

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.10.022

促进剂对中温固化 EP 及其预浸料室温贮存稳定性的影响

王伟¹,左小彪¹,胡宏林¹,孙福瑞¹,冯志海¹,范宇²

(1. 航天材料及工艺研究所先进功能复合材料重点实验室,北京 100076; 2. 中国运载火箭技术研究院,北京 100076)

摘要:通过差热扫描量热、傅里叶变换红外光谱、黏度、凝胶时间、树脂流动度和力学性能测试等方法研究了苯基-二甲脲(Urea-2)和 1,1-二甲基-3-苯基脲(PDU)两种商品化促进剂对采用双氰胺作为固化剂的环氧树脂(EP)固化体系及其预浸料在室温环境贮存过程中的稳定性的影响。结果表明,采用 Urea-2 作促进剂的 EP 固化体系室温反应活性较高,随贮存期的延长明显发生固化反应,其预浸料在室温下贮存 10 d 后的物理性能不稳定,由其所制备的层压板力学性能出现了较大幅度的下降,不能满足标准 BMS 8-79 的使用要求。采用 PDU 作促进剂的 EP 固化体系在室温下贮存 30 d 后其各项性能均无明显变化,相应的预浸料在室温贮存 10 d 后物理性能较为稳定、工艺使用性能保持较好,由其制备的层压板力学性能仅略有下降,完全满足 BMS 8-79 的使用要求,表明促进剂 PDU 的潜伏性好,更适合用于所研究的中温固化 EP 体系。

关键词:促进剂;环氧树脂;预浸料;贮存稳定性;反应活性

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)10-0107-06

Effects of Accelerators on Storage Stability of Moderate Temperature-Cured Epoxy Resin and Prepreg at Room Temperature

Wang Wei¹, Zuo Xiaobiao¹, Hu Honglin¹, Sun Furui¹, Feng Zhihai¹, Fan Yu²

(1. Science and Technology on Advanced Functional Composites Laboratory, Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076, China; 2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract : Effects of two commodity accelerators including phenyl-dimethylurea (Urea-2) and 1,1-dimethyl-3-phenylurea (PDU) on the storage stability of epoxy curing systems with the curing agent of dicyandiamide and the respective prepreg at room temperature were studied by DSC, FTIR, viscosity, gel time, mechanical properties, and etc. The results show that the reactivity of epoxy curing system using Urea-2 as accelerator at room temperature is high enough to induce the obvious curing reaction with storage duration, the physical performances of its prepreg are also unstable after 10 d storage at room temperature, so the mechanical properties of the prepared laminate great decrease and can't meet the using requirements of the standard BMS 8-79. There are no significant variations for the properties of epoxy curing system with PDU as accelerator after 30 d storage at room temperature, the physical and processing properties of the respective prepreg also show good performance after 10 d storage at room temperature, so the mechanical properties of the prepared laminate only decrease slightly and meet the using requirements of BMS 8-79 completely, which indicates the accelerator PDU has good latency and is more suitable for the studied moderate temperature-cured epoxy resin system.

Keywords : accelerator ; epoxy resin ; prepreg ; storage stability ; reactivity

环氧树脂(EP)是一种具有优异性能的热固性树脂,目前已经被广泛制造成预浸料及相应的复合材料应用于航天、航空等领域^[1-3]。在 EP 预浸料的实际使用中,不仅要关注树脂基体的韧性、阻燃性、介电性能等对成型后复合材料性能的影响,还应考虑材料制造和使用低成本化对树脂固化、贮存等特性方面的要求^[4-6]。例如,波音材料标准 BMS 8-79 规定了一种能在低温或中温条件下固化的用于飞机客舱内饰构件制造的玻璃纤维(GF)增强 EP 预

浸料,要求其在室温环境($24 \pm 3^\circ\text{C}$)下放置 240 h (10 d)后还能正常使用。预浸料的长时间贮存要求决定了所用树脂需要在室温下具有较长的稳定性,这与低的固化温度要求是相矛盾的^[7]。制备 EP 预浸料的过程中,在向树脂添加固化剂的同时还应添加促进剂,其在降低树脂最终固化温度的同时,还可以起到快速热烘预固化的作用^[8]。因此,在使用潜

