

高质量的光纤涂覆控制

成都中住光纤有限公司 陈新建 高虎军 刘文早

【摘要】 光纤涂覆是光纤生产中制约拉丝速度的一个重要因素。各生产厂商都要尽量使设备能进行高速拉丝，提高生产效率以期降价成本。但是生产过程中又必须保证光纤涂覆的稳定性及精确度，以期由此得到高质量的光纤。本文分析了光纤生产过程中影响光纤涂覆的一些因素，并提出了对应的解决方案。

【关键词】 光纤、拉丝、涂覆、固化

一、引言

光纤拉丝过程是制造光纤的基本步骤之一。光纤预制棒被馈送系统送进高于 2000℃ 高温的熔炉中加热，预制棒软化后以细丝的形式从炉子下部出口拉出，经过监控裸光纤直径的测径仪并作适当冷却后，在裸光纤玻璃表面的微裂纹尚未因外界环境影响而开始扩散前，在清洁的光纤表面迅速涂上两层紫外光固化丙烯酸树脂加以保护。

在涂层固化之后，光纤被卷绕在收线盘上，为随后工序作好准备。在光纤上涂覆涂层的目的是保护裸光纤不同外界尘埃粒子接触，这些粒子能明显地降低光纤的强度，涂层还能防止外界的水分浸蚀光纤，避免损耗增大。涂层除了能提供强度保护外，它还能在各种环境中对光纤提供微弯保护，防止应力集中及光纤中产生气泡。

对于普通的光纤，一般采用两层涂层对光纤加以保护，内涂层为低弹性模量（柔软）的材料，保护光纤的表面不受外界损伤，同时作为光纤与外界应力的缓冲带；外涂层为高弹性模量（较坚硬）的材料，为光纤提供耐磨性，同时也有一定的强度。

光纤涂层能同时经过一个涂覆器或者分别被二个涂覆器涂覆。前者叫做湿对湿涂覆（wet-on-wet），后者叫做湿对干涂覆（wet-on-dry）。

作为拉丝生产的一个重要环节，光纤涂覆材料和涂覆过程对成品光纤质量的影响不可轻视：高质量的光纤要求有高精度且比较稳定的外径，要有高的机械强度，好的衰减，还要尽量少的缺陷，这些都与光纤涂覆有着直接或间接的关系。当增加拉丝速度的时候，拉丝过程中成功的涂覆工艺是得到高品质光纤的一个极为重要因素，同时这又是一个主要的

研究区域。

二、影响光纤涂覆质量的因素及其控制方法

一般来说，影响涂覆质量的因素主要有以下几方面：

- ◇ 涂料的性能及涂层固化
- ◇ 模具
- ◇ 光纤的冷却

1. 涂料性能对光纤涂覆质量的影响

涂料本身性能会影响光纤涂覆的稳定性、生产速度、光纤表面光洁度，光纤外观（颜色及其稳定性）。涂料的粘度会影响拉丝生产时在涂覆模具中的流动性，与涂覆质量密切相关，因此应选用一种高品质的涂料，在适当的温度的速度下进行生产，以保证生产过程中不会出现因涂料本身的原因而产生的涂覆不均匀，甚至断流的现象。光纤的外观对其质量也有较大的影响，光纤表面的光洁度也是和涂料的流动性有很大关系的，光纤表面光洁度的提高有助于减小光纤在收线时产生的附加衰减；而光纤的颜色则是和涂料的成份有很大的关系，涂料中光引发剂量的多少直接影响到光纤颜色的稳定性，过量的光引发剂在涂层的固化过程中不能完全消耗，受光和热的作用下会进行分解，而光引发剂不足则会引起涂层固化不完全，同样会使光纤发粘变黄。当然，光纤涂层的固化过程也对其颜色有影响，过固化就会使其颜色变黄。

CDSEI 使用适合光纤高速拉丝的专用涂料，能在高速下得到完好的涂覆质量。CDSEI 的专用涂料，有较好的抗静电性能。使用 CDSEI 的专用涂料制造的光纤适合于制造带纤。

