

基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用研究

林炎群

广州市隆创新材料有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025110044

摘要 : 该研究围绕热熔胶技术管理下触摸屏贴合光学胶开发与应用展开, 涵盖材料流变特性、工艺、设备等多方面。探讨温度、压力对材料影响, 建立材料 – 工艺映射关系等; 开发六轴机械手定位系统、温度压力耦合系统等; 进行设备健康管理, 改进胶材配方及工艺; 还涉及产线实践、医疗应用等, 成果为3C电子行业提供借鉴。

关键词 : 触摸屏贴合光学胶; 热熔胶技术; 工艺优化

Development and Application of Touch Screen Optical Adhesive based on Hot Melt Adhesive Technology Management

Lin Yanqun

Guangzhou Launch New Materials Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This research focuses on the development and application of touch screen optical adhesive under the management of hot melt adhesive technology, covering material rheological properties, process, equipment and other aspects. The effects of temperature and pressure on materials were discussed, and the material process mapping relationship was established; Develop six axis manipulator positioning system, temperature and pressure coupling system, etc; Carry out equipment health management and improve rubber formula and process; It also involves production line practice, medical applications, etc. The results provide reference for 3C electronics industry.

Keywords : touch screen with optical adhesive; hot melt adhesive technology; process optimization

引言

《国家智能制造标准体系建设指南（2021年版）》旨在推动制造业智能化转型, 为工业领域技术研发与应用提供方向指引。在这一政策背景下, 基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用研究意义重大。从流变特性影响贴合质量, 到借助软件模拟界面应力分布, 再到非标自动化贴合装备的关键系统开发等多个方面展开深入探讨, 同时在汽车电子、医疗显示等不同应用场景下进行工艺优化与技术验证, 并制定工艺标准和设备验收标准, 这些研究成果为3C电子行业在设备开发与工艺优化方面提供了重要方法论, 对推动行业技术进步具有积极意义。

一、热熔胶贴合技术基础理论研究

(一) 热熔胶光学胶材料流变特性

热熔胶光学胶材料的流变特性对于触摸屏贴合质量至关重要。在不同温度条件下, EVA/PUR 基胶粘剂的黏弹性会发生显著变化。温度升高, 分子热运动加剧, 胶粘剂的黏度降低, 流动性增强, 这使得胶粘剂更容易在触摸屏贴合过程中填充间隙, 减少气泡产生的可能性^[1]。而压力同样会影响其流变特性, 适当增加压力, 胶粘剂分子间距离减小, 相互作用力增强, 有助于提升其黏弹性, 改善贴合效果。同时, 深入探究黏弹性变化规律与贴合气泡缺陷的关联机制发现, 当胶粘剂黏弹性不适时, 如黏

度过高或过低, 都可能导致气泡难以排出, 从而形成贴合气泡缺陷。因此, 精准掌握热熔胶光学胶材料在不同温度 / 压力下的流变特性, 对优化触摸屏贴合工艺、减少气泡缺陷意义重大。

(二) 触控模组界面应力分布模型

在触控模组中, 界面应力分布对其性能至关重要。借助ANSYS软件建立叠层结构受力有限元模型, 能够有效模拟触控模组的实际工况^[2]。通过该模型, 深入分析贴合压力与保形时间这两个关键因素。贴合压力不同, 会使各层之间的相互作用力改变, 进而影响应力在界面的分布情况; 保形时间长短则关系到材料内部应力松弛程度, 时间过短, 应力无法充分释放, 可能导致ITO电路出现变形甚至损坏。揭示贴合压力、保形时间对ITO电

路完整性的影响规律，可精准把握触控模组界面应力分布，为基于热熔胶技术的触摸屏贴合光学胶开发提供重要的理论依据，助力优化贴合工艺，提升触控模组整体性能。

二、非标自动化贴合装备开发

(一) 六轴机械手精确定位系统

在非标自动化贴合装备开发中，六轴机械手精确定位系统极为关键。该系统通过设计视觉定位补偿算法，有效实现了 $\pm 0.02\text{mm}$ 的贴合精度。此算法借助先进的视觉识别技术，对贴合位置进行实时监测与分析，精准捕捉可能出现的偏差，并迅速做出补偿调整，确保贴合的高精度。同时，开发基于EtherCAT总线的多轴同步控制方案。EtherCAT总线具有高速、高精度的数据传输能力，能实现多轴之间的精准同步控制，使六轴机械手各轴协调运作，进一步提升定位的准确性。两者相辅相成，共同保障了六轴机械手在触摸屏贴合光学胶过程中的精确定位，为基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用奠定坚实基础^[3]。

(二) 模块化温度压力耦合系统

模块化温度压力耦合系统是该非标自动化贴合装备开发的关键部分。通过研制分区温控压合机构，能够达成温度在 $0 - 200^\circ\text{C}$ 之间的梯度控温，同时实现 $0.1 - 5\text{MPa}$ 压力的精准闭环调节。这种模块化设计，可灵活根据不同触摸屏贴合光学胶的热熔胶技术要求，快速调整温度与压力参数。系统内各模块紧密协作，确保温度与压力能有效耦合，精准匹配贴合工艺。分区温控可避免因整体温度过高或过低对光学胶性能产生不利影响，压力精准闭环调节则保障贴合的紧密性与均匀性。该系统为基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发提供了可靠的温度与压力控制基础，助力提升贴合质量与效率^[4]。

