

doi: 10.3788/lop47.022203

涂覆模具设计对光纤涂层同心度的影响

钱新伟^{1,2} 刘德明¹ 王瑞春² 蒋小强²

(¹华中科技大学光电子科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; ²长飞光纤光缆有限公司, 湖北 武汉 430073)

摘要 研究了在高速拉丝条件下涂覆模具的设计对光纤涂层同心度的影响。高速拉丝过程中, 模具中涂料的压力梯度决定了对中作用力和光纤涂层同心度的大小。通过计算证明, 涂料在圆锥形模具中流动时, 能够在模具内产生一定的压力梯度。内层涂覆时, 涂料流动所产生的压力梯度远大于外层涂覆。涂覆模具的孔径、锥度和长度对涂料压力梯度大小有重要影响。锥度和长度的增加能够提高涂料压力梯度, 而模具孔径的增加则对压力梯度有降低作用。通过模具的优化设计, 可使 1800 m/min 速度下所拉光纤的内外涂层同心度平均值分别达到 1 μm 和 2 μm 。

关键词 光学制造; 涂层同心度; 压力梯度; 模具设计

中图分类号 TN929.11 OCIS 220.4610 060.2280 文献标识码 A

Effect of Die Design on Coating Concentricity of Optical Fiber

Qian Xinwei^{1,2} Liu Deming¹ Wang Ruichun² Jiang Xiaoqiang²

(¹College of Optoelectronics Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China
²Yangtze Optical Fibre and Cable Co., Ltd, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The effect of die design on coating concentricity of optical fiber at high drawing speed is investigated. In high speed drawing process, the pressure gradient of coating in die determines the magnitude of centering force and the concentricity of coating layers. The results of calculation prove that the flow of coating in conical shaped die can create pressure gradient of coating in die. The shape and size of die have very important effect on the magnitude of pressure gradient. The increase on taper and length of die will increase the pressure gradient, while the increase on diameter of hole can reduce the pressure gradient. Based on the optimization of die design, the average deviations of concentricity of primary and secondary coating layers of fiber drawing at 1800 m/min can be reduced to 1 μm and 2 μm respectively.

Key words optical fabrication; coating concentricity; pressure gradient; die design

1 引言

随着光纤通信技术的发展和光网络的普及, 市场上对光纤的需求量越来越大。另一方面, 由于受到 2002 年光纤发展低谷的影响, 光纤的价格在逐步下降。光纤价格的持续下滑使光纤生产厂商的成本压力越来越大, 进一步降低光纤制造成本是诸多光纤制造商面临的共同问题。因此, 在当前情况下, 提高拉丝速度是解决上述问题的有效方法。通过对原有的生产设备和生产工艺进行升级和改造, 不仅可以减少设备投资, 而且可以迅速提高生产效率和降低生产成本。

然而, 拉丝速度的提高会导致拉丝过程的稳定性变差。其中一个重要问题是光纤的涂层同心度随拉丝速度的提高而变大。特别是在拉丝速度高于 1500 m/min 时, 涂层同心度变差是经常出现的严重问题。这不仅影响光纤质量, 而且造成拉丝过程无法继续进行, 对光纤的生产效率和质量控制都有很大的影响。

收稿日期: 2009-05-13; 收到修改稿日期: 2009-06-26

作者简介: 钱新伟(1974—), 男, 博士, 通信工程师, 主要从事光纤制造和光纤通信等方面的研究。

E-mail: qianxinwei@yofc.com

2 涂层同心度的影响因素

在拉丝过程中,对涂层同心度有重要影响因素包括设备准直状态、模具设计和工艺条件。其中,高速拉丝过程中光纤涂层的同心度主要依靠模具中涂料与光纤之间作用力而使光纤处于模具的中间。当使用圆锥形涂覆模具时,涂料在向下运动的过程中受到模具形状影响而在模具中形成回旋流动状态^[1]。涂覆过程中回旋流动的涂料将会对光纤产生“对中作用力”(centering force),通过对中作用力保持光纤在涂覆过程中始终处于模具中心位置^[2,3]。对中作用力的大小取决于模具中涂料的压力梯度^[4]。由于高速拉丝过程中光纤容易出现抖动和位置偏移,因而只有当压力梯度达到一定数值时,所产生的对中作用力才能够纠正光纤的位置偏差,从而使光纤的涂层具有良好的同心度。

为研究模具的尺寸和形状对涂料压力的影响,需要对涂料的流动过程进行分析。涂料和光纤在圆锥形模具中的涂覆过程如图 1 所示。

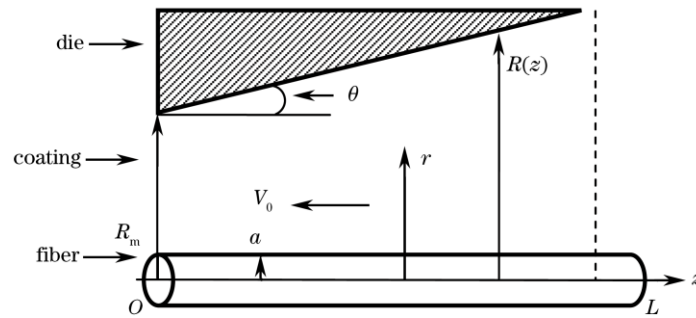


图 1 光纤在圆锥形模具中的涂覆过程

Fig.1 Coating process of fiber in conical shaped die

图 1 中 a 为光纤直径, V_0 为光纤运动速度, L 为圆锥形模具的长度, $R(z)$ 为圆锥半径, R_m 为涂覆模孔半径, θ 为圆锥的锥度。涂料在模具中的流动过程中,轴向(z 方向)运动的速度为 v_z 。假定涂料为牛顿型流体,在不考虑重力和惯性作用力的条件下,其流动方程为^[1,5]