联系人:王伟,博士,高工,主要研究方向为树脂基功能复合材料
收稿日期:2015-08-07

伏型固化剂以延长 EP 及其预浸料室温贮存期的同时^[7,9],选择同样具有潜伏特性的促进剂是降低体系固化温度并持续保持其贮存稳定性的关键^[4,8,10]。

笔者采用具有较长室温贮存期的双氰胺(Dicy)作为固化剂,由于 Dicy 体系的固化温度很高,一般为 150~170℃,故选取了苯基-二甲脲(Urea-2)和 1,1-二甲基-3-苯基脲(PDU)两种商品化的脲类促进剂,分别制备了两种中温固化 EP,并采用溶液法制备了 GF 预浸料。Urea-2 和 PDU 是两种典型的中温促进剂,常被用来与 Dicy 搭配应用于 EP,以使树脂在中温条件下快速固化,但是,有关上述两种促进剂在 EP 中的潜伏性及其对树脂贮存稳定性的影响还没有较多公开的研究文献^[7-10]。为此,笔者对所制备的两种不同树脂及其固化物和相应的预浸料进行固化反应、黏度、凝胶时间、力学性能等特性的测试与分析,考察了这两种促进剂对 EP 和预浸料在室温条件下的贮存稳定性的影响,以选择出具有更优潜伏性的促进剂,从而保证所采用的中温固化 EP 体系的室温稳定性,延长其预浸料的室温使用寿命。

1 实验部分

1.1 原材料

EP:E-44,大连齐化化工有限公司;

改性 A 型 EP:自制;

溴化物复合配方阻燃剂:中国科学院化学研究所;

Dicy、丙酮、丁酮和 *N,N*-二甲基酰胺(DMF):北京化学试剂公司;

Urea-2:OMICURE U-405M,上海德项贸易有限公司;

PDU:Dyhard UR 300,北京京益精化工有限公司;

无碱 GF 布:EW250F-120,中材科技股份有限公司。

1.2 主要仪器及设备

真空干燥箱:ZK025C 型,重庆灏源环境实验设备有限公司;

热压罐:中国航空工业规划设计研究院;

黏度仪:Bookfield DV-3 型,美国博勒飞公司;

差示扫描量热(DSC)仪:Perkin-Elmer7 型,美国珀金埃尔默公司;

马弗炉: SX2-4-10 型,上海东星建材试验有限公司;

手动热压机:300 型,威海宏程机电设备有限公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:Perkin-Elmer782 型,美国珀金埃尔默公司;

电子拉力试验机:SinTech 65/G 型,美国 MTS 系统公司。

1.3 试样制备

(1) 阻燃 EP 固化体系制备。

在 100 L 的反应釜中按一定配比依次加入 E-44,改性 A 型 EP、溴化物复合配方阻燃剂和丙酮,并开启搅拌,搅拌速度为 200 r/min,室温搅拌 2.5~3 h,制得乳白色的 EP 胶液,待用;在 10 L 的三口瓶中加入一定量的 Dicy 和 DMF,通入氮气后,开启搅拌,搅拌速度为 30 r/min,体系温度控制在 110~120℃,搅拌时间约 1 h,待三口瓶中的固体颗粒完全溶解后,降温至 50℃左右得到无色透明的 Dicy 溶液;将制得的 Dicy 溶液缓慢加入到上述的 EP 胶液中进行搅拌混合,搅拌时间约 1 h,搅拌速度为 30 r/min,控制体系的温度低于 40℃,然后向混合物中分别加入一定量的 Urea-2 和 PDU,继续搅拌约 1 h,得到了两种阻燃 EP 固化体系,分别记为 Ef-a 和 Ef-b;将这两种固化体系立即密封置于 24±3℃环境中贮存 30 d,所得到的固化体系分别记为 Ef-a# 和 Ef-b#。

