

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.01.022

PA66 产品尺寸稳定性的影响因素

周雷^{1,2}

(1. 重庆科聚孚工程塑料有限责任公司, 重庆 401332; 2. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039)

摘要: 通过双螺杆挤出机熔融共混制备尼龙 66 (PA66), 模拟长期使用环境, 研究环境湿度、吸水率、成核剂、热处理对 PA66 产品尺寸稳定性的影响。结果表明, PA66 产品的尺寸稳定性受吸湿溶胀和内应力释放收缩共同作用, 吸湿溶胀作用是主导因素; 环境湿度越高、时间越长, PA66 产品尺寸变化越大; PA66 产品在垂直流动方向上的尺寸变化大于流动方向; 环境湿度越低, 达到相同吸水率需要的时间越长, 吸湿溶胀作用越明显, PA66 产品尺寸越大; 添加成核剂影响 PA66 产品的尺寸变化和吸水率, 随着成核剂用量的增加, PA66 产品的尺寸变化和吸水率减小; 成核剂用量为 0.5 份时 PA66 产品尺寸变化率和吸水率较小; 继续增加成核剂用量, PA66 产品的尺寸变化和吸水率变化不大; 热处理能有效地消除内应力, 使 PA66 产品的尺寸变小, 成核剂有促进作用; 热处理使内应力释放收缩和吸湿溶胀作用相互抵消, 有利于降低 PA66 产品的尺寸变化。

关键词: 尼龙 66; 尺寸稳定性; 吸湿性; 热处理; 成核剂

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)01-0126-06

Influencing Factors on Dimensional Stability of PA66 Products

Zhou Lei^{1,2}

(1. Chongqing Copolyforce Engineering Plastics Co., Ltd., Chongqing 401332, China;

2. Chongqing Research Institute Co., Ltd. of China Coal Technology & Engineering Group Corporation, Chongqing 400039, China)

Abstract: Nylon 66 (PA66) was prepared by melt blending in twin-screw extruder. The effects of humidity, water absorption, nucleating agent and heat treatment on the dimensional stability of PA66 product were studied by simulating long-term service environment. The results show that, hygroscopic swelling and internal stress release shrinkage affect the dimensional stability of PA66, and the former is the dominant factor. The higher the ambient humidity is and the longer the time is, the greater the size change of PA66 product is. The size change of PA66 product in the across flow direction's greater than in the flow direction. The lower the environmental humidity is, the longer the time required to achieve the same water absorption rate is, the bigger the size of the PA66 product is. The addition of nucleating agent has an effect on the size change and water absorption of PA66. With the increase of nucleating agent content, the size change and water absorption decrease of PA66 product. When the content of nucleating agent is 0.5 phr, the size change and water absorption are smaller, while the content of nucleating agent continues to increase, the size change and water absorption decrease little. Heat treatment can effectively eliminate internal stress, and makes PA66 product smaller in size, and nucleating agent has an advancing effect. The opposite effects of heat treatment and hygroscopic swelling are mutually exclusive, which is beneficial to reducing the size change of PA66 product.

Keywords: nylon 66; dimensional stability; hygroscopicity; heat treatment; nucleating agent

尼龙 (PA) 因其具有优异的综合性能成为使用最为广泛的工程塑料之一, 广泛用于汽车、航空航天、通用机械、电子电气、仪器仪表、家用电器及办公仪器等领域。但 PA 产品在后期使用过程中, 因 PA 分子链中酰胺基团具有较强的极性, 容易与环境中

的水分子形成牢固的氢键, 增大产品的吸水率, 同时内应力的释放等因素容易导致产品尺寸发生变化, 从而影响产品的正常使用。

目前国内外学者针对 PA 产品的调湿处理、吸湿性及热处理对产品的性能影响等进行了大量的研

通讯作者: 周雷, 硕士, 助理研究员, 主要从事聚合物高性能化研究 E-mail: zhoulei_job@126.com

收稿日期: 2018-11-07

引用格式: 周雷. PA66 尺寸稳定性的影响因素 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(1): 126-131.

Zhou Lei. Influencing factors on dimensional stability of PA66 products[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1): 126-131.

