

环保型纸吸管工艺要素的优化设计探究

丁文良

嘉兴市外卖哥餐具科技有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8699

[摘要] 全球环保意识持续提升、塑料污染问题加剧，世界各国特别是欧洲国家正在加大力度禁塑，这使传统塑料吸管的环境危害逐步显现。纸吸管作为环保替代的主流产品，已在餐饮行业广泛应用，但它在使用体验、生产花费与环保成效方面仍存在优化空间。通过对工艺环节开展科学设计与优化，可提升纸吸管品质、降低生产能耗、减少环境影响，这既契合可持续发展战略方向，也能为相关产业升级提供技术支撑，兼具社会价值与经济效益，文章研究了环保型纸吸管工艺要素的优化设计，期望能为相关人员提供参考。

[关键词] 环保型；纸吸管；工艺优化；设计探究

Exploration into the Optimization Design of Process Elements for Environmentally Friendly Paper Straws

Ding Wenliang

Jiaxing Waimai Brother Tableware Technology Co., Ltd.

[Abstract] Global environmental awareness continues to rise, and plastic pollution is intensifying. Countries around the world, especially in Europe, are increasing their efforts to ban plastic, which has gradually highlighted the environmental hazards of traditional plastic straws. Paper straws, as mainstream environmentally friendly alternatives, have been widely used in the catering industry, but there is still room for optimization in terms of user experience, production costs, and environmental effectiveness. By carrying out scientific design and optimization of the process, the quality of paper straws can be improved, production energy consumption can be reduced, and environmental impact can be minimized. This not only conforms to the direction of sustainable development strategy, but also provides technical support for the upgrading of related industries, and has both social value and economic benefits. The article studies the optimization design of environmentally friendly paper straw process elements, hoping to provide reference for relevant personnel.

[Key words] environmentally friendly; Paper straws; Process optimization; Design exploration

现代工业发展过程中，塑料制品广泛应用带来许多环境问题，一次性塑料吸管因难降解特性成为海洋污染主要来源及日常微塑料进入人体的风险，各国政府陆续出台限塑政策助推环保替代产品研发应用。纸吸管作为可生物降解的绿色产品，市场需求呈快速增长趋势，实际生产时在保障产品性能基础上实现工艺优化，成为行业面临的关键挑战。因此深入分析生产要素互动机制、构建科学工艺设计体系，对提升产品质量、降低生产支出、增强市场竞争力有明显推动作用。

一、环保型纸吸管生产工艺要素分析

(一) 环保原料甄选与预处理

环保原料的科学甄选是纸吸管生产的基础前提，直接决定产品环保属性与核心性能，规范的预处理流程还能后续工艺筑牢质量基础。原料选择时优先锁定含原生纤维素占比超 90% 的食品级原纸，木纤维、竹纤维等可降解基材是优选方向，且需要符合食品接触材料安全标准以规避有害化学添加剂。预处理环节核心围绕原料质检与适度调理展开，先对原纸尘埃度、

亮度、抗张强度等指标开展严格检测以匹配吸管原纸专项要求,再依托恒温恒湿环境调控原纸水分至适宜加工区间,规避后续涂布或卷绕环节开裂、起皱问题,同时清除原纸表面杂质以强化后续涂层附着效果与层间结合力,为产出兼具安全性与稳定性的环保纸吸管提供支撑。

(二) 功能性涂层制备与涂布

功能性涂层是保障纸吸管防水防油性能的关键环节,其配方设计与涂布工艺需要兼顾环保性与实用性,同步严格控制涂层参数以保障均匀性与附着牢度。涂层材料需要选用可生物降解的环保体系,优先采用乙烯丙烯酸共聚物乳液、羧甲基纤维素钠或疏水性生物蜡等绿色原料,科学调配涂层混合液成分比例并精准控制固含量与黏度,促使涂层既具备优异防水防油能力,又满足生物分解率不低于90%的环保要求。涂布工艺需要依据纸层功能差异采用差异化方案,核心功能层涂布量精准控制在 $6\text{--}9\text{g}/\text{m}^2$ 、内外表层控制在 $2\text{--}3\text{g}/\text{m}^2$,涂布方式可选择辊涂或喷涂以保障涂层均匀覆盖,涂布后开展初步干燥处理去除溶剂并形成初步固化涂层结构,规避涂层迁移或堆积问题,为后续层间黏合搭建稳定基础。

(三) 多层纸材复合与卷绕成型

多层纸材的精准复合与规范卷绕成型,是决定纸吸管成型质量、结构稳定性的核心工艺,需要依靠设备协同实现层间紧密结合与成形精度控制。复合时按照预设深层结构顺序,将完成预处理的表层纸、涂覆功能层的核心纸依次放入放料机构,借助限位导向装置保证纸层对齐,再通过部分重叠牵引让各层纸材紧密贴合,保障层间接触充分。卷绕成型依托专用卷绕机构,将复合后纸材沿芯轴匀速卷绕,严格控制卷绕速度与张力防止纸材拉伸变形或层间松动,在卷绕中同步监测成型管径,使外径偏差维持在 $\pm 4.0\%$ 允许范围,同时保障管体圆整无凹陷、无折痕,通过卷绕机构与限位件配合,让成型吸管柱结构紧密、尺寸精准,为后续热封和剪切工序提供合格基材。