涂层的固化度：如固化度不足，则会影响光纤的衰减、外观及后续工序的使用；如固化过度，则可能会引起光纤涂层降解。现在光纤工业中常用的 UV 固化涂料是通过 UV 光纤的辐照，使涂料中光引发剂分解产生自由基，从而引发丙烯酸树脂的链式反应，整个反应在不到 1ms 的时间内完成。涂层固化好坏与涂料本身很大的关系，它决定了此种类型的涂料是否适合高速拉丝生产。另外还有涂料以外的影响固化的因素：①固化区域内 UV 光强度是影响到自由基产生的数量②氧气的阻聚作用。光纤涂层的表面固化度可以通过 FTIR 来测定，根据固化度的测量结果来对生产工艺进行调整。使用专用涂料可在高速生产时使涂层得到很好的固化。在生产中，可以对 UV 灯光强度的测量结果与涂层的固化度进行对照分析，由此判断 UV 光强度充足与否。另外 UV 灯的定期维护；UV 灯石英管中氮气里氧气含量的测定，UV 灯进气方式的优化也是影响固化度的重要因素。

CDSEI 在实际生产中对 UV 光强度和 UV 灯石英管中氮气里氧气含量都进行了测定和控制，从而保证了涂层的固化度满足要求。

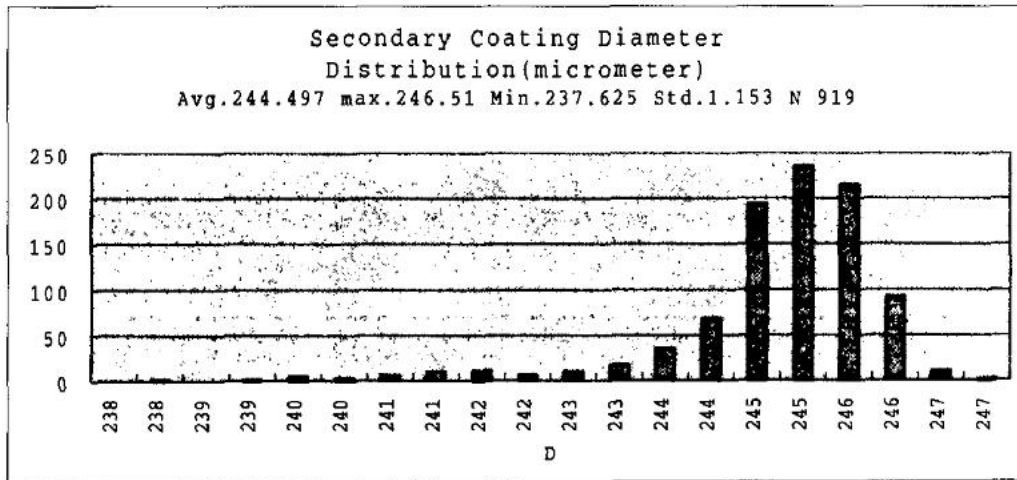
2. 模具

光纤的涂层是通过涂覆模具施加的，因此它对涂覆的影响也是非常大的。

涂覆方式：光纤涂层的涂覆方式一般分为单涂覆（wet on wet）与双涂覆（wet on dry），但它们本质上没有区别。单涂覆可以节约较大的空间，使拉丝塔总体高度下降，同时，如果模具调节好的话，生产出来的光纤同心度会很好，但是模具使用前的调节非常重要，需要比较高的技能和技巧。双涂覆则不需要对模具进行精确调节，使用前的准备工作相对简单，但是因为是分开进行涂覆，这种情况下占用了较多的拉丝塔空间，拉丝塔相对要高一些。不管是哪一种涂覆方式，只要工艺参数得当，操作正确，都可以得到高涂覆质量的光纤。