(2) 固化物制备。

将 Ef-a, Ef-b, Ef-a#, Ef-b# 倒入模具并放入真空干燥箱中,70℃抽真空 1 h 以上进行脱泡,然后升温至 130℃固化 1.5 h,自然冷却后脱模,得到的固化物分别记为 Ep-a, Ep-b, Ep-a#, Ep-b#,然后放置在干燥箱中备用。

(3) 预浸料制备。

采用溶液预浸渍工艺,通过自制的浸胶机进行制备。要求在(1)中两种阻燃 EP 固化体系制备完成后的 24 h 内进行预浸料的制备,将制备的 Ef-a 和 Ef-b 预浸料分别记为 Pr-a 和 Pr-b。制备好的预浸料其挥发分含量应低于 1.5%,树脂固化物含量应在 38%±2% 范围内。将制备的 Pr-a 和 Pr-b 立即进行密封包装,并置于 24±3℃环境下贮存 10 d,所得到的预浸料分别记为 Pr-a10 和 Pr-b10。

作为对比,对 Ef-a# 和 Ef-b# 也进行了相应的预浸料制备。发现采用 Ef-a# 制备的预浸料中纤维浸胶很不均匀,表面树脂干硬已无法正常使用;采用 Ef-b# 制备的预浸料与 Pr-b 基本一致。由于上述两

种预浸料的状态相差太大,故未对着两种预浸料做相关深入研究。

(4) 层压板制备。

采用真空袋热压罐工艺进行预浸料层压板制备,铺层方案为 10 层预浸料,固化条件为 $130 \pm 5^\circ\text{C}$ 固化 1.5 h,压力 0.3 MPa,升温速率 $1 \sim 2^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

1.4 测试与表征

采用 DSC 仪在氮气气氛下对 EP 固化体系及其固化物进行热学分析,升温速率 $5^\circ\text{C}/\text{min}$;

采用黏度仪对脱溶剂后的 EP 固化体系以及预浸料中的预固化树脂进行黏度测试,转速 6 r/s,升温速率 $5^\circ\text{C}/\text{min}$;

树脂固化体系的凝胶时间按 GB/T 12007.7-1989 测试;

按照 BMS 8-79 所述方法采用真空干燥箱测试预浸料挥发分,采用马弗炉测试预浸料树脂含量,采用手动热压机分别测试预浸料凝胶时间和树脂流动度;

采用 FTIR 仪对预浸料中的树脂进行分析;

固化物和织物经纱方向层压板的拉伸、压缩和弯曲性能分别按 ASTM D638-2014, ASTM D695-2010 和 ASTM D790-2010 测试;

织物经纱方向层压板的层间剪切性能按 ASTM D3846-2008 测试,测试速率 5 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 EP 固化体系的固化反应

图 1 为 Ef-a, Ef-b, Ef-a# 和 Ef-b# 的 DSC 固化特征曲线。

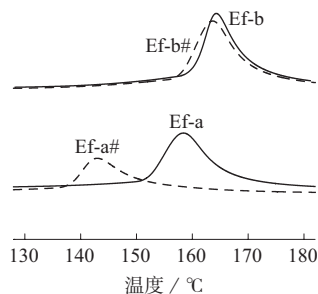


图 1 Ef-a, Ef-b, Ef-a# 和 Ef-b# 的 DSC 固化曲线

从图 1 可以看出, Ef-a 的固化特征温度略低于 Ef-b, 后者的放热峰略显尖锐, 表明两种固化体系的反应活性大体相近, 前者的潜在反应趋势更强一些^[11]。在室温贮存 30 d 后, Ef-a# 的固化起始温度、峰值温度和结束温度由 Ef-a 的 151.6, 158.5, 174.1 $^\circ\text{C}$ 分别降低为 131.8, 143.1, 159.7 $^\circ\text{C}$, 降幅均超过 14 $^\circ\text{C}$, 并且放热峰形状变得平缓许多, 对应的焓

