

基于钢管标识用 UV 油墨的研制

张正健, 陈蕴智, 齐金标

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: 研制了钢管标识用 UV 油墨, 通过探讨预聚物、单体、光引发剂组分对 UV 油墨粘度、固化速度、附着力和柔韧性能的影响, 研究得出了最佳油墨配方(质量分数)为: PUA-2 为 29.8%, AR 为 37.3%, HDDA 为 16.10%, YFJ-S 为 2.20%, 分散剂为 2.7%, TiO_2 为 6.4%, 消泡剂为 1.3%。该条件下配制的油墨粘度为 $1.8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 固化时间 60 s, 附着力等级为 3 级, 柔韧性好, 是一种性能优异的钢管标识印刷用 UV 油墨。

关键词: 钢管标识; UV 油墨; 固化时间; 附着力; 粘度; 柔韧性

中图分类号: TS803.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)03-0025-03

Development of UV Ink for Steel Pipe Marking

ZHANG Zheng-jian, CHEN Yun-zhi, QI Jin-biao

(Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: UV ink for steel pipe marking was developed. The influence of prepolymer, monomer and photoinitiator on the UV ink properties such as viscosity, curing speed, adhesion and flexibility were discussed. The optimum formulation of the UV curing ink was as follow: PUA-2 29.8%, AR 37.3%, HDDA 16.10%, YFJ-S 2.20%, dispersant 2.7%, TiO_2 6.4% and defoamer 1.3%. Under the condition of the optimum formulation, the UV curing ink properties were as follow: viscosity $1800 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, curing time 60 s, adhesion level 3 and good ink film flexibility. The UV curing ink is excellent for steel pipe marking.

Key words: steel pipe marking; UV ink; curing time; adhesion; viscosity; flexibility

UV 油墨又叫紫外光固化油墨, 是近年来迅速发展起来的一种环保型油墨。印刷完成后, 油墨附着在承印物表面, 在 UV 光的照射下发生交联聚合反应, 瞬间固化成膜。实际上, UV 油墨在固化过程中产生一种经由聚合物高密度交联结合所产生的结构, 不但具有高度的坚韧性, 也具有抗污染、抗磨损以及抗溶剂的特性^[1-3]。UV 油墨除了可用于普通承印物上, 还适用于薄膜、塑料、金属等非吸收性材料上^[4-5]。笔者针对钢管公司的切实需要, 研究一种可以印在钢管上起标识作用的 UV 柔性版油墨。

1 实验

1.1 材料

颜料: 二氧化钛; 光引发剂: YFJ-S(固体); 分散

剂: FSJ-L; 消泡剂: XPJ-L; 单体: 己二醇二丙烯酸酯(HDDA)、三羟基丙烷三丙烯酸酯(TMPTA); 预聚物: 双官能团丙烯酸聚氨酯(PUA-2)、丙烯酸酯树脂(AR)、六官能团丙烯酸聚氨酯(PUA-6)、环氧丙烯酸树脂(EA)。

1.2 设备

设备: DJ-1 电动搅拌器、电热恒温水浴锅、NDJ-4 旋转式粘度计、紫外光固化设备、钢管。

1.3 方法

1.3.1 油墨的制备

按设计配方比例取预聚物、单体、分散剂、颜料、光引发剂、消泡剂于烧杯中并充分搅拌, 水浴加热到 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 至全部溶解, 研磨后, 取一定量油墨, 采用柔性版在钢管表面印刷, 用紫外光固化灯照射规定的时间, 进行性能测试^[6-8]。在研究预聚物、单体和光引

收稿日期: 2010-10-22

基金项目: 天津科技大学引进人才科研启动基金(20090422)资助课题

作者简介: 张正健(1981-), 男, 江苏人, 天津科技大学讲师, 主要研究方向为印刷材料及适性。

发剂对最终油墨性能影响时,均以参考配方为基础来调整^[9-10],见表1。

表1 UV油墨的参考配方

Tab.1 Reference formulation of UV ink

组分	质量分数/%
预聚物	50~70
单体	15~30
分散剂	1~3
颜料	6~8
光引发剂	1~3
消泡剂	1~1.5

1.3.2 油墨性能检验

根据钢管公司要求,所研发油墨只用于标识作用,对油墨的颜色没有特殊要求,由于该钢管是镀锌之前的黑管,故采用白色油墨效果较好。油墨性能重点关注以下几个方面:采用粘度计对油墨的粘度进行测定;固着时间和附着力的检测方法见参考文献[3];把油墨涂在表面覆膜的刮涂纸上,经UV干燥后,弯曲墨膜看其是否容易断裂,主观上评价墨膜的柔韧性。

