

光照老化对 PA66 材料性能变化的影响

闫明, 王一焱, 王伟, 王康

(常州博瑞电力自动化设备有限公司, 江苏 常州 213025)

摘要: 氙灯老化和紫外光老化是常见的评估材料耐久性和寿命的光照老化试验方法, 通过光照老化试验以指导材料的设计和生工作, 从而保证产品质量, 但目前关于 PA66 材料在光照老化下性能变化的数据较少, 本文以注塑成型法制备而成的 PA66 材料为研究对象, 分别在紫光老化试验箱和氙灯老化试验箱下进行光照老化试验, 对比研究了该复合材料在不同光照类型下老化后的力学性能的变化情况, 结果表明: 氙灯老化试验 672h 后, PA66 材料的拉伸强度降低了 6.87%, 冲击强度降低了 10.45%, 紫外光老化试验 672h 后, PA66 材料的拉伸强度降低了 8.61%, 冲击强度降低了 14.55%, 紫外光老化速率大于氙灯老化速率。PA66 材料在使用过程中应避免光照直射, 防止材料力学性能下降。

关键词: PA66; 拉伸强度; 冲击强度; 老化试验

中图分类号: TQ323.6

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)09-0052-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.09.011

1 前言

PA66 俗称尼龙-66, 一般指聚己二酰己二胺, 是一种高分子化合物, 属于脂肪族聚酰胺纤维。在加工过程中加入不同类型的添加剂可提升材料的耐磨、耐候、阻燃和绝缘等材料特性, 因此 PA66 可被加工为各种机械和电气零部件。由于其化学成分的差异, PA66 不同于常规金属材料具有固定的性能参数, 材料在老化过程中的性能变化规律也难以评价^[1~6]。本文以某单位模压生产的 PA66 标准样条为研究对象, 探索在氙灯老化和紫外光老化条件下材料性能变化的规律, 为材料老化试验方法的选取提供帮助。

2 生产加工

2.1 主要原料

某公司市售的 PA66 原料、阻燃剂、玻纤、抗氧化剂和润滑剂。

2.2 主要设备及仪器

电热鼓风干燥箱、双螺杆挤出机、万能材料试验机、缺口制样机、气候模拟试验箱、氙灯老化试验箱、紫外光老化试验箱等。

2.3 试样制备

将 PA66 原料放入干燥箱中进行烘干处理, 温度 120 °C, 烘干 8 h 后按表 1 比例将各添加剂加入混合机中进行混合、造粒, 得到本次研究使用的塑料粒子。

表 1 PA66 混合粒子主要成分

名称	PA66	玻纤	润滑剂	阻燃剂	抗氧化剂
质量比 /%	74	25	0.5	0.3	0.2

拉伸试验样条按《GB/T 1040.2—2006 塑料拉伸性能的测定第 2 部分: 模塑和挤塑塑料》试验条件中要求制备成 1A 型试样, 如图 1 所示。

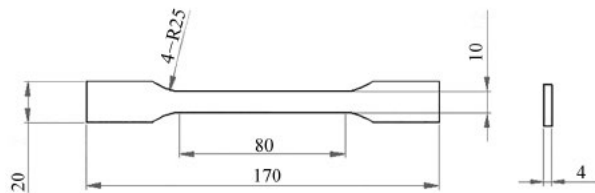


图 1 标准拉伸样条

简支梁冲击试验样条按《GB/T 1043.1—2008 塑料简支梁冲击性能的测定 第 1 部分: 非仪器化冲击试验》试验条件中要求制备 1 型试样, 无缺口, 如表 2 所示。

将制备好的塑料颗粒按图 1 图 2 所示尺寸要求注塑成标准尺寸样条, 再次放于 120 °C 干燥箱烘干 8h 后待用。

3 试验方法

作者简介: 闫明 (1993—), 男, 学士, 工程师, 主要从事金属材料理化性能检测、失效分析工作。

表 2 标准简支梁冲击样条

试样类型	长度 ^a <i>l</i>	宽度 ^a <i>b</i>	厚度 ^a <i>h</i>	跨距 <i>L</i>
1	80±2	10.0±0.2	4.0±0.2	
2 ^b	25 <i>h</i>	10 或 15 ^c	3 ^d	20 <i>h</i>
3 ^b	11 <i>h</i> 或 13 <i>h</i>			6 <i>h</i> 或 8 <i>h</i>