值降低 10% 以上, 预示着随着贮存时间的延长, 树脂与部分固化剂发生了反应。Ef-b# 相应的固化特征温度为 154.7, 161.6, 172.2 $^\circ\text{C}$, 与贮存前 Ef-b 相应的固化特征温度 (155.2, 162.8, 174.7 $^\circ\text{C}$) 相比仅略有下降, 放热峰的形状和大小也无明显变化, 表明该固化体系的反应活性较低、表现稳定。

2.2 EP 固化体系及其固化物的性能

图 2 和图 3 分别是 Ef-a 和 Ef-b 的黏度和凝胶时间随贮存时间的变化趋势。从图 2 可以看出, 刚制备完成时的 Ef-a 黏度与 Ef-b 基本相近, 前者略高于后者, 随着贮存时间的延长, Ef-a 的黏度升高剧烈, 其贮存 30 d 后的体系黏度是刚制备完成时的近 4 倍, 而 Ef-b 的黏度变化较稳定, 在完成 30 d 的贮存后, 其黏度基本保持不变。从图 3 可以看出, 两种固化体系的凝胶时间在贮存开始时相差不大; 随着贮存时间的延长, Ef-a 的凝胶时间大幅降低, 其贮存 30 d 后的凝胶时间仅 120 s 左右, 为开始值 380 s 的 1/3 不到, Ef-b 树脂的凝胶时间在贮存期内没有发生较大变化, 其贮存 30 d 内的降幅在 5% 以内。上述结果均表明, 采用 Urea-2 作促进剂的 Ef-a 反应活性过高, 其随贮存时间延长不断发生固化反应, 室温条件下贮存稳定性不佳; 采用 PDU 作促进剂的 Ef-b 反应活性较为稳定, 在较长的室温贮存期内其固化反应特征温度、黏度及凝胶时间均基本保持不变。

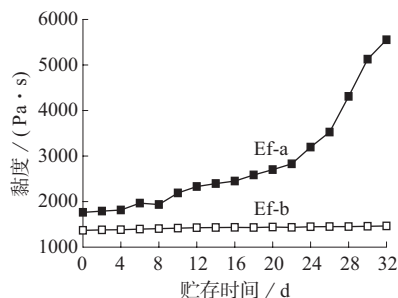


图 2 Ef-a 和 Ef-b 的黏度随贮存时间的变化

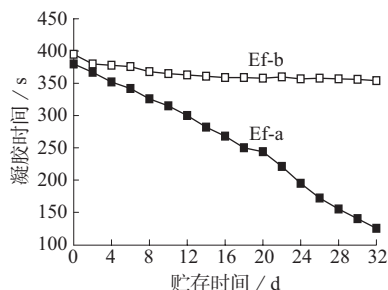


图 3 Ef-a 和 Ef-b 的凝胶时间随贮存时间的变化

进一步对 Ef-a 和 Ef-b 以及室温贮存 30 d 后的 Ef-a# 和 Ef-b# 在 130 $^\circ\text{C}$ 固化 1.5 h 所得的固化

物 Ep-a, Ep-b, Ep-a# 和 Ep-b# 分别进行了力学性能测试,结果如表 1 所示。从表 1 可以看出, Ep-a# 的拉伸、压缩和弯曲性能较 Ep-a 均有较大的降幅,而 Ef-b# 的拉伸、压缩和弯曲强度与 Ef-b 相比仅略有下降,模量和断裂伸长率总体上基本没有变化。这表明促进剂对于 EP 反应活性的改变及固化体系室温长期贮存后相应固化物的力学性能均有较大影响,采用 Urea-2 作促进剂的固化体系反应活性较高,故贮存 30 d 后,其相应固化物的力学性能会出现大幅下降。

表 1 Ep-a, Ep-b, Ep-a# 和 Ep-b# 的力学性能

项 目	Ep-a	Ep-b	Ep-a#	Ep-b#
拉伸强度 / MPa	81	83	70	80
拉伸弹性模量 / GPa	2.3	2.6	1.9	2.5
断裂伸长率 / %	6.3	4.9	5.1	5.0
压缩强度 / MPa	69	72	61	71
压缩弹性模量 / GPa	2.2	2.4	1.9	2.4
弯曲强度 / MPa	122	129	105	123
弯曲弹性模量 / GPa	3.4	3.2	2.9	3.0

