

实木家具 UV 透明粉末涂装核心技术与应用

胡宏辉¹, 张浩崇², 高徐必³, 周广昊¹, 王一建¹

(1.五源科技(杭州)院士工作站涂装工程研究所,杭州 310030; 2.杭州五源特种涂装事业部,杭州 310030;

3.阿克苏诺贝尔功能涂料(上海)有限公司,上海 201600)

摘要: 根据实木家具基材特点,含水率 7%~14%,当温度 ≥ 100 °C易产生涨筋、开裂,粉末涂装过程经过固化温度 ≥ 130 °C,涂层易产生起泡。项目采用玻纤增强高黏度 UV 底涂,冷光源 LED 固化,UV 透明粉末喷涂后,用黑晶红外平面辐射熔融交联,并用 UV 镓灯(波长 420 nm)3~5 s 快速固化成品。试验表明,上述核心工艺技术可以满足实木家具透明防护涂层的需求,应用在全屋定制智能健康儿童家具中,深受市场欢迎。

关键词: 实木家具; UV 透明粉末; 红外平面辐射; UV 光固化技术; 核心工艺技术; 环保涂装技术

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2026)01-0001-04

Research and Application of Core Technology for UV Transparent Powder Coating on Solid Wood Furniture

HU Hong-hui¹, ZHANG Hao-chong², GAO Xu-bi³, ZHOU Guang-hao¹, WANG Yi-jian¹

(1.Coating Engineering Research Institute, Pentatomic (Hangzhou) Academician Workstation, Hangzhou 310030, China;

2.Hangzhou Pentatomic Special Coating Business Division, Hangzhou 310030, China;

3.AkzoNobel Functional Coatings (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201600, China)

Abstract: Based on the characteristics of solid wood furniture substrates, the moisture content ranges from 7% to 14%. When the temperature ≥ 100 °C, the substrate is prone to edge rising and cracking. During the powder coating process, if the curing temperature ≥ 130 °C, the coating is likely to blister. This project adopts glass fiber reinforced high-viscosity UV primer with cold-light LED curing. After UV transparent powder spraying, black crystal infrared planar radiation is used for melting and cross-linking, followed by rapid curing of the finished product with a UV gallium lamp (wavelength 420 nm) for 3~5 seconds. Experiments have proven that the above-mentioned core process technology can provide a transparent protective coating for solid wood furniture. When applied to smart, healthy custom-made children's furniture for the whole house, this coating is well-received in the market.

Key words: solid wood furniture; transparent UV powder; infrared planar radiation; UV light curing technology; core process technology; environmentally friendly coating technology

0 引言

国内木制家具行业最早从国外引进 MDF(中密度

纤维人造板)家具粉末涂装技术,由广东兆生家具公司与励泰家具公司(清远)推向市场;奥地利老虎表面技术新材料(苏州)公司与阿克苏诺贝尔等公司研发了低温(≤ 130 °C)MDF 板家具粉末。同时,联合德国贺利氏红外技术公司、广东冠杰涂装设备公司推广 MDF 人造板全屋定制粉末涂装板式家具。由于近几年 MDF 板式家具粉末涂装产品不稳定、MDF 板材甲醛问题以及房

收稿日期: 2025-09-12

基金项目: 胡宏辉(1989—),男,本科,工程师,主要从事涂装工程技术及表面功能涂料的研发工作。E-mail: hhh@pentatomic.com。

地产经济的影响,该项目市场前景不明。本公司于2013年立项,专业从事实木儿童家具粉末涂装项目开发与市场推广。涂装过程中不产生“三废”,涂装生产线实现人工智能控制,采用底涂与UV粉末光固化技术,防止板材开裂、涂层鼓泡现象的发生。实木家具外观呈现高透明度,光泽度 $\leq 15\%$,木材纹理清晰,立体感强,涂层铅笔硬度H~2H,附着力(拉开法) ≥ 3.0 MPa,理化性能、耐酸碱、耐冷热循环优良^[1]。

1 工艺技术与流程

1.1 工艺技术^[2]

实木板式家具进行UV透明粉末涂装需要经过独特的工艺流程,其过程如图1所示。

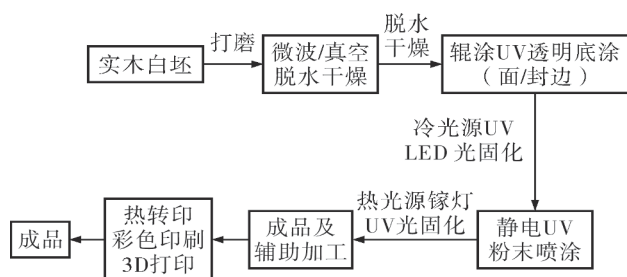


图1 UV透明粉末涂装工艺流程

1.2 配套设备

实木家具UV透明粉末涂装工艺技术的实现,通常需要配置以下装备:UV辊涂机、冷光源LED UV固化机、静电粉末喷涂机、红外平面辐射固化机、镙灯UV固化机、辅助加工设备等。