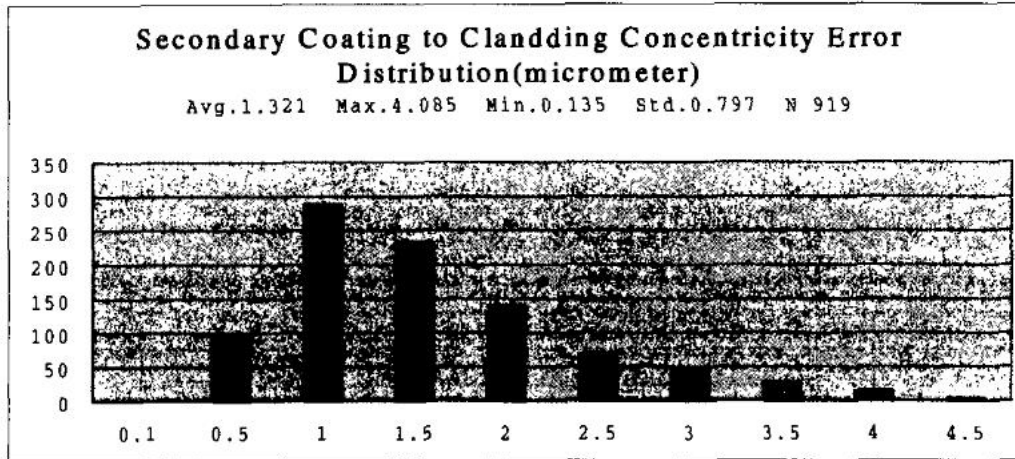
孔径：出口模的孔径直接影响到光纤涂覆后的直径，因此选取适当孔径的涂覆模具非常重要。我们通过调整模具尺寸及工艺参数，使 CDSEI 光纤外径中心值保持在 $245 \pm 2 \mu\text{m}$ 范围内。CDSEI 光纤外径数据见表 1。

表 1: 光纤外径分布



出口模形状：出口模的形状会影响光纤涂覆直径在拉丝，尤其是高速拉丝时的稳定性。在 CDSEI 原来的实际生产中，当拉丝速度达到某一固定值时，即使进入涂覆模的光纤温度处于理想状态，光纤涂覆质量还是会急速下降，涂覆直径无法稳定，涂层同心度变差。在更改涂覆模出口模形状并对生产工艺进行优化之后，我们使光纤涂覆在高生产速度下（1200m/min）达到了一个稳定的状态，同时光纤涂层同心度性能方面也有很大程度的提高。CDSEI 光纤同心度数据见表 2。

表 2: 光纤外径对包层同心度误差分布



模具的清洁: 拉丝生产中, 涂覆模具的清洁也非常重要。如果涂覆模具出口不清洁, 会影响出口模的形状, 不圆的出口模会使涂覆不稳定, 生产出的光纤涂层不圆度增大, 同心度变差, 或是涂层表面不光滑。对于内涂覆模来说, 出口模或导模的不清洁还增加了裸光纤与异物接触的机会, 有可能会大幅度影响光纤的强度。

模具上的异物主要是上次拉丝生产后未清洁的涂料, 或是涂料固化过程中的挥发物形成的致密壳状物, 生产过程中还有可能有其它的外界物质进入到模具之中。因此, 每次生产之前, 涂覆模具必须进行全面的清洗。模具清洗过程中, 超声波清洗机和显微镜均是必不可少的。

涂覆平台: 好的涂覆平台可以让操作者比较容易调节涂覆模具的水平位置(X、Y位置)和倾斜角度, 从而得到好的涂覆同心度。CDSEI采用专用涂覆平台, 可以轻易对涂覆模的水平位置和倾斜角度进行精确调节, 从而对涂覆模的水平位置和倾斜角度进行精确定位。

3. 光纤进入涂覆模具时的温度

在涂覆模中, 只有把光纤表面温度和涂覆系统配套考虑, 才能维持比较稳定的涂覆状态。

光纤表面温度的测量很重要, 只有掌握第一手详细的资料才能对涂覆状况作出初步的判断。我们使用专用的温度测量装置对光纤表面温度进行在线测量, 了解光纤冷却状态。

光纤冷却方式与效率对光纤表面温度的影响很大, 在高速拉丝时更是如此, 它总是和光纤涂覆联系在一起的。其一, 冷却管的形式, 采用开合式冷却管, 可方便操作, 但需要解决密封问题以提高冷却效率; 其二, 气体流量, 气体流量大对光纤的冷却更有利; 其三, 气体进气方式, 气体的进气方式的优化可以在很大程度上提高冷却效率。

三、常见光纤涂覆缺陷

涂层中的气泡：如果光纤涂层中含有气泡，会大大增加光纤的温度敏感性能，因此生产中要避免气泡进入涂层之中。涂层中的气泡，可分为内涂层与裸光纤界面上、内外涂层界面上、内涂层中及外涂层中。在光纤涂层中有少量气泡时，一般外观上没有特别之处；但在显微镜下可以明显观察到。若有大量气泡，则会有发白的现象，见图 1。

