

Study on the optimization of manufacturing process of anti-bending and pressure skin contact PVC pad

Wei Jian Li

Guangdong Yuanhua New Material Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528531, China

Abstract

This paper focuses on the manufacturing process of anti-folding and pressure-resistant skin-friendly PVC pads, aiming to address issues such as poor skin-friendliness, insufficient anti-folding and pressure resistance, and the tendency for plasticizers to leach out in traditional PVC pads. The study uses two PVC resin powders with different average polymerization degrees as the main raw materials, achieving a molecular-level 'graded' effect through precise blending. It also introduces environmentally friendly plasticizer DINCH and modified fillers to optimize the synergistic effect of each component. In terms of the process flow, the order and viscosity of slurry mixing are strictly controlled, and a layered coating and multi-stage temperature increase foaming strategy is employed, with meticulous management of parameters at each stage. The performance test results show that the optimized PVC pad has a tensile strength of 12.0 MPa, an anti-folding and pressure rebound rate of 82%, and a low migration amount of plasticizer to 0.28 mg/cm², with significant improvements in all performance metrics.

Keywords

PVC Pad; Process optimization; Foaming temperature control; Resistance to bending pressure

抗折压亲肤 PVC 垫的制造工艺优化研究

李伟健

广东远华新材料股份有限公司, 中国·广东 佛山 528531

摘要

本文围绕抗折压亲肤 PVC 垫的制造工艺展开研究,旨在解决传统 PVC 垫亲肤性差、抗折压性能不足以及增塑剂易析出等问题。研究采用两种不同平均聚合度的 PVC 糊树脂粉作为主体原料,通过精准配比实现分子级“级配”效应,同时引入环保型增塑剂 DINCH 及改性填料,优化各组分协同作用。在工艺流程方面,严控浆料混合顺序与粘度,采用分层涂布与多阶段升温发泡策略,精细化管理各环节参数。性能测试结果表明,优化后的 PVC 垫拉伸强度达 12.0 MPa,抗折压回弹率达 82%,增塑剂迁移量低至 0.28 mg/cm²,各项性能显著提升。

关键词

PVC垫; 工艺优化; 发泡温控; 抗折压

1 引言

聚氯乙烯(PVC)材料因其良好的弹性、较高的强度、较好的耐化学腐蚀性以及相对较低的生产成本,在众多领域得到了广泛的应用,尤其是在瑜伽垫、运动垫等产品中,PVC材料凭借其成本优势和相对较好的物理性能,占据了较大的市场份额。随着消费者对产品质量和使用体验要求的不断提高,现有PVC垫在实际使用过程中逐渐暴露出一些问题,严重制约了其进一步的应用和发展。由于PVC材料本身的特性,在与皮肤直接接触时,往往会给人一种生硬、冰冷的感觉,长时间使用容易导致使用者出现不适感,如皮肤瘙痒、过敏等现象,这在很大程度上降低了使用者在运动

过程中的舒适度,影响了产品的使用体验。^[1]在实际使用过程中,瑜伽垫或运动垫常常需要进行折叠、弯曲等操作,而传统的PVC垫在经过反复折叠后,容易在折痕处出现折纹,且难以恢复原状,使得产品在后续使用过程中容易在折痕处出现破损,从而缩短了产品的使用寿命,增加了消费者的使用成本。

本研究通过对PVC材料组成和制备工艺的深入研究,揭示了不同原材料和工艺参数对PVC垫性能的影响机制,丰富了PVC材料科学领域的理论知识,为后续的材料研发和性能优化提供了有力的理论支持。从实际应用角度来看,成功开发出的抗折压亲肤PVC垫能够有效解决现有PVC垫存在的诸多问题,显著提高了PVC垫的使用性能和用户体验,满足了市场对高品质、环保型PVC垫产品的需求,有助于推动PVC材料在瑜伽垫、运动垫等领域的广泛应用,促进相关产业的升级和发展。