1.3 实木家具涂装技术分析^[3]

1.3.1 材料是基础

常见的实木有松木、橡木、榉木、桦木等,这些实木加工成儿童智能家具或者板式办公家具,通常需要满足一些质量技术指标。如GB/T 3324—2008《木家具通用技术条件》和GB 28007—2011《儿童家具通用技术条件》等,是基本的与家具相关的国家标准,其中涉及一些板材的性能,包括导热系数、密度、含水率、表面电阻以及硬度等。

除了原材料实木之外,整个涂装工艺过程还需要注意涂料的选择,涂料与基材之间需要有良好的渗透性和润湿性,涂料与基材配套才能确保实木家具涂装的复合涂层构成一个整体,前处理辊涂透明UV光固化涂料而不选用水性涂料是为了避免实木出现涨筋。同时与UV透明粉末涂料相关的介电常数、分子量、聚合度等也是比较重要却容易被忽略的一些特性。

1.3.2 工艺是关键

实木家具UV透明粉末涂装的工艺技术方案包含

3个阶段,分别是涂装前处理、粉末静电喷涂以及UV透明粉末的快速固化,前处理、粉末静电喷涂与普通粉末涂装的工序和要求大致相同,但是UV透明粉末的固化条件和方式与普通粉末有所不同,UV透明粉末需要先通过红外辐射加热使粉末迅速熔融、流平,再用波长匹配且具备足够能量的紫外光源照射,才能使粉末涂料实现固化。

工艺技术参数的确定是大规模生产稳定运行的保证和依据,如实木基材的含水率和粗糙度、UV透明底涂涂层的厚度、紫外光源的能量、砂纸目数的选择、静电喷涂过程中电压的调节以及红外辐射源温度的控制等,都是生产中每个环节、每道工序关注的重点。

1.3.3 环保是生存

涂装生产过程中,最令人头疼的就是“三废”的处理,“三废”分别是废气、废水以及固废。然而在UV透明粉末涂装的工艺中,“三废”的处理方案分别是:零VOC排放、无甲醛释放和无废水排放,真正实现了健康环保的涂装。

1.3.4 装备是保证

装备是工艺设计方案得以实现的保证,要满足大规模、快速的生产要求,还需要在装备方面升级,实现智能化、模块化和标准化。

涂装生产线应实现模块化拆装,同时使生产线部件标准化,整个过程实现在线监控。这样可以使装备在安装和检修时更加便捷,生产过程中出现的一些问题也可以在短时间内解决,而不会影响生产进度。在线监控是智能化的体现,通过对每个环节的监测以及数据的调控,保证产品的合格率,粉末涂装产品一次成品合格率应达到95%以上。

1.3.5 标准是核心

产品质量的控制能够体现标准化管理的重要性,UV透明粉末涂装产品通过对涂层与基材的附着力分析,进行各项机械性能和化学性能的测试,保证每件产品粉末涂层的厚度、固化度、光泽度以及硬度的一致性,以上这些都反映了整个生产过程按照标准化管理去执行。

标准化管理是企业生产的依据,其同样对安全生产影响巨大,GB 15517—2018《粉尘防爆安全规范》是安全生产的准则和依据,根据标准要求在前处理自动打磨工序配备除尘系统,防止粉尘外泄产生污染,同时保持工作人员的操作环境清洁卫生,是安全规范生产的基础,静电粉末喷涂的回收系统同样应得到重视,要使粉末的利用率 $\geq 95\%$,这也是成本控制的关键。

2 涂装前处理核心工艺技术^[4]

实木基材水分太高或太低都容易在涂装过程中出

现起泡甚至开裂的情况,要求基材水分控制在6%~8%,热风烘基材要求热风 $\leq 110\text{ }^{\circ}\text{C}\times 15\sim 30\text{ min}$,或使用微波/真空干燥工艺技术。

对实木家具表面进行打磨,使工件表面粗糙度适宜,增强涂层附着力,建议使用砂纸进行逐级打磨,从粗砂纸到细砂纸,使表面光滑平整,砂纸选用320#~600#,或用全自动喷砂方法。