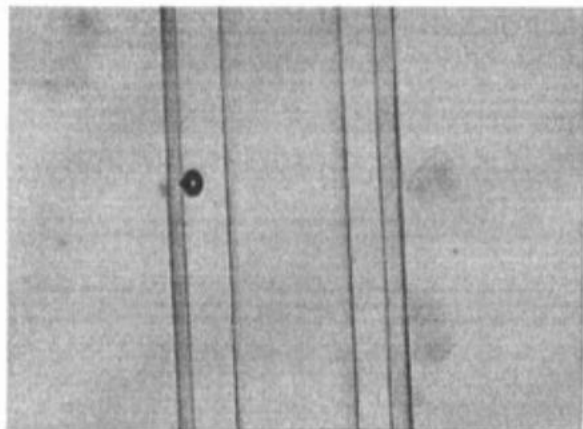


图 1：涂层中的气泡

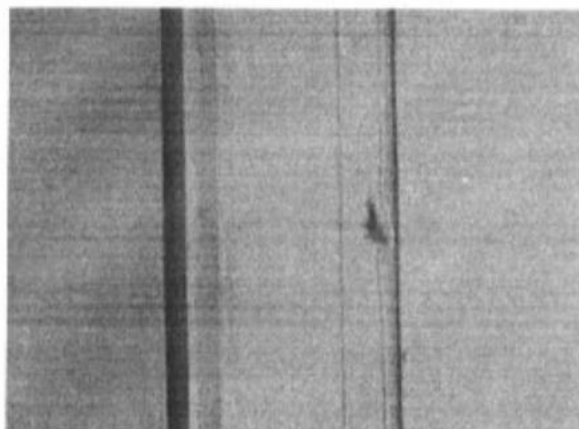


图 2：涂层中的异物

涂层中的异物：光纤涂层中的异物主要是纤维或是固化后的涂料（主要发生在二次涂覆）及结晶的涂料，也有可能是其它的物质。见图 2。当涂层中有异物时，一般都会有会伴随有不正常涂覆现象，因此可以比较容易进行取样分析。

涂层直径突变：即通常说的 coating flaw 或 lump，它会对光纤后续生产工序，尤其是着色造成比较大的影响，见图 3、4。涂层直径突变可分为直径变大和变小两种，涂层直径变小时通常不会对后续工艺产生大的影响，但是涂层直径变大时，可能会在光纤着色过程中造成涂层被着色模具损伤，使光纤强度等方面受到影响，或是引起光纤着不上色的现象。