【作者简介】李伟健(1987-),男,中国广东佛山人,硕士,工程师,从事化工工艺技术研究。

2 材料与方法

本研究所使用的主要成膜材料为聚氯乙烯(PVC)糊树脂粉,为了实现PVC垫在抗折压性能与亲肤性之间的平衡,选用了两种具有不同平均聚合度的PVC糊树脂作为主体原料。第一种PVC糊树脂粉的聚合度控制在1500~1700之间,具备较高的分子链长度,提供较强的力学强度和骨架支撑能力;第二种PVC糊树脂粉的聚合度则控制在1000~1200之间,具有更好的流动性和柔韧性,便于加工与涂布。^[2]两种糊树脂的质量份配比范围均为120~140份,通过聚合度差值控制在300~700的范围内,从而实现分子级“级配”效应,增强链段交联程度,使得最终发泡结构具有优异的弹性和韧性。这种“错位聚合度”的策略是本研究材料体系中的关键创新之一,不仅提高了产品的抗折压能力,也为结构的柔顺性和肤感提供了保障。

为进一步优化成品垫体的物理性能和使用体验,本研究在配方中引入了新型环保型增塑剂——环己烷-1,2-二羧酸二异辛酯(DINCH),其用量控制在270~330份范围内。DINCH具有较大的分子量和极佳的相容性,其独特的环己烷结构能够与PVC的分子链段发生有效的缠绕和嵌入作用,不仅增强了PVC分子间的柔性连接,还能有效避免在使用过程中因外部应力或高温条件导致的增塑剂迁移现象。^[3]实验过程中进一步发现,DINCH的存在显著提升了垫体的肤感特性,在手触试验中表现出良好的柔顺度和亲肤性。配方中还添加了10~12份的发泡剂,以形成闭孔型的弹性结构;稳定剂则控制在7~8份之间,用于在高温发泡过程中保持分子链结构的稳定,防止热降解或相分离现象的发生。通过对发泡剂与稳定剂之间的比例关系精确控制,实现了优质的泡孔结构与材料整体均匀性。

为提升垫体的综合力学性能与表面亲肤质感,本研究还引入了20~30份的无机改性填料。选用的填料包括轻质碳酸钙、白炭黑、钛白粉等常见增强材料,这些填料首先经由有机硅改性环氧树脂处理后,获得了良好的表面活性与树脂相容性,在结构上呈现出球形颗粒状、粒径分布在2000~2500目之间。这种表面改性可在涂布与发泡过程中保持粒子在浆料体系中的均匀分散,避免出现聚团沉淀的问题,不仅增强了发泡层的结构支撑作用,还通过表面微观结构变化提升了亲肤性能。改性填料还兼具增强耐磨、抗紫外老化的效果,有效延长了产品的使用寿命。在实验方法方面,采用半连续混炼或高速搅拌机对原料进行混合制浆。初始阶段将PVC树脂粉与增塑剂等干粉原料按一定顺序投入搅拌设备中进行初步混合。搅拌时间设定为10~15分钟,转速控制在300~400r/min,以确保干粉原料能够充分接触并均匀混合,为后续加工奠定良好基础。依次加入发泡剂、稳定剂以及改性填料等其他组分,继续进行搅拌操作,直至所有原料均匀融合在一起,形成均匀一致的浆料体系。^[4]搅拌时间延长至20~30分钟,转速提升至500~600r/min,以保证各组

分能够在浆料中充分分散和均匀混合。为了准确评估浆料的流变特性,实验过程中使用旋转粘度计测量浆料的粘度,特别关注底层浆料的粘度是否达到预定要求,即粘度不低于20000 mPa·s。

首先将底层浆料涂覆于涤纶丝网布上。涂刮时,务必使底层浆料较完全地渗透至涤纶丝网布的下方,但又不掉浆。底层浆料涂刮完成后,先在100~110℃下塑化定型,定型时间为3~5分钟。定型结束后,再涂刮面料层浆料,涂刮完成后,送入发泡炉中发泡。发泡炉中各区温度为:一区温度185~190℃、二区温度210~215℃、三区温度210~215℃、四区温度160~165℃,发泡时间为10~15分钟。发泡结束后,得到抗折压亲肤PVC垫。各组样品配方和混合步骤需在恒温下进行,以保证数据可比性。

