</sup>采用梳理机编制洋麻纤维成纤维网,采用  $\gamma$ -环氧丙基醚丙基三甲氧基硅烷(GPMS)偶联剂处理后加入 PLA 热压成型,制得的洋麻纤维网增强 PLA 复合材料具有优异的力学性能。S.Pilla 等<sup>[17]</sup>研究亦发现,将木质纤维经过硅烷偶联剂改性后,所制备的 PLA/木质纤维复合材料的断裂韧性与纯 PLA 相比存在明显的下降,但复合材料具有与纯 PLA 相当的拉伸性能。

R.A.Shanks 等<sup>[28]</sup>首先用 NaOH 和丙酮萃取去除亚麻纤维中的木质素、胶质和蜡质,而后采用丙烯酸丁酯、丙烯酸 2-乙基己酯、甲基丙烯酸甲酯单体浸渍处理后的亚麻纤维,采用偶氮二异丁腈(AIBN)作为引发剂,在一定温度下对其进行聚合。选用氯仿作为溶剂,将 PLA 和处理后的亚麻纤维溶解后,充分混合均匀,而后蒸干溶剂,将其粉碎后热压成型制得内部聚合改性 PLA/亚麻纤维复合材料,研究发

现该处理方法可明显提高亚麻纤维与 PLA 的相容性和复合材料的疏水性。

从诸多研究可以看出,目前针对天然植物纤维的处理方式主要有碱液处理、酯化处理、偶联处理和内聚处理等几种处理方式,几种方式均能不同程度地提高复合材料两相之间的相容性和材料的疏水性。对天然植物纤维进行表面改性后,引入了相容性基团,一方面促进 PLA 和天然植物纤维两相间的界面粘合力,另一方面,天然植物纤维表面的亲水性基团减少,从而提高复合材料的疏水性。

## (2) 引入增容剂

在天然植物纤维和 PLA 的复合体系中引入第三相界面增容剂,可减少两相之间的界面能量,促进扩散,提高 PLA 和天然植物纤维两相间的界面粘合力。科研工作者为此开展了众多研究。

M.Takatani 等<sup>[29]</sup>采用乙酸纤维素、丙酸纤维素、丁酸纤维素、戊酸纤维素、己酸纤维素、月桂酸纤维素等作为增容剂,采用亨舍尔混合机在 180 ~ 1500 r/min 条件下制备了 PLA/木粉复合材料,研究发现,采用乙酸纤维素(取代度为 2.4)作为复合材料的增容剂,在添加量为复合材料质量的 6% 时(原复合材料中 PLA 和木粉的质量比为 80/20)最有利于提高复合体系的静曲强度和弹性模量。N.Graupne<sup>[30]</sup>采用模压法以木质素作为 PLA/棉纤维复合材料的增容剂,与纯 PLA 相比,复合材料的拉伸性能提高 9%,弹性模量提高 19%,接近洋麻纤维增强 PLA 复合材料的拉伸性能。

S.H.Lee 等<sup>[5]</sup>在制备 PLA/竹纤维复合材料时加入了赖氨酸二异氰酸酯(LDI)作为增容剂,LDI 的添加可明显改善复合材料两相之间的界面粘结性能,且随 LDI 添加量的增加,基体材料的结晶温度逐渐上升,而结晶焓则呈逐渐下降的趋势。A.Gregorova 等<sup>[12]</sup>采用乙烯基三甲氧基硅烷(VTMO)处理西加云杉棉纸纤维,并添加复合材料质量 0.25% 的二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)改性复合材料,制备了云杉棉纸纤维增强 PLA 复合材料,其热性能和拉伸性能得以提高。E.Petinakis 等<sup>[31]</sup>采用 MDI 作为 PLA/木粉复合材料的增容剂,MDI 添加量为木粉添加量的 1% 时,有助于提高复合体系的拉伸强度、冲击强度和弹性模量,MDI 的加入改善了木粉和 PLA 的界面相容性。

M.Garcia 等<sup>[32]</sup>采用聚乳酸接枝马来酸酐(PLA-g-MAH)作为大米壳、洋麻增强 PLA 复合材料的增容剂,当 PLA-g-MAH 在复合材料中的质量分数为 5% 时,与未添加增容剂的复合材料相比较,其冲击性能明显提高。M.Avella 等<sup>[33]</sup>亦采用 PLA-g-MAH 作为 PLA/洋麻纤维复合材料的增容剂,当复合体系中加入质量分数为 5% 的 PLA-g-MAH 时,复合材料的冲击强度和弯曲强度均大幅提高,尤其当

