

紫外线固化过程中的基板温度控制

周锐

(Phoseon Technology/ 美国锋翔科技公司)

简介

UV LED 固化是粘合剂，油墨，或涂料在接受 UV 光输入的能量后产生的链式反应，该反应导致被固化涂层不断交联聚合，从而在极短时间内产生硬化或固化的高分子聚合物。传统上，基于汞的紫外线光源被用于固化。但现在，UV LED 光源借助其节能，环保，高寿命等特点已经越来越多的取代传统汞光源，成为印刷，涂料，胶粘剂和电子应用的新标准。

UV LED 被认为是冷源主要是因其不含产生热量的红外线¹。然而，工业固化应用中日益提升的速度和生产率要求 LED 光源的辐照度不断提升。尽管不断改进的光源冷却系统如风冷光源的电扇，散热片，水冷光源的水冷管道等等的设计有助于进一步控制和去除光源本身所产生的热量，固化过程中的基板温度上升仍然引起广泛关注，严重情况下可至被固化材料热损伤而造成工艺失败。控制固化温度对热敏材料如木材，显示屏的工艺操作尤为重要。

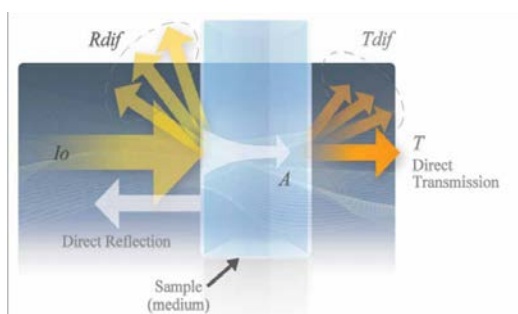


Figure 1 不同涂层的光学特性²

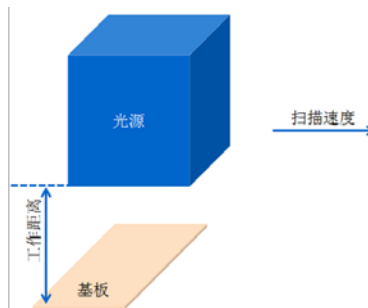


Figure 2 实验设置

假设 / 实验

固化工程中的每种基板都在反射 (R), 吸收 (A) 或透射 (T) 方面具有一定的光学性质。例如，玻璃是透射 90% 以上光的少数固体之一，铝在 UVA 可见光谱中产生大约 90% 的反射率。

本实验选用具有理想涂层（吸收，反射和透射特性）的三种基板进行测试。图 3 所示透射性基板在 395nm 的反射率只有不到 0.4%；反射性基板在 395nm 的透射率仅有不到 0.12%；而吸收性基板在 395nm 的透射率小于 0.02%。两盏 UV LED 光源，Phoseon Technology 的风冷光源 FireJet™ FJ200-150x20AC-14W-395nm 和 FireEdge™ FE300-110x10AC-5W-395nm 被用作固化灯。光源在室温下以辐照度 100% 开启，并以不同的扫描速度移动。基板被定位于不同的工作距离 (WD)，热传感器连接到每片基板上以记录实时温度。