去除表面杂质和毛刺,保证粉末涂料能良好附着,用无油无水的压缩空气去除灰尘、油污等,防止影响涂装效果。

前处理辊涂玻纤增强高黏度UV底涂进行封闭,避免水性涂料使实木基材出现涨筋的情况,同时紫外光快速固化也能提升生产效率。

3 UV透明粉末喷涂核心技术^[5]

Interpon W6000是一款先进的UV光固化(砂纹)粉末涂料,专为室内应用设计,具备紫外耐候稳定性、光泽保持性等市场领先特性。该产品兼具粉末涂料的环保优势(无挥发性有机化合物)、洁净环境带来的益处,以及固化工艺中低温与快速的特点,为热敏基材的粉末涂装开辟了新的应用领域。

静电喷涂是利用静电吸附原理,将UV透明粉末喷涂在预处理后的工件表面,形成均匀的粉末涂层。施工过程中,控制喷枪与工件的距离、喷涂电压和粉末流量等参数,保证涂层厚度均匀。

4 涂层固化技术

4.1 黑晶红外平面辐射加热技术^[6]

通过红外辐射加热,使工件表面的粉末迅速熔融、流平,形成连续、完整的涂膜。黑晶红外辐射加热方式速度快、效率高,能使粉末在短时间内快速达到熔融流平的状态,不产生斑马条纹。

4.2 紫外线光固化核心技术^[7]

在粉末熔融流平后,用波长匹配的紫外光源照射,激发光引发剂分解产生自由基,使树脂和单体发生聚合反应,从而实现粉末涂料在极短时间内固化成膜。

UV透明粉末涂层固化的关键在于能量与波长的匹配,根据涂料配方和工件要求,选择合适波长和功率的紫外线光源,控制照射时间和强度,确保涂层完全固化。以Interpon W6000产品为例,与该粉末匹配的紫外线波长范围在395~445 nm(UVV),时间3~5 s,能量范围2 000~4 000 mJ/cm²。

5 产品质量的要求

实木家具粉末涂装产品深受人们的喜爱,其原因自然离不开对产品本身的高质量要求,UV透明粉末涂层需要有良好的装饰性,来确保实木木纹的清晰度及明显的立体感;同时,涂层具备良好的力学性能,保证涂层间、涂层与基材间的附着力良好;其耐污染性也使得实木家具的清洁工作变得简单轻松;与传统油漆不同,粉末涂层的铅笔硬度 $\geq H$,具有较强耐摩擦性及良好的手感;耐酸碱和耐水的性能除了能够增加更多不同的应用场景外,更是大大延长了产品的使用寿命。

6 应用案例

6.1 健康智能儿童阳光房^[8]

五源科技院士工作站特种涂装事业部团队提出设想,采用UV透明粉末涂装技术,完成了实木(橡木)智能儿童阳光房的构建。阳光房的占地面积为8 m²,是参考一、二线城市住房条件为设计依据;材料选用红橡木;家具配套有双层儿童床、健康桌椅、台式书柜以及多功能衣柜;设施配套有在线空气质量监测控制系统、护眼照明灯、迷你投影仪、远程监控、人工智能脸部识别系统以及恒温恒湿系统等,具体见图2所示。

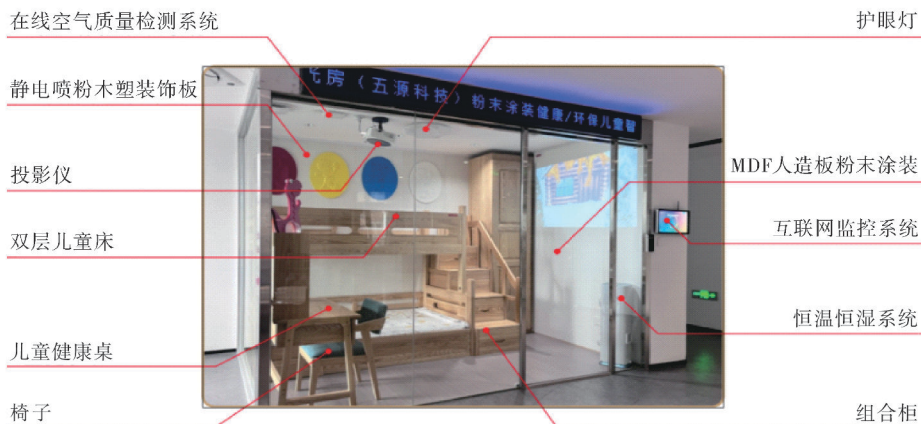


图2 全屋定制健康儿童智能阳光房

6.2 案例背景^⑨

该项目是针对儿童学龄期 6~12 周岁成长期,综合儿童成长过程中涉及的保健、医疗、生理、社会心理等相关领域提出的设计理念。

阳光房儿童家具产品特点:引进国外 UV 透明光固化粉末进行表面涂装,UV 透明粉末涂层光泽度 20%~30%,表面粗糙度 5~10 μm ,表面铅笔硬度 $\geq\text{H}$,涂层厚度 60~80 μm 。