洋麻质量分数为 30% 时,复合材料的冲击强度从与未添加增容剂时的 2.24 kJ/m<sup>2</sup> 提高至 3.46 kJ/m<sup>2</sup>,弯曲强度从 36.7 MPa 提高至 46.7 MPa。

研究表明,PLA 接枝马来酸酐和二异氰酸酯是 PLA/天然植物纤维复合材料的较为合适的增容剂,可明显降低复合材料中两相之间的界面能量,促进两相之间的界面扩散效果,提高 PLA 和天然植物纤维两相间的界面粘合力。

## 4 共混复合体系的降解性能

PLA/天然植物纤维复合材料中两相均采用可生物降解材料,不同类型的 PLA 的降解性能亦略微有所差异,植物纤维中存在许多较复杂的组分,且富含羟基等亲水性极性基团,故而不同类型的植物纤维对复合材料降解性能影响的相关研究一直很受关注。S.Ochi<sup>[8]</sup>对制备的单向洋麻纤维增强 PLA 复合材料经堆肥降解实验测试后,发现复合材料具有优异的降解性能,4 周后降解失重率可达 38%。N.Teramoto 等<sup>[34]</sup>研究了质量分数为 10% 的马尼拉麻增强 PLA 复合材料,并对其进行了土埋降解实验,短时间内其降解失重率可达 10%。S.H.Lee 等<sup>[5]</sup>对 PLA/竹纤维复合材料进行酶解降解实验,发现复合材料在短时间内完全分解,具有优异的生物可降解性能。另外,复合材料中 PLA 基体是易水解的,且 PLA 的水解能力与所处温度及水分环境有关,有研究表明<sup>[35]</sup>,随着 PLA 所处环境湿度的增加,PLA 的降解率明显增加。故而在生物质复合材料制备过程中,复合材料中水分含量的高低是否会对 PLA 降解速率产生一定的影响值得研究。

## 5 结语

近年来,PLA/天然植物纤维复合材料已得到迅速发展,该类型复合材料具有优异的力学性能、耐水性能、热稳定性及生物降解性等综合性能,是一种极具发展潜力的新型绿色环保复合材料。随着相关研究的不断深入及生产技术的不断改进,此种复合材料可作为石油基塑料材料的替代产品,广泛应用于各个领域。目前,PLA/天然植物纤维产品尚不成熟,今后的工作应主要集中在进一步探索高效、环保的增塑和增容方法,以及优化加工工艺条件等几个方面。随着研究的深入和技术的成熟,PLA/天然植物纤维复合材料的应用前景将会十分光明。

## 参考文献

- [1] Wang S G, et al. *Polymers for Advanced Technologies*. 1999, 10 : 282-286.
- [2] He Y, et al. *Colloid & Polymer Science*. 2004, 282 : 972-978.
- [3] Gonçalves S P C, et al. *Journal of Polymers and the Environment*, 2009, 17 : 280-285.
- [4] Fujimaki T. *Polymer Degradation and Stability*, 1998, 59 (1) : 209-214.