究^[1-14],而对 PA 产品长期使用过程中尺寸变化的相关研究很少, I. Clavería 等^[15]使用 PA6 和 PA66 注塑产品,对比了 PA6 和 PA66 对产品尺寸稳定性的影响,研究发现, PA6 的吸湿性、失湿性大于 PA66,说明 PA66 产品的尺寸稳定性好于 PA6。笔者通过双螺杆挤出机共混制备 PA66 材料,模拟长期使用环境,研究不同环境湿度、吸水率、成核剂、热处理对 PA66 产品在流动方向和垂直流动方向尺寸变化的影响,探讨影响 PA66 产品尺寸稳定性的因素,为控制 PA66 产品在使用过程中的尺寸稳定性提供指导。

1 实验部分

1.1 主要原料

PA66: U4803, 美国英威达公司;
成核剂: P22, 德国布吕格曼化工公司;
抗氧剂: 1010, 168, 德国巴斯夫公司;
硅油: 1000, 市售。

1.2 主要仪器与设备

高速混合机: SHR-10A 型, 张家港市曙光机械厂;
同向双螺杆挤出机: SHJ-36B 型, 南京鸿铭挤出设备有限公司;

注塑机: HDX50 型, 宁波市海达塑料机械有限公司;

高低温湿热三气实验箱: HUT-705P 型, 重庆哈丁科技有限公司。

1.3 试样制备

将 PA66 (100 份)、成核剂 (0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 份)、抗氧剂 1010 (0.2 份)、抗氧剂 168 (0.2 份)、硅油 (0.05 份) 加入高速捏合机中混合均匀, 然后加入同向双螺杆挤出机中, 经熔融、共混、挤出、牵引、造粒得到 PA66 粒料。从挤出机加料口到机头各段温度依次为 250, 260, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 270, 260℃, 螺杆转速为 300 r/min。

将上述 PA66 粒料在 120℃ 下干燥 4 h, 注塑 350 cm × 10 cm × 0.5 cm 待测试样, 其中注塑温度从下料口到喷嘴温度依次为 260, 265, 270, 275℃, 注塑压力为 80 MPa, 注射速度为 60 mm/s, 连续成型 10 模, 留最后 5 模。

1.4 环境实验

在 25℃ 室温下, 将注塑试样放入棕色干燥器中调节 24 h 后, 快速取出测试其在流动方向和垂直流动方向上的尺寸和质量作为原始数据。需热处理的试样放入 160℃ 烘箱中热处理 24 h 后放入棕色干燥器中调节 24 h, 快速取出测试试样在流动方向和

垂流动方向上的尺寸和质量作为热处理后的数据。然后将未热处理和热处理的试样放置在 25℃ 下不同湿度环境中, 按照 2, 6, 12, 24, 36, 72, 180 d 的时间间隔取样, 快速取出, 擦拭表面水分测试试样在流动方向和垂流动方向上的尺寸和质量。

尺寸变化率、吸水率分别按式 (1)、式 (2) 计算:

$$\text{尺寸变化率} = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: S_1 ——环境实验后的尺寸;

S_0 ——原始尺寸。

$$\text{吸水率} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: W_1 ——环境实验后的质量;

W_0 ——原始质量。

环境湿度控制: 环境温度为 25℃, 采用放有硅胶干燥剂的棕色干燥器调节相对湿度为 0%, 采用恒温恒湿箱调节相对湿度为 50%, 浸泡在去离子水中认为相对湿度为 100%。

2 结果与讨论

2.1 不同环境湿度对 PA66 产品尺寸变化和吸水率的影响

随着时间的推移, PA66 产品在使用过程中的尺寸会发生变化。不同环境湿度下 PA66 产品的尺寸变化率如图 1 所示。从图 1 可以发现, 在相对湿度为 50%, 100% 环境中, 环境湿度越大, PA66 产品的尺寸变化率越大。随着时间的延长, PA66 产品的尺寸变化率逐渐变大, 在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d, 流动方向的尺寸变化率为 0.33%, 垂流动方向的尺寸变化率为 0.45%; 在相对湿度为 100% 的环境实验 180 d, 流动方向的尺寸变化率为 1.63%, 垂流动方向的尺寸变化率为 1.92%; 垂流动方向的尺寸变化率大于流动方向。而在相对湿度为 0% 的环境中, PA66 产品的尺寸前期稍微变小, 在 12 d 时, 流动方向的尺寸变化率为 -0.07%, 垂流动方向的尺寸变化率为 -0.02%, 后期的尺寸几乎没有变化。