注：
a. 试样尺寸(厚度*h*、宽度*b*、和长度*l*)应符合 $h \leq b < l$ 的规定。
b. 2 型和 3 型试样仅用于 6.3.2 所述的材料。
c. 精细结构的增强料用 10 mm，粗粒结构或不规整结构的增强材料用 15 mm (见 6.3.2.2)。
d. 优选厚度。试样由片材或板材切出时，*h* 应等于片材或板材的厚度，最大 10.2 mm (见 6.3.1.2)。

表 3 氙灯老化试验方法

循环序号	暴露周期	辐照度 ^a		黑标温度 /℃	试验箱温度 /℃	相对湿度 /℃
		宽带 (300~400 nm)/(W·m ⁻²)	窄带 (420 nm)/(W·(m ² ·nm ⁻¹))			
5	持续干燥	50±2	1.10±0.02	65±3	38±3	50±10 ^b
6	持续干燥	50±2	1.10±0.02	65±3	不控制	不控制
7	持续干燥	50±2	1.10±0.02	100±3	65±3	20±10
8	持续干燥	50±2	1.10±0.02	100±3	不控制	不控制

注：表中给出的辐照度、黑标温度和相对湿度的正负偏差是给定参数在平衡状态下的允许波动范围。不表示给定值可在允许的范围内任意加减。
a. 表中给出的辐照度数据为已使用过的。对能产生更高辐照度的设备，实际辐照度会显著高于给出值，如配置日光滤光器的氙弧灯高达 180 W/m² (300~400 nm) 或配置窗玻璃滤光器的氙弧灯高达 162 W/m² (300~400 nm)。
b. 对于湿度敏感材料，推荐使用 (65±10) % 的相对湿度。

3.2 荧光紫外灯老化试验方法

为统一试验条件，应按标准《GB/T 16422.3—2014 塑料 实验室光源暴露试验方法第 3 部分：荧光紫外灯》中方法 B：窗玻璃后日光方法进行试验，且

统一与氙灯老化试验相同的温湿度变量，如表 4 所示。
试验过程中采用 UVA351 灯光对样品连续照射，调节试验箱温度，使黑板温度在 (65±3) °C。

表 4 荧光紫外灯老化试验方法

方法 B：窗玻璃后日光					
5	24 h 干燥 (无水分)	1B 型 (UVA-351) 灯	340 nm 时 0.76(W·m ⁻² ·nm ⁻¹)	50℃ ±3℃	不控制

3.3 试验周期

光照老化试验周期为 7 天，共进行 4 个周期共 672 h 光照老化试验，每一周期老化试验结束后取出拉伸、冲击样条各 5 根进行力学性能试验，其他样品继续进行光照老化直至试验结束。

3.4 拉伸试验方法

按照《GB/T 1040.2—2006 塑料拉伸性能的测定 第 2 部分：模塑和挤塑塑料》的试验条件进行拉伸试验，拉伸速度 5 mm/min，如图 5 所示。

3.5 简支梁冲击试验方法

按照《GB/T 1043.1—2008 塑料简支梁冲击性能的测定 第 1 部分：非仪器化冲击试验》的试验条件进

行简支梁冲击试验，使用 2J 简支梁摆锤，如图 6 所示。

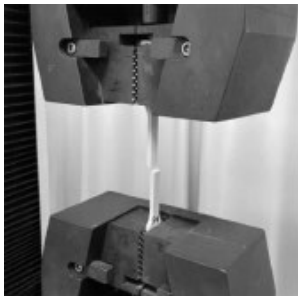


图 2 拉伸试验



图 3 简支梁冲击试验

4 试验结果与分析

(1) 为统一试验变量，排除湿度对样条性能的影响

响,将所有拉伸、冲击样条放置于 50 °C 烘箱中烘干 72 h。

(2) 样条烘干后对其进行拉伸试验和冲击试验,所测数据作为材料的原始力学性能并记录。

(3) 将余下所有样条分别置于氙灯老化试验箱和紫外光老化试验箱中,按标准进行老化试验,每 7 天从试验箱取出各类样条 5 根,立即进行力学性能检测,重复此步骤直至试验结束,试验结果图 4、图 5 所示。