3 工艺流程与优化策略

制备过程始于底层浆料的制作,需先将底层原料按配比投入搅拌设备,以300~400r/min的转速持续搅拌10~15分钟,直至混合均匀。随即使用旋转粘度计测量粘度,严控底层浆料粘度不低于20000 mPa·s,防止涂布作业因高聚合度PVC过早凝胶化而影响质量。在底层浆料制备达标后,紧接着按配比投料制备面层浆料,同样以300~400r/min转速搅拌10~15分钟至均匀,随后备用。实践证明,此搅拌顺序可规避高聚合度PVC过早凝胶化风险,同时确保底层与面层间黏附紧密,为后续加工工序筑牢根基。

浆料粘度控制,底层浆料粘度过高易致流挂、涂层不均,过低则易渗漏、结构受损。通过调整溶剂用量与搅拌时间精细控制粘度,确定底层浆料粘度不小于20000 mPa·s为宜。在实验操作中,利用粘度计在线实时监测粘度变化,一旦偏离目标区间,便分批、少量添加增塑剂或溶剂进行微调。当粘度略低时,缓慢滴加少量增塑剂,边加边搅拌,直至粘度回至合规范围;反之,若粘度过高,适当添加溶剂予以稀释。^[5]

双层结构涂布工艺采用刮刀在涤纶网布上实施分层涂布,先将底层浆料均匀涂覆于平整的涤纶丝网布之上,随即送入预热区,在100~110℃下塑化定型3~5分钟,使其达半固化状态。以此为基底,再涂刮面层浆料,完成双层叠加,使底层有力承托并赋予回弹力,面层则优化触感与外观。为精准控厚,调节刮刀与基材间隙,参考PVC发泡壁纸工艺,将涂布厚度锁定在0.6~1.2mm,同步调整涂布速度,如在涂布速率偏快时适度放缓,保障厚度均匀。涂布完成后送入预烘箱,150℃下预塑化3~5分钟,促使PVC树脂充分塑化但不完全发泡,最后将双层网带送入分段控温的发泡炉,总体温度160~220℃,借鉴PVC人造革工艺,多阶段升温,依次设温约172~178℃、187~192℃、218~224℃,每阶段停留2~3分钟,让PVC树脂分步渐进塑化发泡,规避温度骤升破泡,促使泡孔结构均匀细腻。发泡完成后,缓慢冷却定型,成品PVC垫便得以成型。

4 性能测试与分析

拉伸强度测试作为衡量 PVC 垫力学性能的核心指标，采用了 GB/T 1040 标准的万能材料试验机，对制备样品的纵横两个方向进行极限拉伸试验。每组样品至少开展三次独立试验，记录断裂时的最大拉力与相应的断裂伸长率，并计算平均值与标准偏差。试验结果不仅反映了 PVC 树脂聚合度配比和填料添加对力学性能的调控效果，也为优化发泡温度和涂布厚度提供了数据支撑。为直观揭示材料在连续应力作用下的变形与断裂特征，配合高分辨率摄像系统同步记录样品拉伸破坏过程，为后续断裂机理分析奠定了基础。

在本研究中，我们设计了“200 次双向折叠—静置恢复”循环试验，并利用光学显微镜对折叠部位的表面微观皱痕进行图像采集与深度测量，同时采用 ISO 2439 标准的回弹率测试方法，评估样品在压力解除后恢复原状的效率。测试结果揭示了双层涂刮结构与分段升温发泡工艺对泡孔结构完整性和整体回弹性的强化作用。通过对比不同工艺条件下折痕深度及回弹率的显著差异，我们能够量化各工艺优化措施对抗折性的提升程度，为后续工艺参数的精细化调控提供

参考。

5 对比实验与讨论

在本研究中，为系统评估 PVC 聚合度配比、改性填料含量及发泡温控策略对成品性能的综合影响，我们设计了四组对比实验：

A 组（基准配方）：PVC1:PVC2 = 1:1，无改性填料，恒温发泡（200℃）；

B 组（聚合度调整）：PVC1:PVC2 = 1:1.5，无改性填料，恒温发泡；

C 组（填料添加）：PVC1:PVC2 = 1:1，加改性填料 25 份，恒温发泡；

D 组（综合优化）：PVC1:PVC2 = 1:1.5，加改性填料 25 份，分段升温发泡（180℃→210℃→160℃）。

各组样品按相同的混炼、涂刮与预塑化流程制备，所有数据均为三次试验平均值，并计算了标准偏差。主要测试指标包括：拉伸强度、断裂伸长、抗折压回弹率及增塑剂迁移量四项，如表 1 所示。