不同环境湿度下 PA66 产品的吸水率如图 2 所示。由图 2 可以看出, 在相对湿度为 0% 的环境中, PA66 产品的吸水率几乎为 0, 在相对湿度为 50%, 100% 环境中, 环境湿度越大, 时间越长, 吸水率越大, 在 180 d 时, 吸水率分别达到 2.02%, 7.23%。

出现以上结果的原因是, 环境湿度越大, PA66 产品与水分子的接触机会越多, 吸水效率越高, 相同

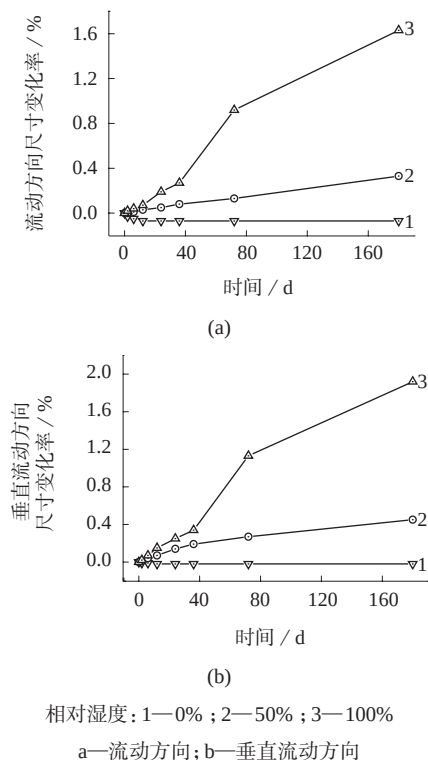


图1 不同环境湿度下 PA66 产品的尺寸变化率

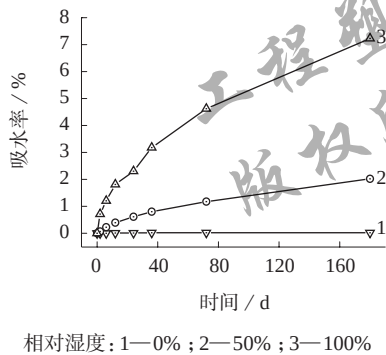


图2 不同环境湿度下 PA66 产品的吸水率

时间内的吸水率越大。影响 PA66 产品尺寸变化的因素主要有吸湿溶胀和内应力释放收缩。在相对湿度为 0% 的环境中, PA66 产品不能吸湿溶胀, 尺寸变化完全来自内应力释放收缩, 内应力释放收缩在产品成型冷却过程中已几乎全部完成, 而后期的内应力释放收缩导致的尺寸变化会很小; 在相对湿度为 50%, 100% 的环境中, PA66 产品来自吸湿溶胀和内应力释放收缩共同作用, 吸湿溶胀作用占主导影响因素; 环境湿度越大, 放置时间越长, 产品的吸湿溶胀越明显, 尺寸变化越大, 长时间后达到平衡状态。PA66 产品成型过程中分子链受压力作用向流动方向取向, 导致流动方向上内应力释放收缩大于垂直流动方向, 而流动方向上受分子链的拉伸束缚使吸湿溶胀小于垂直流动方向, 而吸湿溶胀作用是

主导影响因素, 导致流动方向上的尺寸变化小于垂直流动方向。

2.2 吸水率对 PA66 产品尺寸变化的影响

不同吸水率下 PA66 产品的尺寸变化率如图 3 所示。从图 3 可以看出, 吸水率越高, PA66 产品的尺寸变化率越大, 但是吸水率相同时, PA66 产品在相对湿度为 50% 的环境中的尺寸变化率明显大于在相对湿度为 100% 的环境中, 在相对湿度为 50% 的环境中, 吸水率为 2.02% 时, 流动方向的尺寸变化率为 0.33%, 垂直流动方向的尺寸变化率为 0.45%; 而在相对湿度为 100% 的环境中, 吸水率为 2.3% 时, 流动方向的尺寸变化率为 0.19%, 垂直流动方向的尺寸变化率为 0.25%。