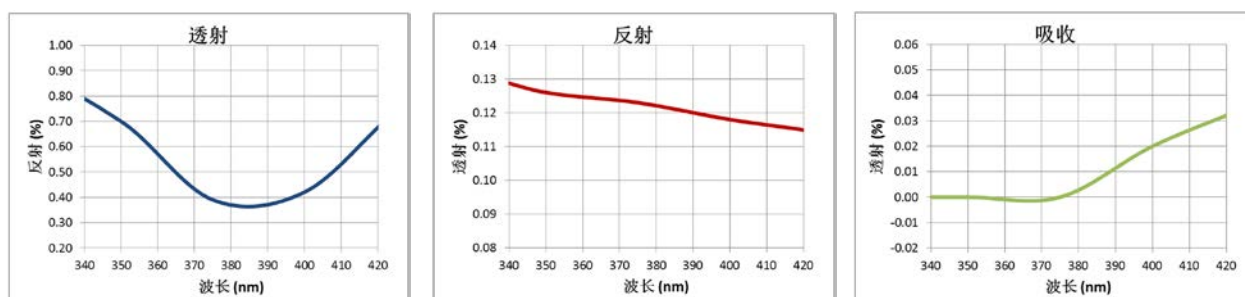


Figure 3 基板涂层光学曲线

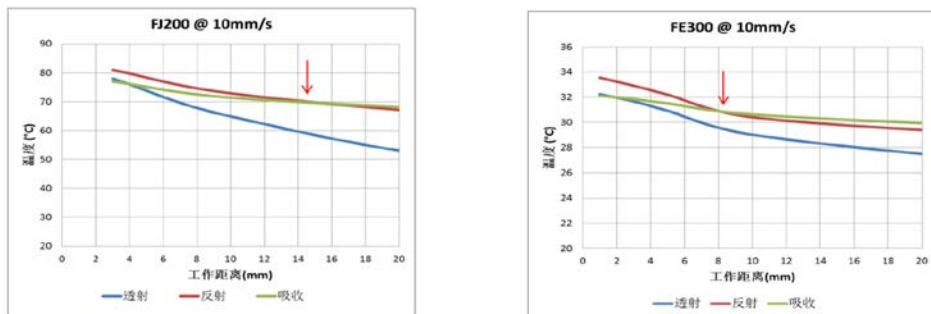


Figure 4 工作距离对基板温度的影响

第一组测试是光源以固定的速度但不同的工作距离扫描基板。如图 4 所示，超出一定的接近度（取决于紫外线输出功率 / 辐照度），吸收性基板趋向于具有最高的温度，其次是反射的，然后是透射的 ($A>R>T$)。这是显而易见的，因为吸收性基板比其他两种捕获了更多的热能。然而，随着工作距离的持续变小，反射性基板的温度变为最高，超过了吸收性和透射性基板 ($R>A>T$)。这是由于各个方向的光束不断反射回到光源窗玻璃部分转化为热能，导致基板温度升高。

另一组测试是光源以固定的工作距离扫描基板，但速度不同。如图 5 所示，当扫描速度非常慢时（在该测试中小于 10mm/s），速度显著影响基板温度，速度越慢基板被辐射时间越长，吸收的热量也相应增多。事实上，随着扫描速度的降低，基板温度呈指数增长。吸收性基板具有最高的温度上升，其次是反射性和透射性的 ($A>R>T$)。但当扫描速度足够快时（在该测试中高于 20mm/s），观察到的温差很小。这表明当扫描速度高时，基板温度主要受外部因素，如光源和环境温度的影响。比较图 4 和图 5 中 FJ200 光源和 FE300 光源下的基板温度可清晰看出，FJ200 光源下的基板温度是大约 50°C，而 FE300 光源下的基板温度仅为不到 30°C。超过 20°C 的温差是由光源本身的辐照度决定的（FJ200 的辐照度为 14W/cm²，而 FE300 的辐照度仅为 5W/cm²）。

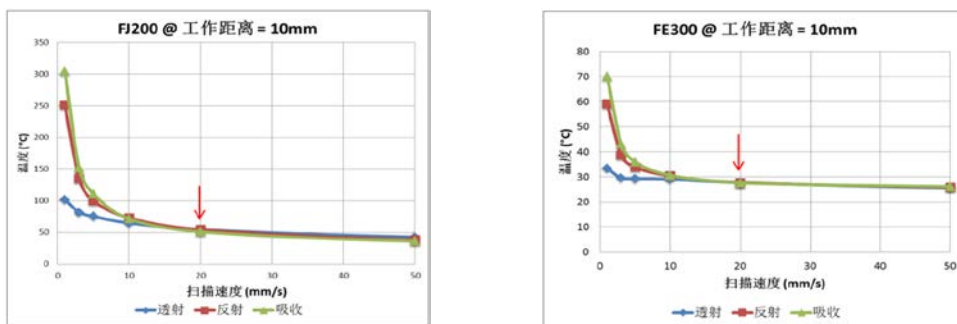


Figure 5 扫描速度对基板温度的影响

结论

测试结果证实基板温度取决于外部因素以及基板本身的光学性质的共同作用。

外部因素定义为除了基板本身之外的所有可能的原因。通常，基板温度取决于固化系统的功率 / 辐照度，工作距离，扫描速度和环境温度。无论哪种类型的基板，使用具有较大的功率 / 辐照度的光源，工作距离较短，扫描速度较慢和环境温度较高都会导致其更高的温度。另一方面，基板温度也由其本身决定。透射性基板总是具有最低的温度，因为它不吸收热能。然而吸收和反射性基板则显示出更复杂的温度曲线。

综上所述，成功的低温固化需要充分了解基板的光学性能并选用适合的固化光源。此外，整个工艺的散热设计，如散热材料的选用，温度控制等等也对实现高效优化的固化至关重要。

参考文献

- [1] Ed Kiyoi, REDTECH REPORT, ISSUE 2, 2014
- [2] Optical Properties, Definitions, and Measurements, Application Guide, The Dow Chemical Company <https://consumer.dow.com/documents/en-us/app-tech-guide/11/11-20/11-2092-01-optical-properties-definitions-and-measurements.pdf?iframe=true>