阳光房内部结构材料:护墙板用木塑装饰板,投影背景板采用国标 E0 级中密度纤维板(MDF),表面均采用低温固化的有色粉末进行涂装。

阳光房室内环境应用智能化在线空气质量检测系统、空气质量调节系统、健康护眼照明系统、视频音响娱乐教学系统等,均能满足学龄期儿童学习、起居、娱乐等方面的需求。

7 展望

7.1 市场需求趋势

随着消费者环保意识的不断提高,同时追求更高品质的生活,对环保、耐用、美观的实木家具的需求将会持续增长。UV 透明粉末涂装技术能满足消费者的各类需求,市场前景广阔。在高端家具市场,该技术的应用也具有一定优势,未来市场的份额预计将不断扩大。

7.2 技术发展方向

从优化涂料配方的方向入手,使粉末涂料在更低的温度下快速熔融流平,加快固化速度,这样既能节约能耗,也能进一步提升涂装效果和生产效率。

在涂装设备方面也可以进行升级,配置更加高效、智能的涂装设备,实现自动化连续生产,降低人工成本的同时,提高涂装质量的稳定性和可靠性。

7.3 拓展应用领域

UV 透明粉末涂装能够提升工件基材表面硬度与耐磨性,结合热转印技术在涂层表面附上特殊、精美的纹理或品牌 LOGO,既保证产品的防护性能,又实现个性化外观,适用于高端定制产品。

除实木家具之外,其他不同的复合材料如仿石桌面、装饰板等,可结合水转印模拟天然石材纹理,提升装饰性,再进行 UV 透明粉末涂装,使表面涂层具备防水、耐磨、耐污等性能,可用于浴室柜、厨房台面等潮湿场景。

高端工艺品使用 3D 打印技术使表面形成类似珐琅、油墨甚至是彩釉的效果,结合 UV 透明粉末涂装,增强表面光泽度以及立体的效果,用于限量版奢侈品定制。

UV 透明粉末涂装技术可以与不同领域的技术

结合,实现工艺互补。技术结合的核心优势,可以得到性能的叠加,UV 透明粉末涂层的防护性包括耐磨、耐候、环保等,与转印/3D 打印的造型、装饰能力结合,解决传统工艺中“美观性与功能性难以兼顾”的问题。

7.4 面临的挑战与展望

成本问题:目前 UV 透明粉末涂料和涂装设备前期投入成本相对较高,限制了技术的广泛应用。需要通过技术创新和规模化生产来降低成本,提高技术的性价比。

技术标准不完善:行业内缺乏统一的技术标准和规范,影响了产品质量和市场推广。需要相关部门和行业协会制定统一标准,规范市场秩序,为企业生产和市场监管提供依据。

8 结语

UV 透明粉末涂装技术凭借其环保、高效、涂膜性能优异等优势,在实木家具行业中具有良好的应用前景。虽然目前面临一些挑战,但随着技术的不断发展和市场的逐步成熟,有望成为实木家具涂装的主流技术,推动行业向绿色、高质量方向发展。

参考文献:

- [1] 王一建,钟金环,胡宏辉,等.木制品/工程塑料粉末涂装系统工程技术(产学研科技成果)[Z].杭州五源科技院士工作站研究工作报告,2019:9-10.
- [2] 封凤芝,封杰南,梁火寿.木材涂料与涂装技术[M].北京:化学工业出版社,2008:402-410.
- [3] 孙振红,鲁钰,李晗,等.丙烯酸改性聚硅氧烷涂料的制备及涂装应用研究[J].现代涂料与涂装,2025(2):10-14.
- [4] 尹中秋,胡剑锋,毛喆,等.浅析打磨对涂装质量的影响[J].现代涂料与涂装,2025(4):45-48.
- [5] Interpon W6000 UV 透明粉末涂料技术说明书[Z].阿克苏诺贝尔功能涂料(上海)有限公司,2020.
- [6] 王一建,骆剑,俞海滨,等.黑晶红外平面辐射加热器[Z].五源科技(杭州)特种涂装事业部,2021.
- [7] 周焯.光固化木器涂料与涂装工[M].北京:中国质检出版社、中国标准出版社,2017:118-144.
- [8] 胡宏辉.光固化实木家具粉末涂装系统工程技术[J].涂装技术及应用,2024(2):33-40.
- [9] 顾牧君.智能家居设计与施工[M].上海:同济大学出版社,2004:147-170.