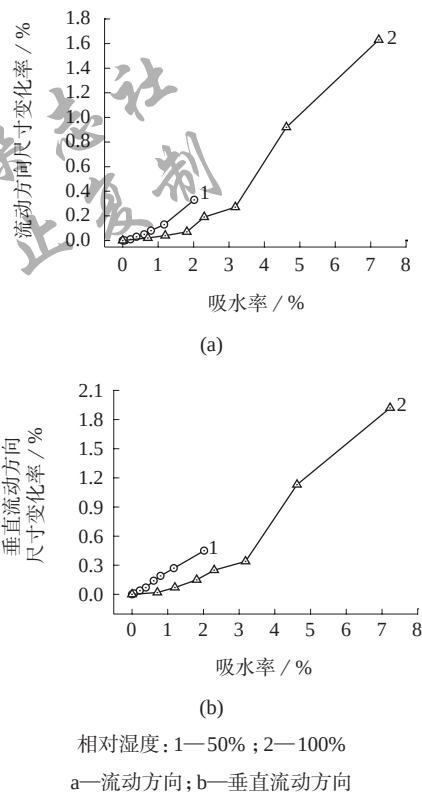


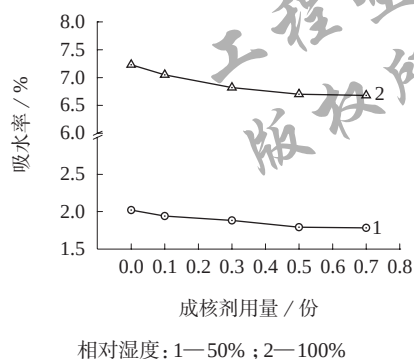
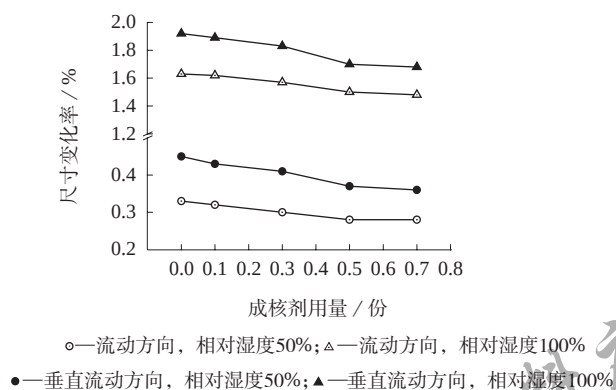
图3 不同吸水率下 PA66 产品的尺寸变化率

出现以上现象的原因是, PA66 产品达到相同吸水率时, 相对湿度为 50% 的环境需要的时间明显大于相对湿度为 100% 的环境, 根据图 2 可以看出, 在相对湿度为 50% 的环境中, 吸水率到达 2.02% 需要 180 d, 而在相对湿度为 100% 的环境中, 吸水率到达 2.30% 只需要 24 d。对于相对湿度为 50% 的环境, 达到相同吸水率的时间长, 吸湿作用时间越长, 水分子有足够时间向 PA66 产品的内部扩散, 使整个产品吸湿溶胀均匀, 因此尺寸变化率大; 而在相对湿度为 100% 的环境中, 达到相同吸水率的时

间短,水分子大部分只停留表层,还没有扩散到内部,导致产品吸湿溶胀不均匀,内部分子链束缚膨胀过程,导致尺寸变化率小。

2.3 成核剂用量对 PA66 产品尺寸变化和吸水率的影响

前述研究表明,在相对湿度为 0% 的环境中,吸水率为 0%, PA66 产品的尺寸只受内应力释放收缩影响,变化很小。因此本节只研究在 180 d、相对湿度为 50%,100% 环境下,成核剂用量对 PA66 产品尺寸变化率及吸水率的影响,结果如图 4、图 5 所示。