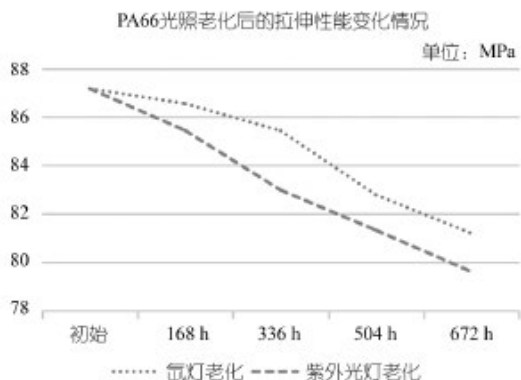


图4 PA66光照老化后的拉伸性能变化情况

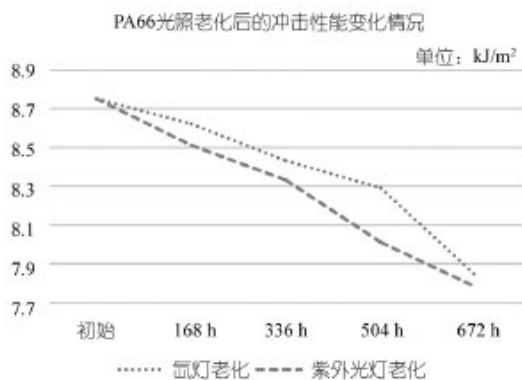


图5 PA66光照老化后的冲击性能变化情况

(4) 李晖、张霞等人认为 PA66 在光加速老化试验中力学性能变化的原因是分子链的断裂、分子量降低、结晶区域遭到严重破坏,通过观察 PA66 的 FTIR 谱图发现了 N—H 伸缩振动吸收峰的变化规律,经氙灯老化试验后,吸收峰向低波数端偏移,且波峰大小随老化时间的增强而增加,这代表着化学键键能的减弱,从而证明了光照老化致使 PA66 中部分 N—H 化学键的断裂,从而导致材料力学性能下降^[7]。

(5) 魏枫、裴勇勇等人对聚酰胺纤维的紫外光特性做了更深研究,研究发现,聚酰胺纤维中的不饱和和生色基团对紫外线具有强烈的吸收作用,当吸收的能量大于键能时便会使化学键断裂,导致材料强度下

降^[8-10]。氙灯老化试验模拟全太阳光谱,包含红外线、紫外线和可见光,相比于紫外光老化试验光谱范围更广,在上述试验条件下,紫外线含量少于紫外光老化试验,故在老化速率和老化程度上相对较弱。

5 结论

(1) PA66 标准样条,经 672h 的氙灯老化和紫外光老化试验后拉伸强度分别降低了 6.87% 和 8.61%,冲击强度分别降低了 10.45% 和 14.55%,相同老化时间内,紫外光老化试验对 PA66 材料的影响更大,老化速率更快。

(2) 如需模拟全日光光谱下的耐光照老化性能应当选择合适的氙灯老化试验;如需对比材料的耐紫外老化特性,紫外光老化试验效果更好,效率更高^[11]。

(3) PA66 以其优异的理化特性应用于各行各业,但光照老化对材料性能的影响往往被忽视,通过以上试验证明了光照老化对材料力学性能的影响,由于试验光源对样品的穿透能力有限,对于更薄的样件影响可能更大,因此 PA66 在工作环境下应当避免日光、紫外线的直射,必要时可在产品表面涂覆耐紫外线的涂料以防止材料性能下降。

参考文献:

- [1] 陈光伟,张强.良外观耐高静压玻纤增强 PA66 复合材料制备及性能[J].工程塑料应用,2020,48(6):27-31.
- [2] 唐帅.低磨损高性能玻璃纤维增强 PA66 复合材料的制备及性能研究[J].上海塑料,2020,48(1):18-25.
- [3] 冯德才,黄牧,叶坤豪,等.不同条件下尼龙材料光老化行为的研究[J].塑料工业,2021,49(3):91-148.
- [4] 张永刚,陆军.中压开关设备用环保型尼龙绝缘材料改性研究[J].高压电器,2020,56(11):27-33.
- [5] 李丹,吴振亚,董玉军.玻璃纤维增强 PA6 热老化冲击性能的断裂机理研究[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(18):170-175.
- [6] 孔伟,秦凡,陈超.耐紫外无卤阻燃增韧增强 PA66 制备及性能[J].工程塑料应用,2021,49(7):60-64.
- [7] 李晖,张霞,付建农,等.尼龙 66 人工光老化性能研究[C].浙江:中国工程塑料工业协会,2011:79-82.
- [8] 李亚峰,李崇明,黑艳伟,等.太阳辐照对芳纶纤维及其复合材料的性能影响[J].材料工程,2009,47(4):39-46.
- [9] 魏枫,裴勇勇,徐海兵,等.芳香族聚酰胺纤维抗紫外老化的研究进展[J].复合材料科学与工程,2022,(6):115-121.
- [10] 梁晶晶,张慧茹,孙晋良,等.芳香族聚酰胺织物抗紫外老化的研究[J].合成纤维,2011,40(3):1-4.
- [11] 闫宁波,梁启彬,何利蓉,等.荧光紫外灯与氙灯光老化试验的对比和分析[J].可靠性与环境试验技术及评价,2019,37(5):39-43.

Effect of light aging on the performance changes of PA66 material

Yan Ming, Wang Yiyan, Wang Wei, Wang Kang

(Changzhou Borui Electric Power Automation Equipment Co. LTD., Changzhou 213025, Jiangsu, China)

Abstract: Xenon lamp aging and ultraviolet light aging are commonly used light aging test methods to evaluate the durability and lifespan of materials. These experiments can guide the design and production of materials, ensuring product quality. However, there is currently a lack of data on the performance changes of PA66 materials under light aging. This article takes PA66 material prepared by injection molding method as the research object, and conducts light aging tests in UV aging test chamber and xenon lamp aging test chamber, comparing and analyzing the changes in mechanical properties of the material after aging under different types of light. The results showed that after 672 h of xenon lamp aging test, the tensile strength of PA66 material decreased by 6.87% and the impact strength decreased by 10.45%; After 672 h of UV aging test, the tensile strength of PA66 material decreased by 8.61% and the impact strength decreased by 14.55%. It can be seen that the aging rate of ultraviolet light is higher than that of xenon lamp. Therefore, when using PA66 material, direct sunlight should be avoided to prevent a decrease in its mechanical properties.

Key words: PA66; tensile strength; impact strength; aging test

(R-03)

数字孪生与 MES 系统第二次标准起草组工作会议顺利召开

The second working meeting of the standard drafting group for digital twins
and MES systems was successfully held

2025 年 7 月 30 日, 中国塑料机械工业协会团体标准委员会以视频形式召开了《橡胶塑料注射成型机数字孪生 第 1 部分: 通用条件》和《注塑成型车间智能制造执行系统 (MES)》两项团体标准的第二次起草组工作会议。会议由中国塑料机械工业协会常务副会长兼团体标准委员会秘书长栗东平主持, 分为上午、下午两场, 分别围绕“数字孪生”与“MES 系统”两项标准的技术细节展开深入研讨, 并顺利完成各项议程。

上午会议聚焦《橡胶塑料注射成型机数字孪生 第 1 部分: 通用条件》。宁波海天智联科技有限公司总监阎伟主持讨论环节, 并对标准进行解读。会议逐条讨论了 55 条专家反馈意见, 重点对数字实体、可视化要求、故障诊断等关键条款进行了修订完善。会上, 专家们进一步细化了注塑成型机专用要求, 确保标准的前瞻性与可操作性。

下午会议围绕《注塑成型车间智能制造执行系统 (MES)》展开, 由博创智能装备股份有限公司和广州中和互联网技术有限公司技术总监陈明治主持讨论环节, 并对标准进行解读。会议对标准文本进行了逐章逐节梳理, 重点完善了 MES 功能架构、业务流程图、质量管理、数据存储、接口规范等内容。专家们就安灯管理、订单排产、物料防错验证等关键指标达成一致意见。

会议完成了第二轮技术内容修订, 后续牵头单位将于 10 个工作日内形成征求意见稿。中国塑料机械工业协会对参与本次会议的全体专家表示衷心感谢, 并诚挚邀请各单位继续关注标准后续进展, 共同推动我国塑料机械行业智能制造与数字孪生技术的标准化进程。

摘编自“中国塑机”

(R-03)