- [5] Lee S H , et al. Composites Part A : Applied Science and Manufacturing. 2006 , 37 ( 1 ) : 80-91.
- [6] Li S H , et al. Journal of Polymer and Environment . 2011 , 19 ( 1 ) : 301-311.
- [7] Bledzki A K , et al. Composites Part A : Applied Science and Manufacturing . 2009 , 40 ( 4 ) : 404-412
- [8] Ochi S. Mechanics of Materials . 2008 , 40 ( 4-5 ) : 446-452.
- [9] Graupner N , et al. Composites Part A : Applied Science and Manufacturing . 2009 , 40 ( 6-7 ) : 810-821.
- [10] Bax B , et al. Composites Science and Technology . 2008 , 68 ( 7-8 ) : 1601-1607.
- [11] Huda M S , et al. Science and Technology . 2006 , 66 ( 11-12 ) : 1813-1824.
- [12] Gregorova A , et al. Journal of applied polymer science . 2009 , 114 ( 5 ) : 2616-2623.
- [13] Plackett D , et al. Composites Science and Technology . 2003 , 63 ( 9 ) : 1287-1296.
- [14] Zini E , et al. Macromolecular Bioscience . 2004 ( 4 ) : 286-295 .
- [15] Oksman K , et al. Composites Science and Technology . 2003 , 63 ( 9 ) : 1317-1324.
- [16] Perego G , et al. Journal of Applied Polymer Science . 1996 , 59 : 37-43 .
- [17] Pilla S , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2009 , 111 ( 1 ) : 37-47
- [18] Garlotta D. Journal of Polymers and the Environment . 2001 , 9 ( 2 ) : 63-84 .
- [19] Finkenstadt V L , et al. Journal of Polymers and the Environment , 2007 , 15 ( 1 ) : 1-6.
- [20] Finkenstadt V L , et al. Journal of Polymers and the Environment , 2008 , 16 ( 1 ) : 19-26.
- [21] Masirek R , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2007 , 105 ( 1 ) : 255-268.
- [22] Taib R M , et al. Polymer Composites . 2010 , 31 ( 7 ) : 1213-1222.
- [23] Almgren K M , et al. Polymer Composites . 2009 , 30 ( 12 ) : 1809-1816
- [24] Lee S H , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2003 , 90 : 1900-1905.
- [25] Shibata M , et al. Macromolecular Materials and Engineering , 2003 , 288 ( 1 ) : 35-43.
- [26] Islam M S , et al. Polymer Degradation and Stability . 2010 , 95 ( 1 ) : 59-65.
- [27] Lee B H , et al. Composites Science and Technology . 2009 , 69 ( 15-16 ) : 2573-2579.
- [28] Shanks R A , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2006 , 101 ( 6 ) : 2305-2313.
- [29] Takatani M , et al. Journal of Wood Science . 2008 , 54 ( 1 ) : 54-61.
- [30] Graupner N. Journal of Materials Science . 2008 , 43 ( 15 ) : 5222-5229.
- [31] Petinakis E , et al. Micro-Composites . 2009 , 17 ( 2 ) : 83-94.
- [32] Garcia M , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2008 , 107 ( 5 ) : 2994-3004.
- [33] Avella M , et al. Journal of Applied Polymer Science . 2008 , 108 ( 6 ) : 3542-3551.
- [34] Teramoto N , et al. Polymer Degradation and Stability . 2004 , 86 ( 3 ) : 401-409.
- [35] Li S M , et al. Biomaterials . 1999 , 20 ( 1 ) : 35-44 .

### 中国直升机采用赢创材料完成高寒试飞

中航工业直升机公司近日携手赢创工业集团,在其首架自主研发的大型民用直升机 AC313 上采用了来自赢创的 ROHACELL® 材料,并于今年年初在高寒地区圆满完成试飞任务,从而验证了该材料在极地地区温度下的出色性能。AC313 是首架获得中国民航局颁发 4500 m 海拔地区适航证的中国制造飞机。

AC313 直升机的桨叶需要承受巨大的机械应力,凭借赢创先进的高性能复合材料——ROHACELL® 夹层结构硬质泡沫芯材,可以令直升机桨叶满足这些严苛要求。此外,ROHACELL® 材料还具有出色的压缩性能,即使处于长期动力载荷条件下,也能保持优异的剪切强度。

ROHACELL® 材料已经被证明是航空领域纤维增强复合材料部件的理想泡沫芯材。其应用领域非常广泛,从机翼小翼到货舱门、起落架舱门、后压力框、发动机短舱,再到客舱小桌板等。减轻飞机重量还可以节省燃料,进而减少二氧化碳排放。

ROHACELL® 材料来自于赢创的功能聚合物事业部。近年来,鉴于对航空航天领域客户不断变化的技术要求的了

解,赢创不断扩大先进、耐久材料的产品组合,针对飞机的各类内外部件,着重开发有助于减轻飞机重量、提高抗冲击性、节省燃料、提升设计自由度,并能同时保证飞机可靠性与安全性的创新型材料。(慧聪网)

### 国内首套共聚醚醚酮高分子材料装置开车

3 月上旬,由天科股份进行工程放大设计、年产 1000 t 共聚醚醚酮(CoPEEK)首套工业化示范装置在辽宁盘锦中润有限公司全线打通流程,生产出合格产品,其各项技术指标达到欧美国家同等水平。目前,装置运行稳定并达到其生产能力。

CoPEEK 树脂是一种新型工程塑料,属线性芳香高分子化合物,在特种工程塑料中的综合性能最为优异。它具有耐热等级高、耐辐照、耐腐蚀、耐疲劳、强度高、耐磨性能好等特性。主要用于制造电线、电缆绝缘材料等电子电气、活塞环、检测传感器等精密仪器仪表、飞机结构材料和飞机零部件等,在医疗、涂料等其他行业也有着广泛的用途。

CoPEEK 合成专利技术是国家“863”计划重点攻关课题之一,其工业化成果将创造更多更好的社会效益和经济效益。(慧聪网)