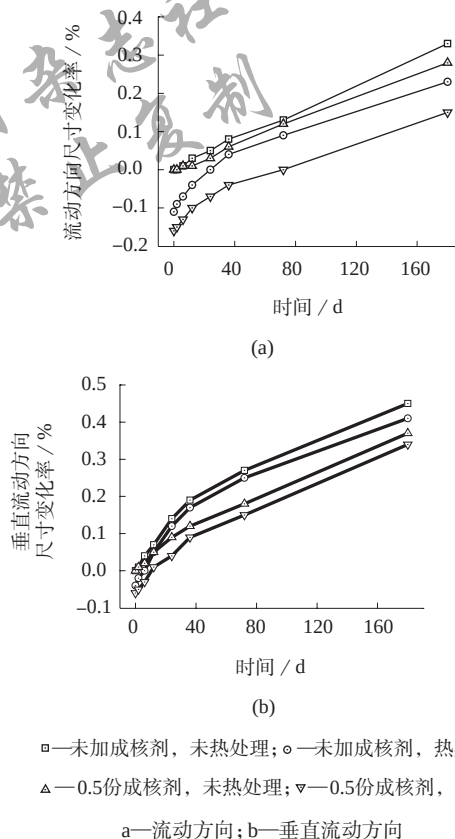
由图 4 可以看出,加入成核剂, PA66 产品的尺寸变化率减小。随着成核剂用量的增加, PA66 产品的尺寸变化率减小。当成核剂用量为 0.5 份时,在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率从未添加成核剂时的 0.33% 降低到 0.28%,垂直流动方向的尺寸变化率从未添加成核剂时的 0.45% 降低到 0.37%;在相对湿度为 100% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率从未添加成核剂时的 1.63% 降低到 1.50%,垂直流动方向的尺寸变化率从未添加成核剂时的 1.92% 降低到 1.70%。继续增加成核剂的用量, PA66 产品的尺寸变化率降低不大。垂直流动方向上的尺寸变化率大于流动方向。

由图 5 可以看出,加入成核剂, PA66 产品的吸水率减小。随着成核剂用量的增加, PA66 产品的吸水率减小。当成核剂用量为 0.5 份时,在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d,吸水率从未添加成核剂时的 2.02% 降低到 1.79%;在相对湿度为 100% 的环境实验 180 d,吸水率从未添加成核剂时的 7.23% 降低到 6.70%。继续增加成核剂的用量,吸水率变化不大。

出现以上现象的原因是,加入成核剂促进了 PA66 的结晶,提高了结晶度,结晶区能阻碍水分子与酰胺基团的氢键形成,使 PA66 的吸水率减小,降低吸湿溶胀作用,导致 PA66 产品的尺寸变化率减小。

2.4 热处理对 PA66 产品尺寸变化和吸水率的影响

在相对湿度为 50% 的环境中,热处理前后 PA66 产品的尺寸变化率如图 6 所示。



从图 6 可以看出,在未进行环境实验前 (0 d),热处理导致 PA66 产品尺寸变小;与热处理前的 PA66 产品相比,未加成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率为 -0.11%,垂直流动方向的尺寸变化率为 -0.04%,添加 0.5 份成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率为 -0.16%,垂直流动方向的尺寸变化率为 -0.06%;热处理

PA66产品在流动方向的尺寸变化率大于垂直流动方向。热处理后的尺寸变化率比热处理前小,环境实验 180 d,未加成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率从热处理前的 0.33% 降低到 0.23%,垂直流动方向的尺寸变化率从 0.45% 降低到 0.41%;添加 0.5 份成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率从热处理前的 0.28% 降低到 0.15%,垂直流动方向的尺寸变化率从 0.37% 降低到 0.34%。

热处理前后 PA66 产品的吸水率如图 7 所示。从图 7 可以发现,不管添加成核剂与否,热处理导致 PA66 产品的吸水率稍微降低。

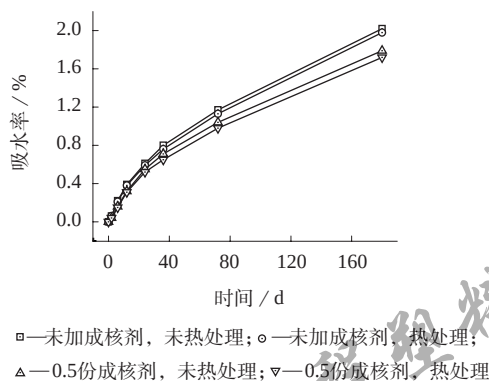


图 7 热处理前后 PA66 产品的吸水率

出现以上现象的原因是,热处理能有效消除 PA66 产品的内应力,使得分子链更为规整,导致尺寸变小;在 PA66 产品成型过程中分子链受压力作用向流动方向取向,流动方向上的内应力大于垂直流动方向,热处理导致流动方向上内应力释放收缩大于垂直流动方向;添加成核剂促进了 PA66 产品在热处理过程中内应力消除和分子链规整,使得尺寸变得更小^[16]。热处理导致 PA66 产品内应力收缩尺寸变小,而环境湿度使 PA66 产品吸湿溶胀,两个相反作用因素共同影响尺寸的稳定性,因此对 PA66 产品同时进行热处理和吸湿处理是保持尺寸稳定性的有效方法。