2 结果与讨论

2.1 预聚物种类对油墨性能的影响

以表1参考配方为基础,分别采用PUA-2, AR, PUA-6和EA作为预聚物,研究其对油墨固着速度、附着力和柔韧性的影响。实验所得数据见表2,可以

表2 预聚物的种类对油墨性能的影响

Tab.2 Influence of prepolymer species on performance of the ink

预聚物种类	油墨粘度 /(Pa·s)	固化时间 /min	附着力 等级	柔韧性
PUA-2	1.310	4	2	较好
AR	0.245	8	3	好
PUA-6	1.520	3	1	差
EA	1.825	2	1	差

看出,EA的固化时间最短仅为2min,但是其对钢管表面的附着力和柔韧性均不理想;PUA-6由于具有6个官能度,所以其固化速度要比PUA-2要快,但是其附着力和柔韧性均不如PUA-2;AR虽然固化所用时间较长,但是其附着力和柔韧性在4种预聚物中表现

最好。基于上述情况,选择PUA-2和AR为预聚物,考察其单独使用和复配使用对最终油墨性能的影响。

2.2 单独使用PUA-2或AR对油墨性能的影响

随着PUA-2或AR用量的增加,油墨的粘度呈直线上升趋势,固化时间逐渐降低,但是其附着力有所下降,墨膜的柔软性降低,见表3和4。这是因为预

表3 PUA-2质量分数对油墨性能的影响

Tab.3 Influence of PUA-2 mass fraction on performance of the ink

PUA-2 质量分数/%	油墨粘度 /(mPa·s)	固化时间 /min	附着力 等级	柔韧性
53.10	1310	4	2	较好
59.60	1520	3	2	较好
64.50	1765	2	1	差
68.30	1930	1	1	差

表4 AR质量分数对油墨性能的影响

Tab.4 Influence of AR mass fraction on performance of the ink

AR质量分数 /%	油墨粘度 /mPa·s	固化时间 /min	附着力 等级	柔韧性
53.10	245	8	3	好
61.30	550	6	3	好
67.10	710	4	2	较好
70.40	950	3	2	较好

聚物比例增加意味着体系双键密度的增大,只需要更短的时间来使所有双键反应完全;同时交联密度增加,墨膜硬度增加,脆性变大,附着力下降。由于单独使用AR油墨的粘度较低、固化时间较长,一味地通过提高AR用量来增加油墨粘度和降低固化时间的效果不明显,并且会损失墨膜的柔韧性和附着力;然而如果只使用PUA-2,油墨的粘度虽然比较符合钢管公司UV柔印油墨粘度在1~2Pa·s的范围,但其墨膜附着力和柔韧性却不理想。综合考虑,对PUA-2和AR进行复配,彼此取长补短,考察它们之间的协同效应对油墨最终性能的影响。

2.3 PUA-2和AR复配对油墨性能的影响

随着PUA-2使用比例的增加,油墨粘度逐渐上升,固化所用时间逐渐降低,但油墨附着力和柔韧性则是先增加后降低的趋势,见表5。从实验所得数据可以得出,当长分子链预聚物和短分子链预聚物恰当复配时,两者的优点都得到很好地体现。根据油墨粘

表 5 PUA-2 和 AR 的协同作用对油墨性能的影响

Tab.5 Synthetic effects of PUA-2 and AR on performance of the ink

复配编号	质量分数 /%	粘度 / (Pa · s)	固化时间 /min	附着力等级	柔韧性
1	PUA-2 0	0.710	4	2	较好
	AR 67.1				
2	PUA-2 14.9	0.925	3	3	好
	AR 52.2				
3	PUA-2 29.8	1.288	3	3	好
	AR 37.3				
4	PUA-2 44.7	1.550	2	2	较好
	AR 22.4				
5	PUA-2 52.2	1.838	1	2	较好
	AR 14.9				