2.3 预浸料的性能

由于复合材料工件制造的实际工艺要求,预浸料在室温放置一定的时间段内仍需保持其合格的使用性,即工作寿命要长。通常预浸料的工作寿命应不低于 10 d。溶液法预浸料中的树脂是经一定温度烘干预固化处理的,因此,在室温贮存的过程中,预浸料部分物理性能、工艺性能及其成型固化后的力学性能也会呈现一定程度的变化。

(1) 预浸料物理性能随贮存时间的变化趋势。

图 4 是采用 Ef-a 和 Ef-b 所制备的 Pr-a 和 Pr-b 两种预浸料中所含预固化树脂的黏度随测试时间的变化趋势。

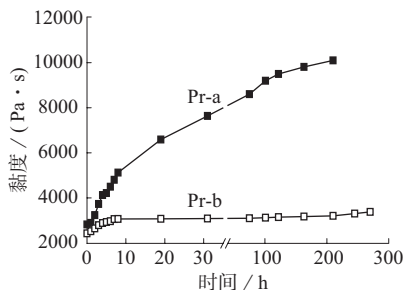


图 4 Pr-a 和 Pr-b 中树脂黏度随时间的变化

由图 4 可以看出,原始状态树脂在经过热烘处理后发生了一定程度的预聚反应,两种树脂黏度均有 1000 Pa·s 左右的升高。随着测试时间的延长,两种预固化树脂的黏度均显著升高。在前 8 h 内, Pr-a 中树脂的黏度由初始的 2819 Pa·s (0 h) 急速升高到 5118 Pa·s (8 h),升高幅度达 80% 以上;

而 Pr-b 中树脂相应的黏度则由 2424 Pa·s 升高到 3066 Pa·s,仅升高 20% 多。测试 8 h 后,前者黏度值高于后者 2000 Pa·s 以上,升幅达到后者的近 4 倍左右。8 h 以后 Pr-a 中树脂的黏度仍继续升高,但幅度有所降低,到 210 h 时达到其测试的最高值为 10100 Pa·s,相比 8 h 时的黏度升高了近 1 倍; Pr-b 中树脂的黏度随时间基本保持不变,到 210 h 时只达到了 3210 Pa·s。在此之后,由于 Pr-a 中树脂过黏以及仪器的自身能力无法达到要求,测试终止,其已基本接近于固化树脂的黏度状态,而 Pr-b 中树脂还保持了较长时间的低黏度状态。上述结果表明了 Pr-a 中预固化树脂的反应活性、固化程度明显高于 Pr-b,与制备预浸料之前的 Ef-a 和 Ef-b 的表现一致。

预浸料的相关物理性能与其树脂的反应活性有关^[7-9],也会随贮存时间的延长而发生变化。通过测试发现 Pr-a 和 Pr-b 的挥发分和树脂固化物含量均没有随室温贮存时间的延长发生变化,而两者相应的凝胶时间和树脂流动度发生了与之截然不同的变化趋势,结果分别如图 5 和图 6 所示。

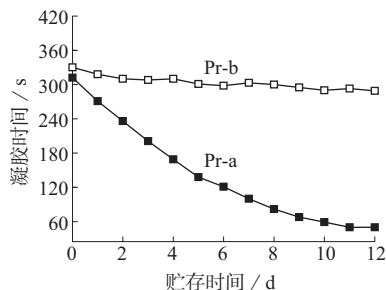


图 5 Pr-a 和 Pr-b 的凝胶时间随贮存时间的变化

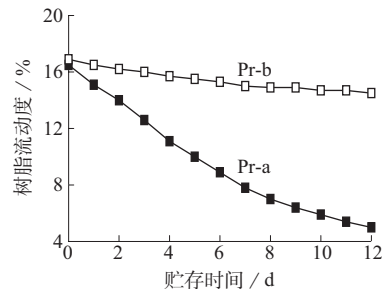


图 6 Pr-a 和 Pr-b 的树脂流动度随贮存时间的变化

从图 5、图 6 可以看出,刚制备好的 Pr-a 和 Pr-b 的凝胶时间和树脂流动度基本相同,前者略低于后者。随着贮存时间的延长, Pr-a 的凝胶时间和树脂流动度均发生了较大幅度的降低,在室温贮存 10 d 后,其凝胶时间由初始的 312 s 降低到 68 s,树脂流动度由初始的 16.5% 降低到 6.4%,两者降幅分别达到了 78.2% 和 61.2%。这是因为预浸料中所含有的