三、智能控制技术体系构建

(一) 工艺参数专家数据库系统

1. 材料 – 工艺映射关系建模

在基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用研究中，材料 – 工艺映射关系建模至关重要。通过深入分析材料特性与工艺之间的内在联系，为智能控制技术体系的构建奠定基础。具体而言，以胶层厚度、温度及压力参数为核心要素，运用GA – BP神经网络建立智能匹配模型^[5]。该模型将材料特性数据与工艺参数进行精准映射，有效揭示材料在不同工艺条件下的表现。通过大量实验数据对模型进行训练与优化，确保其准确性和可靠性，从而实现材料与工艺的科学匹配，提升触摸屏贴合光学胶的开发与应用效果，为工艺参数专家数据库系统提供关键支撑，助力整个智能控制技术体系的高效运行。

2. 自学习优化算法设计

在基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发中，自学习优化算法设计对实现贴合质量迭代优化至关重要。设计开发基于强化学习的自学习优化算法，该算法以贴合过程中的实际数据，如温

度、压力、时间等工艺参数以及贴合质量指标作为输入，通过不断试错和学习，在动态环境中寻找最优的工艺参数组合。算法在每次贴合操作后，依据实际贴合质量与预期质量的差异，自动调整下一次贴合的工艺参数。通过强化学习机制，算法能够逐渐掌握不同工况下的最佳参数设置，使贴合质量不断迭代优化，从而有效提升触摸屏贴合光学胶的贴合效果和稳定性^[6]。

(二) 设备健康管理与系统开发

1. 振动信号特征提取技术

在设备健康管理系统开发的振动信号特征提取技术方面，应用小波包分解方法来提取伺服电机轴承的故障特征频率。小波包分解能够对信号进行多分辨率分析，将振动信号分解到不同频段，更细致地捕捉其中蕴含的故障信息。通过该方法，可有效分离出与故障相关的特征频率成分，从而精准识别轴承的运行状态。基于这些提取的故障特征频率，进一步建立设备状态监测模型^[7]。该模型能实时监测设备运行过程中的振动信号，依据已提取的特征频率进行分析判断，及时发现设备潜在故障，为设备的维护与管理提供有力依据，保障设备稳定运行，提高基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用过程中设备的可靠性。

2. 预测性维护策略研究

预测性维护策略研究旨在通过构建基于LSTM的剩余使用寿命预测模型，结合触摸屏贴合光学胶在热熔胶技术管理下的实际应用情况，精准预估设备部件的剩余寿命。LSTM模型能够有效处理时间序列数据，捕捉设备运行状态的动态变化，为预测性维护提供可靠的数据支持。基于预测结果，制定智能维护决策矩阵，综合考虑维护成本、生产影响等因素，确定最佳的维护时机与方式，避免过度维护或维护不足的情况发生。该策略不仅能提高设备运行的稳定性与可靠性，保障触摸屏贴合光学胶的生产质量，还能通过优化维护计划降低总体维护成本，实现基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发与应用的高效运行^[8]。

四、工程应用验证与优化

(一) 车载触控模组产线实践

1. 环境适应性改造方案

为满足汽车电子 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 的工况要求，对触摸屏贴合光学胶进行胶材配方改进和压合工艺窗口调整。在车载触控模组产线实践中，首先模拟实际工况环境，对改进后的光学胶进行测试。将采用新配方和工艺的触控模组放置于高低温试验箱内，按照设定的温度区间循环测试，记录模组的贴合效果、光学性能等指标。依据测试结果，若发现模组在特定温度下出现脱胶、光学畸变等问题，进一步优化胶材配方，如调整热熔胶的成分比例，增强其在极端温度下的粘性和稳定性^[9]。同时，对压合工艺进行微调，如改变压合温度、压力及时间，确保在不同温度环境下都能实现良好的贴合。通过不断验证与优化，提升光学胶在车载触控模组中的环境适应性。

2. 设备联机效率优化

在车载触控模组产线实践中，设备联机效率优化至关重要。

通过 OPC UA 协议实现与 MES 系统的数据互通是关键举措。借助该协议，设备之间以及设备与 MES 系统间能够高效、准确地传输数据，实现生产过程的实时监控与管理^[10]。这不仅使得各设备间的协同作业更为顺畅，减少了因信息不畅导致的等待时间与故障发生概率，还能够对生产流程进行精细化调控。最终，成功优化设备综合效率 OEE 达 23%，显著提升了车载触控模组产线的整体生产效率，确保了基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶在实际生产中的高效应用，为企业带来了更大的经济效益与市场竞争力。