度、墨膜附着力和柔韧性三方面综合考虑,3号配方,即 PUA-2 的质量百分数为 29.8%,AR 为 37.3%,能够获得较理想效果,但其固化时间还需通过进一步研究来降低。因此下一步预计通过改变单体种类、含量和光引发剂用量来降低固化时间。

2.4 单体种类和用量对油墨性能的影响

采用表 5 中 3 号配方进行研究,首先考察单体种类对油墨性能的影响,见表 6。可以看出,与二官能

表 6 单体种类对油墨性能的影响

Tab.6 Influence of monomer species on performance of the ink

单体种类	油墨粘度 / (Pa · s)	固化时间 /min	附着力等级	柔韧性
HDDA	1.300	3	3	好
TMPTA	1.550	2	1	差

团单体 HDDA 相比,三官能团单体 TMPTA 虽然能够降低固化时间,但会使油墨的附着力和柔韧性降低较明显,其原因是 TMPTA 粘度较大,加入后会影响到油墨对钢管的润湿程度,并使其固化收缩率加大,官能度增加会使墨膜交联密度增加,残余应力升高使墨膜附着力和柔韧性变差。因此选择 HDDA 作为钢管标识 UV 油墨的单体。

HDDA 用量对油墨最终性能的影响见表 7。可以得出,随着 HDDA 用量的增加,油墨粘度呈逐渐降低趋势,这是因为单体又叫做活性稀释剂,其粘度较低,用量增加会导致油墨粘度降低;固化时间先降低后增加,并在 HDDA 质量分数为 16.10%时,油墨的

表 7 HDDA 质量分数对油墨性能的影响

Tab.7 Influence of HDDA mass fraction on performance of the ink

HDDA 质量分数 /%	油墨粘度 / (Pa · s)	固化时间 /min	附着力等级	柔韧性
0	13.700	6	1	差
8.80	4.750	3	2	较好
16.10	1.800	1	3	好
22.40	1.485	2	3	好

固化时间最小,仅需 1 min。产生上述趋势的原因在于如果没有单体存在或含量过少,油墨中的活性成分含量过少,会使得固化时间延长,成膜效果差,墨膜的附着和柔性差;但是如果单体含量过高也会使得油墨的短链组分增加,分子交联速度降低,导致油墨固化时间增加,影响干燥效率。综上,HDDA 质量分数为 16.10%时,油墨各项性能较为理想。

2.5 光引发剂用量对油墨性能的影响

光引发剂在使用过程中,不易过高或过低,应根据具体情况适当添加。如果用量过低会降低光聚合效率,延长固化时间;如果用量过高,会产生自由基相互碰撞结合,造成自由基回归的机会增多,反倒使体系固化速度减慢。当光引发剂质量分数为 2.20%时,固化时间最短,附着力和柔韧性均达到最佳值,见表 8。

表 8 光引发剂质量分数对油墨性能的影响

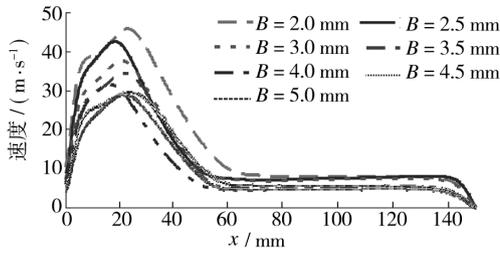
Tab.8 Influence of photoinitiator mass fraction on performance of the ink

光引发剂质量分数 /%	油墨粘度 / (Pa · s)	固化时间 /min	附着力等级	柔韧性
1.00	1.800	3	3	好
1.60	1.800	2	3	好
2.20	1.800	0.5	3	好
2.80	1.800	1	3	好

3 结论

通过对各参数的较系统的研究,得出了一种适合于钢管标识用的 UV 柔印油墨的配方(质量分数)为: PUA-2 为 29.8%,AR 为 37.3%,HDDA 为 16.10%,YFJ-S 为 2.20%,分散剂为 2.7%,TiO₂ 为 6.4%,消泡剂 1.3%。此配方制得的油墨粘度为 1.8 Pa · s,固化时间为 60 s,附着力等级为 3 级,柔韧性好。