3 结论

(1) 在长期使用过程中, PA66 产品的尺寸变化受吸湿溶胀和内应力释放收缩共同作用,吸湿溶胀作用是主导因素;环境湿度越高,时间越长,尺寸变化越大。垂直流动方向的尺寸变化率大于流动方向。在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率为 0.33%,垂直流动方向的尺寸变化率为 0.45%;在相对湿度为 100% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率为 1.63%,垂直流动方向的

尺寸变化率为 1.92%。

(2) 环境湿度越低,达到相同吸水率需要的时间越长,吸湿溶胀作用越明显, PA66 产品的尺寸变化越大。在相对湿度为 50% 环境中,吸水率为 2.02% 时,流动方向的尺寸变化率为 0.33%,垂直流动方向的尺寸变化率为 0.45%;而在相对湿度为 100% 环境中,吸水率为 2.3% 时,流动方向的尺寸变化率为 0.19%,垂直流动方向的尺寸变化率为 0.25%。

(3) 添加成核剂影响 PA66 产品的尺寸变化和吸水率。随着成核剂用量的增加,尺寸变化和吸水率减小。添加 0.5 份成核剂,在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率从未添加时的 0.33% 降低到 0.28%,垂直流动方向的尺寸变化率从 0.45% 降低到 0.37%,吸水率从 2.02% 降低到 1.79%;在相对湿度为 100% 的环境实验 180 d,流动方向的尺寸变化率从 1.63% 降低到 1.50%,垂直流动方向的尺寸变化率从 1.92% 降低到 1.70%,吸水率从 7.23% 降低到 6.70%;继续增加成核剂用量, PA66 产品尺寸变化和吸水率降低不大。

(4) 热处理能有效消除内应力,使分子链规整,使 PA66 产品的尺寸变小,成核剂的加入有促进作用。流动方向的尺寸变化率变化大于垂直流动方向。热处理使内应力释放收缩和吸湿溶胀作用相互抵消,有利于降低 PA66 产品的尺寸变化。在相对湿度为 50% 的环境实验 180 d,未加成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率从未热处理的 0.33% 降到 0.23%,垂直流动方向的尺寸变化率从 0.45% 降到 0.41%;添加 0.5 份成核剂的热处理 PA66 产品在流动方向的尺寸变化率从热处理前的 0.28% 降到 0.15%,垂直流动方向的尺寸变化率从 0.37% 降到 0.34%。

参考文献

- [1] 李宏福,王淑范,孙海霞,等.连续碳纤维增强尼龙 6 热塑性复合材料的吸湿及力学性能[J].复合材料学报,2018,doi:10.13801/j.cnki.fhclxb.20180322.002.
Li Hongfu, Wang Shufan, Sun Haixia, et al. Water absorption and mechanical property of continuous carbon fiber/polyamide 6 composites [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2018, doi:10.13801/j.cnki.fhclxb.20180322.002.
- [2] Sang Lin, Wang Chuo, Wang Yingying, et al. Effects of hydrothermal aging on moisture absorption and property prediction of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites [J]. Composites Part B:Engineering, 2018, 153:306-314.
- [3] Chaichanawong J, Thongchuea C, Areerat S. Effect of moisture