（二）医疗显示设备项目应用

1. 无菌环境控制技术

在医疗显示设备项目应用中，无菌环境控制技术极为关键。通过开发正压洁净腔体与 UV 消毒系统，为基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶提供满足 GMP 标准的生产环境。正压洁净腔体可有效防止外部污染物进入，维持内部环境的洁净度，确保光学胶在无污染的条件下进行贴合操作。UV 消毒系统则利用紫外线对腔体内部进行定期消毒，进一步杀灭可能存在的微生物，保障生产环境无菌。在工程应用验证阶段，对腔体的正压值、洁净度等级以及 UV 消毒效果进行严格监测与评估，依据验证结果进行针对性优化。例如，根据洁净度检测数据调整正压值，或依据微生物检测结果优化 UV 消毒时间与强度，从而不断完善无菌环境控制技术，保障医疗显示设备生产的高质量与安全性。

2. 缺陷智能检测系统

在医疗显示设备项目应用中，缺陷智能检测系统基于集成显微 AOI 设备与深度学习算法，对触摸屏贴合光学胶的 3 μm 级贴合缺陷进行自动识别。实际工程应用验证时，将该系统部署到医疗显示设备生产线上，对大量触摸屏贴合样本进行检测，收集检测数据以评估系统的准确率、召回率等关键指标。若发现系统对某些特殊类型的贴合缺陷识别效果不佳，便针对性地优化深度学习算法的模型参数，或者调整显微 AOI 设备的光学参数与采集参数。持续优化后，提升系统在医疗显示设备生产中对触摸屏贴合光学胶 3 μm 级贴合缺陷的检测性能，确保医疗显示设备的高质量生产。

（三）技术规范体系建设

1. 工艺标准制定

工艺标准制定围绕覆盖 8 类消费电子产品的光学胶贴合作业

参考文献

- [1] 王璐璐. 基于 LCD 的金属网格触摸屏光学特性仿真与分析 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- [2] 陈碧莲. 无机粉末影响 EVA 热熔胶剪切强度的机理研究及热熔胶的制备 [D]. 武汉科技大学, 2023.
- [3] 仲康. 基于动态肟氨基键的热熔胶 [D]. 东华大学, 2021.
- [4] 倪小月. 多模态癌症光学纳米诊疗体系的开发与应用 [D]. 南京邮电大学, 2022.
- [5] 黄李容. 中学物理光学自制教具的开发与应用研究 [D]. 湖南理工学院, 2022.
- [6] 邱旭蒙, 陈云昌, 郑赛, 等. 灌胶贴合过程的数值模拟研究 [J]. 光电子技术, 2024, 44(1): 34–37.
- [7] 姚永新, 王龙梅. 触摸屏用保护膜光学性能评价研究 [J]. 玻璃搪瓷与眼镜, 2021, 49(9): 1–4.
- [8] 李安文. 触摸屏的光学和电子测试技术研究及讨论 [J]. 今日自动化, 2022, (2): 175–178.
- [9] 瓦克推出 Mini LED 专用光学贴合有机硅胶水 [J]. 有机硅材料, 2023, 37(6): 13–13.
- [10] 陈忠德, 曹玲玲. 底盘修饰胶的开发与应用 [J]. 现代涂料与涂装, 2023, 26(3): 39–41.

展开。需明确不同消费电子产品在尺寸、形状、功能需求等方面对光学胶贴合的特殊要求，依此制定相应的贴合温度、压力、时间参数标准。例如，对于屏幕尺寸较小、结构紧凑的智能手表触摸屏，需在较低温度与适中压力下快速贴合，防止部件受损；而平板电脑触摸屏面积大，贴合时间可适当延长，压力分布要更均匀。同时，规范光学胶涂布工艺标准，如涂布厚度、均匀度等，保证光学胶在不同电子产品上都能实现良好的光学性能与粘结效果，提升产品整体质量与稳定性。

2. 设备验收标准建立

基于热熔胶技术管理的触摸屏贴合光学胶开发应用，需建立科学的设备验收标准。为此制定包含 36 项关键指标的自动化设备验收技术规程。这 36 项关键指标涵盖设备的精度、稳定性、运行速度等多方面。如精度方面，对涂胶厚度、位置偏差等进行严格量化规定，确保贴合精度符合光学胶应用要求。稳定性指标则考察设备在长时间运行过程中各项参数的波动范围，避免因设备不稳定导致产品质量问题。运行速度指标与生产效率紧密相关，需在保证贴合质量前提下，设定合理速度范围。通过对这些关键指标的明确规定，为自动化设备验收提供可靠依据，保障基于热熔胶技术的触摸屏贴合光学胶生产过程的稳定性与产品质量。

五、总结

本研究基于热熔胶技术管理对触摸屏贴合光学胶展开开发与应用探讨，成果丰硕。提出的热熔胶智能贴合装备模块化设计方案，优化了设备结构，提高了生产效率与灵活性。验证有效的工艺控制模型，为精准控制贴合过程提供了科学依据，保障了产品质量的稳定性。形成的可复制技术管理规范体系，更是为 3C 电子行业在设备开发与工艺优化方面贡献了实用的方法论。这些成果不仅推动了触摸屏贴合光学胶领域的技术进步，还为整个 3C 电子行业的发展提供了重要的借鉴与参考，有助于行业内企业提升技术水平和市场竞争力，在未来发展中占据更有利的地位。