(四) 热封黏合与固化定型

热封黏合、固化定型是强化纸吸管结构牢固性的关键工序,需要精准控制温度、压力、时间参数,实现层间稳定黏合且保障环保性能。热封黏合环节将卷绕成形的吸管柱牵引至热封机构,采用热封件与承托件协同方式,在 $145\text{--}160^\circ\text{C}$ 区间以 $5\text{--}8\text{Kg}$ 压力保持 $0.2\text{--}1\text{s}$ 压实时间,让功能涂层熔熔实现层间无缝黏合,替代传统涂胶工艺提升效率并规避胶水残留风险。固化定型在热封后立刻将吸管柱送入固化机构,在 $55\text{--}85^\circ\text{C}$ 下保持 $5\text{--}10\text{s}$ 固化时间,通过渐进式降温让黏合界面充分稳定,

强化层间结合强度,同时提升纸吸管挺度,确保干态挺度符合不同外径规格要求、湿态挺度不低于 0.500N ,保障使用时不易变形塌陷。

(五) 精准剪切与成品质控

精准剪切和全面成品质控是保障纸吸管成品质量均匀性与安全性的收尾工序,需要借精准裁切与多维度检测输出合格成品。剪切工序按产品规格设裁切长度,把固化定型后的吸管柱牵引至剪切机构,用高速精准裁切做出平整切口,确保长度偏差在 $\pm 2.0\%$ 内且切口无毛刺、无分层,尖头吸管要额外加工斜面且戳穿性能达标,可弯吸管需要波纹成型棱角分明且能 360° 任意弯折。成品质控覆盖外观、内在质量与环保性能三个维度:外观检测重点查折痕、凹陷、印刷瑕疵等,内在质量测挺度、耐溶耐温性能等关键指标,环保性能抽样测生物分解率与生态毒性,同时核查内装量短缺情况,保证内装量 ≤ 50 支时无短缺、 > 50 支时短缺量不超 1% ,通过全维度质控筛选合格成品、剔除不合格品,保障出厂质量。

二、环保型纸吸管工艺要素的优化设计策略

(一) 原料预处理工艺优化

原料预处理作为保障纸吸管基础性能的首要环节,需要遵循“筛选分级—碎浆提纯—梯度打浆”的递进流程开展优化。开展原料筛选分级时,优先选用FSC认证纸浆作为核心原料,借助双级分级筛完成纤维分拣:一级筛以不锈钢楔形网筛选长度 $1.8\text{--}3.0\text{mm}$ 的长纤浆料,二级筛以聚酯网分离 $0.5\text{--}1.0\text{mm}$ 的短纤浆料,同时严格控制长纤中短纤占比不超 5% 、短纤中中长纤占比不超 3% 。推进碎浆提纯环节时,将分级后纸浆板送入水力碎浆机,控制 $10\%\text{--}15\%$ 的碎浆浓度与 $15\text{--}20\text{min}$ 的碎浆时长,同步启动杂质过滤系统去除木质残渣和金属杂质,获得纯净原浆。实施梯度打浆优化时,长纤浆料以 $3\%\text{--}5\%$ 浓度通过低浓磨浆机研磨,控制 $50\text{--}60^\circ\text{sr}$ 打浆度增强纤维交织力,短纤浆料以 $5\%\text{--}8\%$ 浓度通过双盘磨浆机研磨,控制 $40\text{--}45^\circ\text{sr}$ 打浆度提升成型匀度,混合后微量添加食品级超细碳酸钙填料与羧甲基纤维素湿强助剂,搅拌调节浆料浓度至 $0.2\%\text{--}0.35\%$,最终构建“强度—匀度—耐水”三维平衡的浆料体系。

(二) 原纸成型工艺优化

原纸成型工艺优化围绕“低温成型—分段压榨—精准定型”的逻辑推进,实现成型质量与生产效率的协同提升。开展低温成型优化时,将调配好的浆料送入流浆箱,控制 $40\text{--}45^\circ\text{C}$ 上网温度以避免纤维损伤,依据原纸定量精准调节唇板开度: $30\text{g}/\text{m}^2$ 原纸对应 0.8mm 开度, $90\text{g}/\text{m}^2$ 原纸对应 2.2mm 开度,保

障成型网车速与纸机车速同步匹配。实施分段压榨优化时,采用“低压脱水—中压定型—高压致密”三段式压榨工艺依次控制 50N/mm、120N/mm、200N/mm 压力,逐步提升纸幅干度至 45%以上,同时定制适配纸纤维特性的生产线轨距,将压榨部轨距设为 7400mm 减少张力波动,降低纸幅断裂风险。推进精准定型优化时,通过多段烘缸完成初步烘干,设定 80℃→100℃→120℃→100℃ 的温度梯度确保纸幅干度达 92%以上,随后采用双车同步压光工艺:第一车以 30—60N/mm 线压力初步压光,第二车以 70—100N/mm 线压力精准控厚,最终使原纸表面粗糙度 $Ra \leq 3.0 \mu m$ 、抗张强度 $MD \geq 45N/cm$ 且 $CD \geq 35N/cm$ 。