表 1 测试数据

样品组别	拉伸强度 (MPa)	断裂伸长 (%)	抗折压回弹率 (%)	增塑剂迁移量 (mg/cm ²)
A 组	8.5 ± 0.2	180 ± 5	65 ± 3	0.45 ± 0.02
B 组	9.8 ± 0.3	165 ± 4	68 ± 2	0.42 ± 0.03
C 组	10.2 ± 0.4	175 ± 6	75 ± 3	0.30 ± 0.01
D 组	12.0 ± 0.5	160 ± 5	82 ± 2	0.28 ± 0.02

从表 1 的数据可以看出：

聚合度配比影响：将 PVC1:PVC2 由 1:1 调整为 1:1.5（A 组→B 组），样品的拉伸强度提升约 15%，显示更高聚合度树脂的强化作用；但断裂伸长略有下降（180%→165%），表明柔韧性有所折中；抗折压回弹率小幅提升，增塑剂迁移量则略降，说明 DINCH 在不同树脂网络中都能有效抑制迁移。

改性填料作用：在 A 组基础上添加 25 份球形改性填料（C 组），拉伸强度增至 10.2 MPa（较 A 组增长 20%），回弹率提升至 75%，且增塑剂迁移量显著下降至 0.30 mg/cm²，表明填料不仅增强了泡层刚性，还通过表面结构改善，进一步抑制了增塑剂析出，同时保持了较高的断裂伸长。

分段升温优化：综合采用聚合度 1:1.5、25 份改性填料和分段加热发泡（D 组），样品性能达到最优：拉伸强度 12.0 MPa，抗折压回弹率 82%，断裂伸长 160%，增塑剂迁移量最低仅 0.28 mg/cm²。分段升温使得泡孔结构更均匀、网格支撑更牢固，从而在保持合适柔韧性的同时，实现了最佳的力学性能和环保指标。

6 结语

通过对抗折压亲肤 PVC 垫制造工艺的系统优化，成功克服了传统 PVC 垫的多项性能瓶颈，实现了材料性能与环保特性的协同提升。在材料选择上，两种不同聚合度 PVC

糊树脂粉的搭配使用，为 PVC 垫提供了优异的力学支撑与柔韧性平衡。改性填料的应用进一步强化了材料的综合性能，提升了耐磨性与抗紫外老化能力，延长了产品使用寿命。在工艺优化方面，浆料混合顺序的合理安排与粘度精准控制，确保了涂布质量与涂层均匀性。双层结构涂布工艺结合多阶段升温发泡策略，使泡孔结构均匀细腻，材料回弹性显著增强。对比实验数据充分证实了优化方案的有效性，各项性能指标均达到优良水平。

总体而言，本研究不仅为抗折压亲肤 PVC 垫的工业化生产提供了科学依据与技术指导，还为 PVC 材料在高端应用领域的拓展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 郭琦.发泡PVC的生产工艺及其在装饰材料中的应用[J].合成树脂及塑料, 2023, 40(2):78-81.
- [2] 吉玉碧,蒋杰,武涛,等.增塑剂对PVC溶胶发泡性能的影响[J].塑料, 2023(5):46-50.
- [3] 高贺男,郭超,高贺昌,等.两种增塑剂在NBR/PVC发泡材料中的应用研究[J].化工新型材料, 2023, 51(S02):613-617.
- [4] 黄东,丁国军,张维芳.PVC/无机复合发泡材料的制备及性能研究[J].聚氯乙烯, 2024, 52(5):9-12.
- [5] 刘洁,张丽丽,邹鹏飞,等.环境温度对PVC低发泡板性能的影响[J].当代化工研究,2022(24):57-59.