

酒包装塑胶瓶盖内盖耐环境应力的研究

李海宽, 温浩宇, 高灵强

(四川省宜宾普拉斯包装材料有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要: 为解决酒包装 HDPE 内盖易发生环境应力开裂的问题, 本文通过熔融指数测试筛选原料, 设计材料快速排查方法, 并优化材料配方与注塑成型工艺。实验表明, HDPE 与 LLDPE 复合配方 (如 75%~85% HDPE 025 搭配 15%~25% LLDPE 2045G/FB2230) 耐环境应力开裂性能最优, 120 min 测试内无破裂; 构建“低应力、慢冷却、高松弛”注塑工艺窗口, 优化熔体温度、模具温度等核心参数并辅以 80~100 °C 退火处理, 可显著降低内盖残余应力。研究成果为生产提供明确技术指导, 有效提升内盖可靠性与使用寿命。

关键词: HDPE; 内盖; 应力开裂; 注塑成型工艺

引用论文: 李海宽, 温浩宇, 高灵强. 酒包装塑胶瓶盖内盖耐环境应力的研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(6):43-46.

中图分类号: TQ320.6

文章编号: 1009-797X(2026)06-0043-04

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.06.010

0 引言

酒包装塑胶瓶盖内部件一般包括内盖、内塞和瓶口。酒类行业内盖一般选用聚烯烃类材料, 因其与酒类接触, 要求必须为可与白酒接触材料, 且具有一定的密封性和食品卫生安全性。上瓶后, 不能出现破裂、老化等缺陷。聚烯烃类材料是现有公认的最安全的食品接触材料之一, 其一直被用于多种食品包装领域, 如 PE 保鲜膜、PE 食品袋等。目前酒包装内盖和内塞通常采用食品级聚丙烯 (PP) 或聚乙烯 (PE) 为原料, 这些材料无毒、无味、化学稳定性好, 符合食品接触安全标准, 因此聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP) 是比较理想的食品包装材料^[1]。

用于内部件生产的材料我们主要是关注其加工性, 耐环境应力开裂性和食品卫生安全性等方面。环境应力开裂是塑胶制品最常见的失效形式之一。它是指制品在低于其短时机械强度的应力作用下, 与某些活性物质 (如表面活性剂、醇类、酯类等) 接触时, 经过一段时间后发生开裂的现象。

1 内盖材料的研究

1.1 实验材料与方法

1.1.1 熔融指数

熔融指数的测定方法与设备仪器等信息见表 1。

表 1 熔融指数测试

项目	测试条件	测试设备	测试标准
熔融指数	2.16 kg, 190 °C	承德金建	MFI-2322 GB3682-2000

1.1.2 耐环境应力测试

耐环境应力的测试方法与试验仪器等信息见表 2。

表 2 耐环境应力测试

项目	测试所用到的试剂	测试所用到的设备
耐环境应力测试	壬基酚聚氧乙烯基醚 (TX-10), 川东化学试剂厂	磁力搅拌器, 上海梅颖浦, H01-2 型; 水浴锅, 上海赫田, HH-US 型

1.1.3 实验方法

(1) 实验原料的准备

收集需进行胀破倾向测试的聚乙烯类内盖产品若干; 胀破实验的工装, 视内盖的具体尺寸, 事先加工好适宜尺寸的工装, 如有适宜的尺寸较大的瓶口组件也可直接将内盖上紧于瓶口上, 以备实验。