预固化树脂的反应活性仍然较高,其随时间的变化继续进行着固化反应,贮存时间越长,参与固化反应的树脂部分就越多,相应的凝胶时间也就变得越短,加压固化时所能够流出的树脂也就越少。因此 Pr-a 的表现与相应的 Ef-a 树脂相似,室温贮存稳定性不好。与之相比,Pr-b 预浸料的凝胶时间和树脂流动度随室温贮存时间的延长只发生很小的变化,在贮存 10 d 后两者分别仅有 5% 和 10% 左右的下降。这也预示出 Pr-b 中的预固化树脂与 Ef-b 的表现相一致,其反应活性较低、贮存稳定性好。

上述 Pr-a 和 Pr-b 中所含预固化树脂的反应活性、固化程度可以通过 FTIR 谱图中环氧基团的波峰 (913 cm^{-1}) 相对于苯环的相对强度进行表征^[12],如图 7 所示。从图 7 可以看出,刚制备好的两种预浸料的环氧基团特征峰强度虽基本一致,但 Pr-b 的峰更强。在室温下贮存 10 d 后,所得 Pr-a10 的环氧基团的特征峰强度较贮存前的 Pr-a 显著减弱,表明树脂中环氧基团的含量大量减少,其相对于苯环的相对强度大幅降低,树脂固化程度大幅升高^[13],这是由于树脂在室温下反应活性较高导致其在贮存期内固化反应持续发生。Pr-b10 的特征峰强度较 Pr-b 没有明显变化,预示树脂固化程度没有升高,树脂的反应活性较低,因此预浸料在室温下贮存稳定。

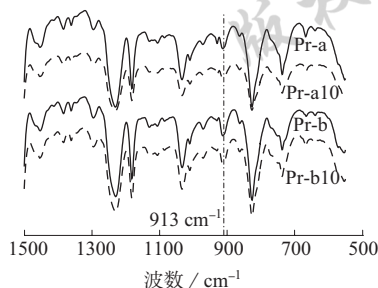


图 7 Pr-a, Pr-b, Pr-a10 和 Pr-b10 的 FTIR 谱图

(2) 预浸料工艺性能及力学性能。

两种预浸料的室温贮存稳定性也可以直观地表现在预浸料手感和粘接性的变化上。刚制备好的两种预浸料均很柔软、有较强粘接性,非常适合铺贴工艺。在贮存 10 d 后,Pr-a 变得手感非常干硬、几乎无任何粘接性,需要使用辅助工具如热风机等进行铺贴操作,而 Pr-b 的手感状态仍基本保持不变,铺贴工艺性良好。将室温贮存前后的两种预浸料进行了层压板制备,并测试了其相关力学性能包括拉伸、压缩、弯曲和层间剪切性能,结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,采用刚制备好的 Pr-a 所制造的层压板的力学性能均一定程度上低于相应的 Pr-b

预浸料层压板。这说明预浸料中树脂的预固化程度直接影响着其固化成型后复合材料的力学性能。在上述预浸料完成 10 d 的室温贮存后,所制造的两种层压板的力学性能均出现降低的现象,其中,由 Pr-a 制备的层压板力学性能的降幅更大,并且其拉伸弹性模量、压缩强度及其弹性模量和弯曲弹性模量已经不能满足标准 BMS 8-79 所规定正常使用的技术指标要求。由 Pr-b 制备的层压板的力学性能也有一定程度的下降,但下降幅度较小且所有力学性能均能高于技术指标。上述力学性能的测试结果也表明,树脂反应活性对于预浸料的室温贮存稳定性更加重要。由于使用 Urea-2 促进剂的 EP 固化体系反应活性过高,导致相应的预浸料的室温贮存性很不稳定,工作寿命无法达到 10 d 的技术指标要求,最终制备的层压板力学性能也较差;而使用 PDU 促进剂的 EP 固化体系室温贮存稳定性好,这决定了相应的预浸料性能相对稳定,由此制备的层压板的力学性能完全满足标准 BMS 8-79 的要求。