(三) 卷制成型工艺优化

卷制成型工艺优化围绕“基材预处理—精准卷制—初步固化”的流程展开,目标是提升纸吸管成型精度与结构稳定性。基材预处理环节需要精准裁切成型原纸,将纸幅宽度控制在 1—2.5cm,同时在万级洁净车间内完成紫外线杀菌,保证微生物菌落总数 $\leq 10 CFU/g$ 。精准卷制优化时选用食品级 316L 不锈钢卷制芯轴,依据吸管直径调节芯轴转速与送纸速度,让纸层缠绕紧密无间隙且层数保持在 3—5 层,层间对齐偏差控制在 0.1mm 内。初步固化优化需要在卷制时同步喷涂生物基粘合剂,优先选木质素基聚氨酯与壳聚糖二醇乳液型,喷涂量控制在 3—8g/m²,喷涂后接入 80℃ 预固化通道处理 10—15min,实现粘合剂初步交联,防止后续层间剥离,且让卷制后吸管挺度处于 1.3—1.5mN·m 区间。

(四) 功能性涂布工艺优化

功能性涂布工艺优化围绕“环保涂层选型—机内精准涂布—固化定型”核心路径,着力提升纸吸管耐水性与环保性能。环保涂层选型环节摒弃含 PFAS 化学涂层,优先选择氧化淀粉与烷基烯酮二聚体复配施胶剂、生物基 PLA 水性涂层,保证涂层全降解且符合 FDA21CFR176.170 标准。机内精准涂布优化把涂布环节融入原纸生产流程,用膜转移施胶替代传统机外涂布,控制 60—80℃ 涂布温度,按吸管场景调整 3—5g/m² 涂布量,同步优化设备参数,保障涂层均匀无漏涂气泡,降低原纸运输和二次加工能耗。固化定型优化让涂布后纸材进入红外干燥通道,以 110—120℃ 完成涂层固化,再经 80—90℃ 低温烘干保温 20min,保障涂层与纸基结合紧密,最终纸吸管施胶度 (Cobb60) 不超过 25g/m²,浸泡 4 小时以上结构完整,湿拉伸强度达 40MPa 以上。

(五) 后加工及节能工艺优化

后加工与节能工艺优化沿循“精准裁切—成品杀菌—全流程节能”递进逻辑,带动产品品质提升和环保效益最大化实现。精准裁切优化环节运用自动化裁切设备依预设长度完成吸管裁切,同时将裁切误差实时控制在 0.2mm 内,同步实施端口修边以保障端口平整无毛刺。成品杀菌优化环节将裁切后吸管送入连续式紫外线杀菌设备,将杀菌剂量控制在 10000 $\mu W \cdot s/cm^2$ 以上,杀菌完成后即刻开展密封包装防止二次污染。全流程节能优化包含烘干、加热与废水回收环节,烘干环节运用真空梯度脱水技术,配置 9 组 Vac 缸并设置 -0.05MPa 至 -0.07MPa 再到 -0.08MPa 的真空度梯度减少热能消耗,加热环节搭载节能加热系统替代传统装置降低超 20% 电力消耗,废水回收系统优化后对碎浆、清洗环节产生的废水开展过滤与沉淀处理实现水资源循环,让吨纸废水排放量减少 20% 以上,全面提升生产环节环保性。为进一步提升节能效果与智能化管理水平,推进过程中系统引入能源监控与智能调控平台,凭借实时采集分析各工序能耗数据动态调节设备运行参数实现最优能效比。真空烘干阶段,平台依据物料含水率自动调节真空梯度与停留时间以规避过度脱水引发的能源浪费,紫外线杀菌环节则借助光强传感器反馈机制精准控制照射强度与时间,既保障杀菌效果又遏制无效能耗。工厂同步推进绿色照明与余热回收改造,将加热系统产生的余热用于车间供暖或清洗用水预热,提升能源综合利用效率。上述多维度协同优化降低单位产品碳足迹,也为行业绿色转型提供可复制、可推广的技术路径与管理模式。

结语

环保型纸吸管工艺优化设计是践行绿色制造的关键路径,依托原材料选择、结构设计、工艺流程等多维度系统优化,能有效提升产品质量与生产效率。未来需要强化新材料技术应用、推进智能化生产装备升级并完善质量标准体系,同时政府、企业、科研机构凝聚合力,共同推动行业技术进步与产业规范化发展,助力生态文明社会建设,

[参考文献]

- [1]陈程程.拥抱“双碳”,庞度的绿色化实践与探索[J].印刷经理人,2024(6):35-36.
- [2]刘霞.能完全降解的不湿纸吸管面世[J].饮料工业,2023,26(1).
- [3]佚名.能完全降解的不湿纸吸管面世[J].共产党员(辽),2023(5).