(2) 实验溶液的配制

加速内应力释放的实验溶液有两种, 一种为壬基酚聚氧乙烯基醚 (TX-10) 的水稀释溶液, 另一种为壬基酚聚氧乙烯基醚 (TX-10) 的纯溶液。

a. 混合实验溶液

将壬基酚聚氧乙烯基醚 (TX-10) 有机溶剂与清水按重量比 1:9 的比例配制成混合溶液, 用磁力搅拌器充分搅拌, 搅拌时间 1 h。

b. 纯壬基酚聚氧乙烯基醚 (TX-10) 溶液

(3) 实验过程

作者简介: 李海宽 (1977-), 男, 高级工程师, 主要从事高分子材料研究及塑料表面装饰工艺技术的研究。

将待测的内盖放入盛有实验溶液烧杯中，一起置于水浴锅或烘箱中，在 70 ± 2 °C 下进行保温。观察内盖破裂的情况并记录下发生破裂的时间。

1.2 实验结果与分析

1.2.1 熔融指数的测定

我们选取了注塑生产车间使用较多的注塑级 PE 来进行熔融指数的测试，测试结果见表 3。

表 3 部分聚烯烃类原料的熔指

原料名称及牌号	熔指 / [(g·(10 min) ⁻¹)]	原料名称及牌号	熔指 / [(g·(10 min) ⁻¹)]
LDPE 951-050	2.13	LLDPE 2045G	4.5
HDPE 025 025	8.16	LLDPE FB2230	3.0

1.2.2 耐环境应力

实验结果：表 4、表 5 为实验结果。

表 4 用纯实验溶液进行胀破实验的结果

内盖名称	时间 /min	内盖的破裂情况
内盖 1 (HDPE 025+LDPE 951-050, 一组为 24 只内盖)	30	22# 出现裂纹, 01#、04#、14#、17# 破裂
	60	07# 出现裂纹, 23#、24# 破裂
	120	05#、13# 出现裂纹, 7#、08#、09#、10#、19# 破裂
内盖 1 (纯 HDPE 025, 一组为 24 只内盖)	30	04#、17#、14# 破裂
	60	23# 破裂
	120	7#、8#、10#、19# 破裂
内盖 2 (纯 HDPE 025, 只选用 10 只内盖进行实验)	130	1 只出现破裂
	180	2 只出现破裂
	230	全部破裂
内盖 2 (HDPE 025+LDPE 951-050, 只选用 10 只内盖进行实验)	130	2 只破裂
	180	2 只破裂
	230	全部破裂

表 5 用 TX-10 水稀释溶液进行胀破实验的结果

内盖名称	时间 /min	内盖破裂情况
内盖 2 (新配方, 80%HDPE 025+20%LDPE 951-050, 选用 10 只内盖进行实验)	45	1 只
	55	1 只
	62	1 只
	73	1 只
	95	2 只
	120	2 只
内盖 2 (实验配方, 85%HDPE 025 025+15%LLDPE 2045G, 选用 10 只内盖进行实验)	120	1 只
内盖 2 (实验配方, 80%HDPE 025 +20%LLDPE 2045G, 选用 10 只内盖进行实验)	120	无一破裂
内盖 2 (实验配方, 75%HDPE 025 +25%LLDPE 2045G, 选用 10 只内盖进行实验)	120	无一破裂
内盖 2 (实验配方, 85%HDPE 025 +15%LLDPE FB2230, 选用 10 只内盖进行实验)	120	无一破裂
内盖 2 (实验配方, 80%HDPE 025 +20%LLDPE FB2230, 选用 10 只内盖进行实验)	120	无一破裂
内盖 2 (实验配方, 75%HDPE 025 +25%LLDPE FB2230, 选用 10 只内盖进行实验)	120	无一破裂
内盖 2 (新配方, 80%HDPE 025+20%LDPE951-050, 选用 10 只内盖进行实验, 用清水做空白实验)	120	无一破裂
内盖 2 (新配方, 80%HDPE 025+20%LDPE951-050, 选用 10 只内盖进行实验, 不用瓶口内插, 用 TX-10 的水稀释溶液做空白实验)	120	无一破裂

从实验结果可以看出，实验配方 HDPE 025+LLDPE FB2230 的效果较好，在实验的两小时内破裂数明显少于 HDPE 025+LDPE951-050 的。LDPE 分子链具有大量的长支链和短支链，形成高度支化的树状结构。分子链之间缠结较差，结晶度较低（通常为 45%~55%）。LLDPE 分子链是线性的，但带有均匀分布的短支链，分子链规整，更容易排列和结晶，结晶度较高（通常为 55%~65%）。LLDPE 卓越