(下转第 32 页)



a 喷嘴宽度对速度的影响

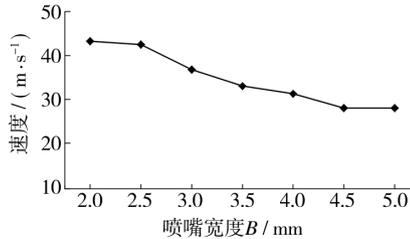
b 不同喷嘴宽度在 $x=20$ mm处的速度分布

图8 喷嘴宽度对下壁面附近速度分布的影响

Fig. 8 Speed distribution of different width shear wall

3 结论

1) 通过对壁面附近速度与压力的分布状况分析,了解烘箱V型喷嘴冲击射流流场特征分布。冲击射流总共包括3个区:自由射流区、滞止区和壁面射流区。在自由射流区内存在等速核区,在这个等速核区内,速度保持恒定;在滞止区内的速度和压力梯度变化最大,在此区间内的干燥效率最高;在壁面射流区,较大的壁面初始射流速度能够获得较薄的边界层,便于热量的传递,有利于烘箱干燥。

2) 对于V型条缝喷嘴,在实际工程应用中,为了使壁面射流初始速度最大,速度衰减缓慢,在冲击壁面形成较薄的边界层,并获得一个较长的干燥区域

段,从而能够保持较高干燥效率,喷嘴高度一般设定为15 mm。

3) 喷嘴宽度对射流速度的影响是明显的:当喷嘴的宽度不断减小时,壁面附近射流速度不断增大;但当喷嘴宽度 $B < 2.5$ mm时,壁面射流速度随喷嘴宽度的减小变化缓慢。综合考虑喷嘴加工难度和喷嘴效率等因素,较为理想的喷嘴宽度为2.5 mm。

参考文献:

- [1] 耿铁,李德群,周华民,等. 冲击射流及其强化换热的研究进展[J]. 机械设计与制造,2006(6):154-156.
- [2] COOPER D. Impinging Jet Studies of Turbulence Model Assessment—I. Flow-field Experiments[J]. Int J Heat Mass Transfer,1993,36(10):2675-2684.
- [3] BAUGHN J, SHIMIZU S. Heat Transfer Measurements from a Surface with Uniform Heat Flux and an Impinging Jet[J]. ASME J Heat Transfer,1989,111:1096-1098.
- [4] 何枫,谢峻石,郝鹏飞,等. 应用S-A模型的自由射流和冲击射流数值模拟[J]. 推进技术,2001,22(1):43-46.
- [5] 李文科. 工程流体力学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2007.
- [6] 董志勇. 射流力学[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [7] 王福军. 计算流体力学分析——CFD软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析——CFD软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 齐学义,冯俊豪,李纯良. 三维湍流流动计算在混流式转轮水力设计中的应用[J]. 兰州理工大学学报,2006,32(5):48-52.
- [10] 陈琼,吕原君. 蜂窝纸板烘干过程的分析[J]. 包装工程,2009,30(8):19-21.

(上接第27页)

参考文献:

- [1] 孙和博,赵蕾. UV胶印油墨的制备及其触变性的研究[J]. 包装工程,2006,27(5):43-44.
- [2] 徐世垣. 浅析湿压湿胶印UV油墨的印刷性能[J]. 印刷技术,2007(12):37-38.
- [3] 肖忠良,巫桂英. UV油墨的制备与性能优化[J]. 精细化工中间体,2009,39(3):61-64.
- [4] 李元军. UV油墨在金属材料上的应用[J]. 丝网印刷,2009(9):27-29.
- [5] 邹洋. UV油墨在印铁中的应用浅析[J]. 印刷质量与标准化,2009(2):51-54.

- [6] PICHAVANT L. Optimization of a UV-curable Acrylate-based Protective Coating by Experimental Design[J]. Progress in Organic Coatings,2008,63(1):55-62.
- [7] 周震. 印刷油墨[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [8] ELDRED Nelson R. What the Printer Should Know about Ink (Third Edition)[M]. GATF Press, 2001.
- [9] 牛一帆. 紫外固化油墨在柔印中的应用[J]. 印刷杂志,2008,37(12):18-19.
- [10] 钱军浩. 印刷油墨应用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.