表 2 由 Pr-a, Pr-b, Pr-a10 和 Pr-b10 制备的层压板的力学性能

项 目	层压板对应的预浸料种类				指标 ¹⁾
	Pr-a	Pr-b	Pr-a10	Pr-b10	
拉伸强度 / MPa	500	599	414	554	383
拉伸弹性模量 / GPa	24.6	28.4	20.2	26.7	20.7
压缩强度 / MPa	433	483	386	441	414
压缩弹性模量 / GPa	25.1	28.0	21.4	26.6	23.5
弯曲强度 / MPa	763	825	651	815	500
弯曲弹性模量 / GPa	23.0	24.9	18.9	22.7	20
层间剪切强度 / MPa	48.7	54.9	35.0	49.1	24.1

注: 1) 标准 BMS 8-79 中所要求达到的指标。

3 结论

(1) 采用 Urea-2 促进剂与 Dicy 固化剂制备的 EP 固化体系反应活性过高,树脂以及所制备的预浸料在室温条件下的贮存稳定性均表现不好,最终制备的层压板力学性能下降幅度较大,贮存 10 d 后力学性能不达标。

(2) 采用 PDU 促进剂与 Dicy 固化剂制备的 EP 固化体系反应活性较为稳定,树脂在室温贮存 30 d 后以及相应的预浸料在室温贮存 10 d 后,其各项性能均未出现明显的变化,最终制备的层压板力学性能仅略微下降,仍满足指标要求。

(3) Urea-2 的反应活性高, PDU 的潜伏性好,后者更适合作为促进剂配合 Dicy 用于所研究的中温固化 EP 体系,以提高树脂及其预浸料的室温贮存稳定性。

参考文献

- [1] 陈平,刘胜平. 环氧树脂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 94-95.