- on the mechanical properties of glass fiber reinforced polyamide composites[J]. *Advanced Powder Technology*, 2016, 27(3):898–902.
- [4] Obeid H, Clément A, Fréour S, et al. On the identification of the coefficient of moisture expansion of polyamide-6: Accounting differential swelling strains and plasticization[J]. *Mechanics of Materials*, 2018, 118:1–10.
- [5] Do V T, Nguyen-Tran H D, Chun D M. Effect of polypropylene on the mechanical properties and water absorption of carbon-fiber-reinforced-polyamide-6 / polypropylene composite[J]. *Composite Structures*, 2016, 150:240–245.
- [6] Litvinov V M, Koning C E, Tjissen J. The effect of annealing of linear and branched polyamide 46 on the phase composition, molecular mobility and water absorption as studied by DSC, ^1H and ^2H solid-state NMR[J]. *Polymer*, 2015, 56:406–415.
- [7] Chen Kaijuan, Kang Guozheng, Lu Fucong, et al. Effect of relative humidity on uniaxial cyclic softening / hardening and intrinsic heat generation of polyamide-6 polymer[J]. *Polymer Testing*, 2016, 56:19–28.
- [8] Arhant M, Le Gac P Y, Le Gall M, et al. Effect of sea water and humidity on the tensile and compressive properties of carbon-polyamide 6 laminates[J]. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2016, 96:250–261.
- [9] 梁惠霞, 李英, 张绍岩. 酚醛改性对玻纤增强聚酰胺 66 复合材料耐湿性的影响[J]. *塑料科技*, 2016, 44(10):49–52.
- Liang Huixia, Li Ying, Zhang Shaoyan. Effect of phenolic resin on moisture resistance of glass fiber reinforced PA66 [J]. *Plastics Science and Technology*, 2016, 44(10):49–52.
- [10] Fabre V, Quandalle G, Billon N, et al. Time-Temperature-Water content equivalence on dynamic mechanical response of polyamide6, 6[J]. *Polymer*, 2018, 137:22–29.
- [11] Le Gac P Y, Arhant M, Le Gall M, et al. Yield stress changes induced by water in polyamide 6: Characterization and modeling[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2017, 137:272–280.
- [12] Arhant M, Le Gac P Y, Le Gall M, et al. Modelling the non Fickian water absorption in polyamide 6[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2016, 133:404–412.
- [13] Lin Lin, Weigand T M, Farthing M W, et al. Relative importance of geometrical and intrinsic water transport properties of active layers in the water permeability of polyamide thin-film composite membranes[J]. *Journal of Membrane Science*, 2018, 564:935–944.
- [14] Lai Chiu-Chun, Chen Shih-You, Chen Meng-Hsin, et al. Preparation and characterization of heterocyclic polyamide 6 (PA 6) with high transparencies and low hygroscopicities[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2019, 1175:836–843.
- [15] Claveria I, El Duque D, Santolaria J, et al. The influence of environmental conditions on the dimensional stability of components injected with PA6 and PA66[J]. *Polymer Testing*, 2016, 50:15–25.
- [16] 王兵辉, 熊玉竹, 吴胜学, 等. 退火对 PA6 结晶和拉伸性能的影响[J]. *工程塑料应用*, 2017, 45(1):55–59.
- Wang Binghui, Xiong Yuzhu, Wu Shengxue, et al. Effect of annealing on crystallinity and tensile properties of PA6[J]. *Engineering Plastics Application*, 2017, 45(1):55–59.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合 2000 ~ 2018 年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会, 共编辑、出版了 19 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术, 以及文献综述、评论等, 突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》, 以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘, 现以优惠价格 (含邮费) 销售, 欢迎订阅。

1. 2004 ~ 2018 年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》, 优惠价 400 元 / 套。

2. 2000 ~ 2018 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘, 优惠价 300 元 / 盘。本光盘除收录 2000 ~ 2018 年 19 本《论文集》的全部内容外, 还包括约 3 300 人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址: 山东济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮 编: 250031

电 话: (0531)85878223 85878057 85878278

传 真: (0531)85947355

银行汇款

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>

(上接第 125 页)

- [13] Tebassi H, Yallese M A, Meddour I. A new method for evaluation nominal coefficient of friction and frictional forces in turning and inserts characterization using cutting forces profiles[J]. *Engineering Solid Mechanics*, 2016, 4(1):1–10.
- [14] Vadivel H S, Golchin A, Emami N. Tribological behaviour of carbon filled hybrid UHMWPE composites in water[J]. *Tribology International*, 2018, 124:169–177.
- [15] Baena J C, Wu Jingping, Peng Zhongxiao. Wear performance of UHMWPE and reinforced UHMWPE composites in arthroplasty applications: A review[J]. *Lubricants*, 2015, 3(2):413–436.
- [16] Huang Guodong, Ni Zifeng, Chen Guomei, et al. Effects of gamma irradiation and accelerated aging on GO / UHMWPE nanocomposites[J]. *Int J Polym Anal Charact*, 2016, 21(5):1–11.