的耐环境应力开裂性能，源于其线性主链与均匀短支链的协同作用。这种结构创造了更多、更强的分子链缠结，形成了细小均匀的晶体与坚固的系带分子网络，并增韧了无定形区，从而能极其有效地抑制和阻止微裂纹的萌生与扩展。另外，从两个空白实验结果可以看出，用水作溶剂或是没有用瓶口进行预先内插膨胀，在短时间内无法使内盖加速破裂，验证了 TX-10 对胀破的加速性。

2 注塑成型工艺影响研究

注塑成型工艺参数对 HDPE 内盖的应力开裂性能有决定性影响, 以下就熔体温度、模具温度、注射压力、保压压力、注射速度、冷却时间等几个方面逐一进行分析。

2.1 熔体温度

2.1.1 温度过低

熔体塑化不良, 流动性差, 分子链未能充分舒展和缠结, 制品内部容易形成熔接痕和微观缺陷, 成为应力集中点。同时, 熔体需要更高的注射压力, 增加了流动取向应力。

2.1.2 温度过高

可能导致聚合物降解, 分子链断裂, 降低材料的本征强度。同时, 冷却温差更大, 收缩不均, 可能增加热残余应力。因此, 在保证材料不降解的前提下, 适当提高熔体温度, 有助于降低熔体黏度, 减少充模所需的剪切应力^[1-4], 使分子链松弛更充分, 减少取向应力。

2.2 模具温度

2.2.1 温度过低

熔体接触冷模壁后急速冷却(骤冷), 表层和芯部产生巨大的温度梯度。表层迅速凝固, 分子链被冻结在高取向、非平衡状态; 芯部冷却收缩时受到已凝固表层的束缚, 产生很高的拉伸残余应力。同时, 急冷导致结晶不完善, 晶体结构松散, 抗开裂性差。

2.2.2 温度过高

冷却时间延长, 生产效率降低, 也可能导致制品脱模变形。因此, 适当提高模具温度, 允许分子链有更长时间进行松弛和重排, 减少取向和残余应力^[1-4]。

2.3 注射压力和保压压力

2.3.1 压力过高

尤其是保压压力过高, 会对正在凝固的熔体进行过度压缩。当浇口封死后, 内部物料继续冷却收缩会受到强大的外部压力束缚, 从而在制品内部产生巨大的收缩应力(保压应力)。

2.3.2 压力过低

可能导致充模不足、缩痕等缺陷。因此, 在保证完整充模和避免缩痕的前提下, 尽量使用较低的保压压力。

2.4 注射速度

2.4.1 速度过快

会产生极高的剪切应力, 导致分子链高度取向,

形成强烈的取向应力。特别是在浇口和薄壁处。

2.4.2 速度过慢

熔体前沿温度下降, 可能造成流动痕和熔接痕强度下降。因此, 采用中低速注射, 或使用多级注射, 以减小剪切和分子取向。

2.5 冷却时间

2.5.1 时间过短

制品未完全冷却固化就顶出, 容易变形, 且内部应力未充分松弛。

2.5.2 时间过长

影响生产效率。因此, 保证充分的冷却时间, 使制品在模内达到足够的刚度和尺寸稳定性后再顶出。

2.6 后处理

热处理(退火): 将成型后的内盖在低于其熔点的温度下(如 80~100 °C)加热一段时间, 然后缓慢冷却。这个过程可以使被冻结的分子链得到松弛, 消除部分残余应力, 并促进二次结晶, 使晶体结构更完善, 能显著提高抗应力开裂能力。

3 结论

3.1 内盖材料选择

酒类酒包装塑胶瓶盖内盖一般选用聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)等聚烯烃类材料, 这类材料无毒, 加工中塑化剂添加极少, 可满足密封和食品安全卫生要求, 是理想的食品包装材料。

3.2 内盖材料配方优化

实验配方 HDPE+LLDPE 的耐环境应力效果较好, LLDPE 卓越的耐环境应力开裂性能, 源于其线性主链与均匀短支链的协同作用。同时验证了壬基酚聚氧乙烯基醚(TX-10)有机溶剂对胀破的加速性。