- Chen Ping, Liu Shenping. Epoxy resin[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 1999:94-95.
- [2] 杜善义,关志东. 我国大型客机先进复合材料技术应对策略思考[J]. 复合材料学报, 2008, 25(1):1-10.
- Du Shanyi, Guan Zhidong. Strategic considerations for development of advanced composite technology for large commercial aircraft in China[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(1):1-10.
- [3] 刘琳,戴光宇,李文峰. 航空航天用高性能热固性树脂基体应用及研究进展[J]. 中国塑料, 2008, 22(4):9-12.
- Liu Lin, Dai Guangyu, Li Wenfeng. Application and development of high performance thermosetting matrix resin in aviation and aerospace fields[J]. China Plastics, 2008, 22(4):9-12.
- [4] Yu Yingfeng, Su Huihuang, Gan Wenjun. Effects of storage aging on the properties of epoxy prepres[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2009, 48:4 340-4 345.
- [5] Kaetzke K, Shaikh M Q, Faupel F, et al. Shelf stability of reactive adhesive formulation: A case study for dicyandiamide-cured epoxy systems [J]. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2010, 30:105-110.
- [6] 郝壮,宁荣昌,明璐,等. 环氧树脂/微粉化双氰胺复合材料制备与性能研究[J]. 中国塑料, 2013, 27(2):30-33.
- Hao Zhuang, Ning Rongchang, Ming Lu, et al. Study on preparation and properties of epoxy / resin micronized-dicyandiamide composite[J]. China Plastics, 2013, 27(2):30-33.
- [7] 潘锦平,范和平,李桢林. 中温潜伏性固化剂在环氧胶黏剂中的研究进展[J]. 化学与黏合, 2010, 32(6):45-49.
- Pan Jinping, Fan Heping, Li Zhenlin. The progress in research on the moderate temperature latent curing agent for epoxy adhesives[J]. Chemistry and Adhesion, 2010, 32(6):45-49.
- [8] 王传秀,高荣杰,林慧,等. 促进剂对环氧树脂固化性能影响研究[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(3):90-93.
- Wang Chuanxiu, Gao Rongjie, Lin Hui, et al. Influence of accelerator on the curing properties of epoxy system[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(3):90-93.
- [9] 吴忠喜,王锋,涂伟萍. 潜伏性环氧树脂胶黏剂用液态改性双氰胺固化剂的研究[J]. 中国胶粘剂, 2013, 22(10):7-10.
- Wu Zhongxi, Wang Feng, Tu Weiping. Study on liquid modified dicyandiamide curing agent for latent epoxy resin adhesive[J]. China Adhesives, 2013, 22(10):7-10.
- [10] 肖彦,陈来,高孟姣,等. 三苯基膦型潜伏性促进剂的制备与性能[J]. 热固性树脂, 2015, 30(2):31-34.
- Xiao Yan, Chen Lai, Gao Mengjiao, et al. Preparation and properties of triphenylphosphine type latent accelerant[J]. Thermosetting Resin, 2015, 30(2):31-34.
- [11] 胡玉明,吴良义. 固化剂[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:376.
- Hu Yuming, Wu Liangyi. Curing agent[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2004:376.
- [12] 刘博,李勇,肖军,等. 双酚A型环氧树脂紫外光固化工艺及其力学性能[J]. 航空学报, 2014, 35(5):1 424-1 432.
- Liu Bo, Li Yong, Xiao Jun, et al. UV-curing process and mechanical properties of bisphenol A epoxy resin[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014, 35(5):1 424-1 432.
- [13] 马楠楠,赵娟,陈福花. 红外与化学法联用表征环氧树脂环氧值[J]. 玻璃钢/复合材料, 2013(5):3-6.
- Ma Nannan, Zhao Juan, Chen Fuhua. The characterization of epoxy value by infrared spectroscopy method combined with chemical analysis[J]. Reinforced Plastics/Composites, 2013(5):3-6.

独山子石化乙烯厂填补国内化工产品新牌号

独山子石化公司乙烯厂生产出 2 000 t 合格的高密度聚乙烯 TUB121N3000M 新产品。经检测,该新产品的各项化验指标达到技术要求,又为国内化工产品填补了一个新牌

号。

高密度聚乙烯 TUB121N3000M 新产品具有较高的弯曲性能和冲击性能,用于生产 PE100 管件材料,市场前景广阔,附加值高,具有良好的经济效益和社会效益。(新疆日报)

《塑料》杂志征订启事

《塑料》是经北京市科委批准,国内外公开发行的中国塑料产业内最早的专业性技术刊物之一。创刊于 1972 年,至今已出版 44 卷,238 期。它多层次、多视角、全方位、及时、准确报导国内外最新的发展趋势、学科前沿、研究热点、先进技术和市场动态。国内统一刊号为 CN11-2205/TQ,邮发代号为 82-268。

主要栏目:合成与制备、结构与性能、原料与助剂、改性与合金、成型加工与理论、机械与设备、机头与模具、计算机辅助设计与数据库、标准与测试、发展与动态、期刊文摘、国际市场传真、国内快讯。

读者范围:国家相关部委局、监督检查部门、研究院所、大专院校、原材料行业、助剂、设备模具、辅助设备、制品企

业、相关贸易企业等。

《塑料》是中国科学技术研究所《中国科技论文统计源》核心期刊、北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》核心期刊、中国科学院《中国科学引文数据库》来源期刊和美国化学文摘收录期刊。

《塑料》为双月刊,双月 18 日出版,大 16 开本,128 页,定价:168 元/年。

地址:北京市西城区旧鼓楼大街 47 号

邮编:100009

电话:010-84035979

传真:010-84022529

E-mail: plastics1972@163.com

网址: www.plasticsbj.com.cn