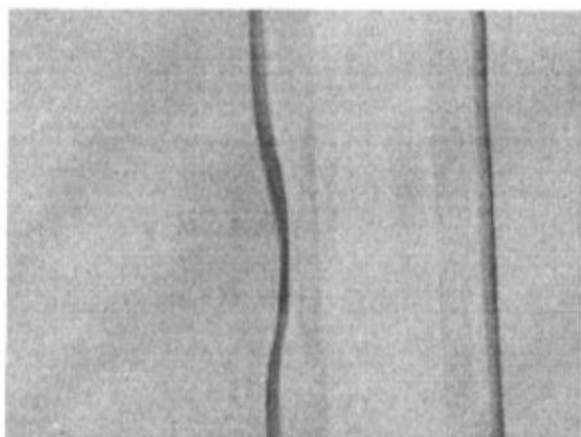


图 3：涂层直径突变（直径变小）

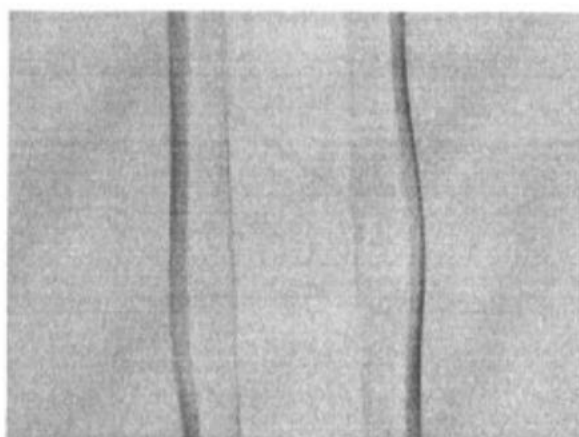


图 4：涂层直径突变（直径变大）

内外涂层相混：发生这种情况时，光纤外径无大的变化，但是在显微镜下可以观察到

光纤涂层内外层的界面不清晰，有时有多层界面出现的情况，见图 5、6。

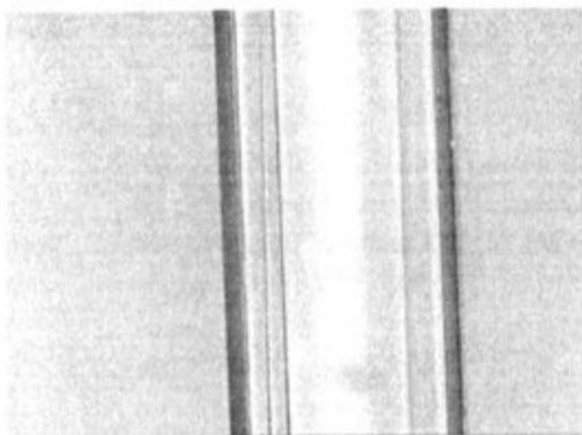


图 5: 内外涂层相混

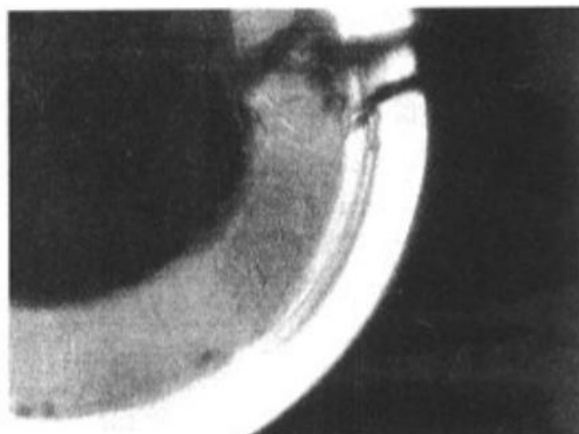


图 6: 内外涂层相混（截面）

涂层剥离：此现象发生在裸光纤与内涂层之间，见图 7。

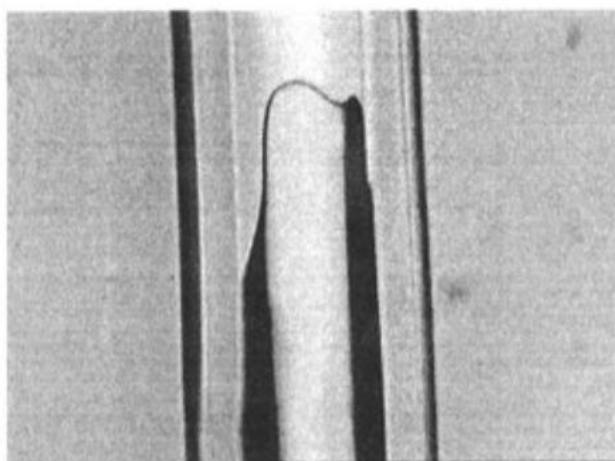


图 7: 涂层剥离

对于涂层中的气泡、异物、直径突变、内外层相混、涂层剥离等涂覆缺陷，CDSEI 进行了认真详实的分析，针对产生的原因进行持续的工艺调整和设备改进，从而得到了良好而可靠的涂覆质量。

四、结论

良好的涂覆是得到高品质光纤的一个必不可少的重要环节。因此在拉丝生产中必须对可能影响光纤涂覆质量的因素进行监控，不断对出现的问题进行分析，以期由此得到稳定的光纤涂覆质量。

【参考文献】

- [1] 光纤调整拉丝的工艺控制,《光纤通信》2003年第1期
- [2] 光纤涂覆技术和质量控制分析,中国通信学会《2002年光缆电缆学术年会论文集》
- [3] 光纤拉丝理论综述,《网络电信》2002年第7、8期
- [4] 光纤涂覆模具的尺寸设计, CDSEI网站 技术文章
- [5] 移动光纤动力弯液面, Anil Abraham and Constantine Polymeropoulos, 48th IWCS
- [6] Numerical Modeling of Optical Fiber Coating Process, Katjia Lyytikainen, 46th IWCS
- [7] Design of an Efficient Cooling Tube for Optical Fiber Manufacturing at High Draw Speeds, Denis Tschumperle, Aurelien Leon