3.3 内盖注塑成型工艺

注塑成型工艺是控制 HDPE 内盖应力开裂的关键环节, 通过系统地优化熔体温度、模具温度、保压压力等核心参数, 并辅以必要的后处理, 可以有效地解决 HDPE 内盖的应力开裂问题。

参考文献:

- [1] 邹耀邦, 王传龙, 张梅. 国内外白酒包装材料发展现状[J]. 中国包装, 2017, 37(11): 45-49.
- [2] 梁小刚, 黄焕婷. GC-MS 法测定白酒接触塑料材料中非邻苯类塑化剂 TXIB 的迁移量[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 265-271.
- [3] 田宇苏, 陈家琪. 食品包装 PET 中乙醛的迁移行为研究[J]. 中

国塑料, 2014,28(5):76-81.

- [4] 周刚.白酒包装关键塑料件加工、设计及安全性研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.
- [5] 莫玲, 郭桦. 压力锅密封圈橡胶制品的正己烷蒸发残渣检验影

响因素研究[J]. 机械, 2009,36(9):58-61.

- [6] 张智力, 王微山. 食品用密封圈正己烷蒸发残渣影响因素研究[J]. 包装工程, 2011,32(7):4-7.

Study on the environmental stress resistance of the inner cap of plastic bottle caps for wine packaging

Li Haikuan, Wen Haoyu, Gao Lingqiang

(Sichuan Yibin Plastic Packaging Materials Co. LTD., Yibin 644007, Sichuan, China)

Abstract: To address the issue of environmental stress cracking (ESC) susceptibility in HDPE inner lids used in wine packaging, this paper screens raw materials through melt index testing, designs a rapid material screening method, and optimizes material formulations and injection molding processes. Experiments show that the HDPE and LLDPE composite formulation (such as 75%~85% HDPE 025 combined with 15%~25% LLDPE 2045G/FB2230) exhibits the best resistance to ESC, with no cracking observed during a 120-minute test. By establishing an injection molding process window characterized by "low stress, slow cooling, and high relaxation," optimizing core parameters such as melt temperature and mold temperature, and supplementing with an annealing treatment at 80 to 100°C, the residual stress in the inner lid can be significantly reduced. The research findings provide clear technical guidance for production, effectively enhancing the reliability and service life of the inner lid.

Key words: HDPE; inner lid; stress cracking; injection molding process

(R-03)

米其林牵头，启动“未来橡胶”研发项目

Michelin takes the lead in launching the "Future Rubber" research and development project

近日，世界最大轮胎制造商米其林集团携手法国国家科学研究中心（CNRS）、法国顶尖工程学院里昂国立应用科学学院（INSALyon）、里昂第一大学和让·莫内大学联合组建“未来橡胶”研究实验室——PolMixLab，旨在研究和开发具有高可持续性认证的新一代“未来橡胶”。

4月23日，米其林集团针对这次产学研合作发布了相关声明。米其林表示，本次合作旨在研发全新生态设计、可循环利用、高性能且生产能耗更低新型聚合物材料。

据悉，该项目将通过三个研究重点“突破聚合物材料的技术极限”，在4年内完成推进。研究重点是通过数字模拟减少制造弹性体材料所需的能量，同时保障所得混合物的“质量和均匀性”；通过整合聚合物配方阶段的“短循环回收”来提高弹性体的环境友好程度，减少碳足迹、延长材料寿命和性能优化；通过“创新技术”获得超越当前性能极限的新型弹性体材料。

米其林表示，这项研究包括从生物资源中开发材料，以及对材料生命周期评估的控制，为“轮胎以外的众多工业应用”创造解决方案。此次合作研发出来的未来橡胶将不仅应用在轮胎产品中，也将应用于如医疗、航空和高性能工业设备的非轮胎应用的橡胶领域。

作为全球最大的轮胎制造商（米其林2025年的销售额达到2105亿元人民币，几乎是中国上市轮胎企业的总和），米其林近几年在继续保持自己庞大市场份额的同时，也在努力探索其可持续、多元化发展道路。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)