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{1}{\eta} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (1)$$

为研究模具中涂料的压力分布,在(1)式中引入相应的边界条件,解方程可得到涂料在模具 z 方向上的压力变化

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{8\eta \left[C_1 - \frac{\pi V_0}{2} \cdot \frac{a^2 - R^2 - 2a \ln(a/R)}{\ln(a/R)} \right]}{\pi(R^2 - a^2) \left[R^2 - a^2 + \frac{a^2 - R^2 - 2a \ln(a/R)}{\ln(a/R)} \right]}, \quad (2)$$

式中 P 为模具中的涂料压力, C_1 为积分常数。根据圆锥形状可知, $R(z)$ 与 R_m 成线性关系,即

$$R = R(z) = R_m + z \tan \theta. \quad (3)$$

由(2)和(3)式可知,影响模具中涂料压力分布的因素包括模具孔径 R_m , 模具锥度 θ , 涂料粘度 η 和拉丝速度 V_0 。在实际拉丝过程中,拉丝速度为预设的固定值,涂料粘度的变化范围也很小。因此,模具的尺寸和形状决定了模具中涂料的压力分布。

3 分析与讨论

3.1 模具中涂料的压力分布

为计算模具中的涂料压力,对(2)式进行积分运算,根据边界条件可以计算出 C_1 和不定积分中的常数

项。以下面的尺寸为例，(涂料粘度 $\eta=550 \text{ mPa}\cdot\text{s}$)

内层涂覆: $R_{m1}=115 \mu\text{m}$, $\theta=10^\circ$, $L=1 \text{ mm}$, $d=125 \mu\text{m}$;

外层涂覆: $R_{m2}=150 \mu\text{m}$, $\theta=10^\circ$, $L=1 \text{ mm}$, 内涂层直径 $d'=190 \mu\text{m}$;

通过计算可得到 $V_0=1600 \text{ m/min}$ 拉丝不加压涂覆(外界压力为零)时, 涂料在模具中的压力分布。如图 2(a)所示, 在没有外界压力的作用下, 在拉丝过程中涂料在圆锥形模具中流动时将会在模具中产生一定的压力梯度。其中, 内层涂覆时模具中的压力梯度远大于外层涂覆。当采用加压涂覆时(假定模具入口压力为 10^5 Pa), 模具内涂料压力梯度会随之增加, 如图 2(b)所示。压力梯度的存在将会对模具中的光纤产生向心作用力, 作用力大到一定程度时即可使光纤在拉丝过程中始终处于模具的中间位置, 从而使光纤的涂层具有良好的同心度。

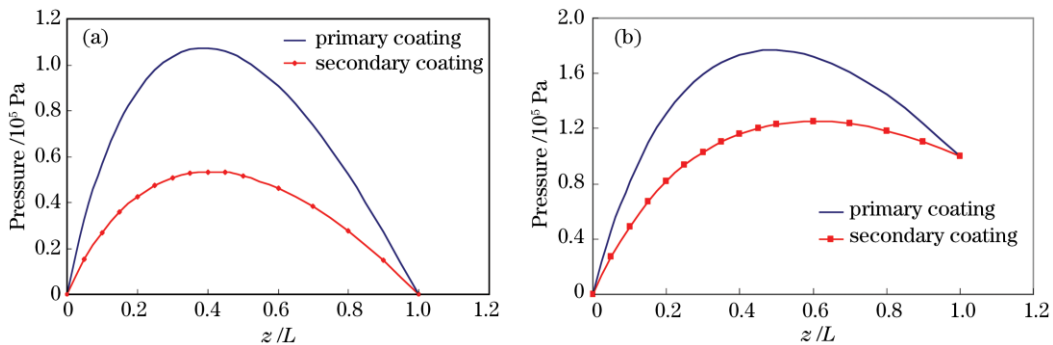


图 2 不加压(a)和加压(b)涂覆条件下模具中涂料的压力分布
Fig.2 Pressure of coating in die without (a) and with (b) external pressure

3.2 模具尺寸对压力梯度的影响

在涂覆模具的尺寸参数中, 可变的是圆锥锥度 θ , 模具孔直径 R_m 和模具高度 L 。图 3 为 1600 m/min 速度下内层涂覆过程中, 不同尺寸的圆锥模具中涂料的压力分布。

图 3 (a) 中从 θ_1 到 θ_3 , 随着锥度的逐渐增大, 模具内涂料的压力梯度随之快速上升。但当锥度 θ 超过一定值时, 过高的压力梯度容易破坏模具内涂料流动的稳定, 影响光纤的涂覆质量。因此, 在实际生产中, 模具的角度一般控制在 $6^\circ \sim 12^\circ$ 。当 $\theta=0$ 时, $P=0$ 。这说明圆柱形模具内的涂料流动不会产生压力梯度。

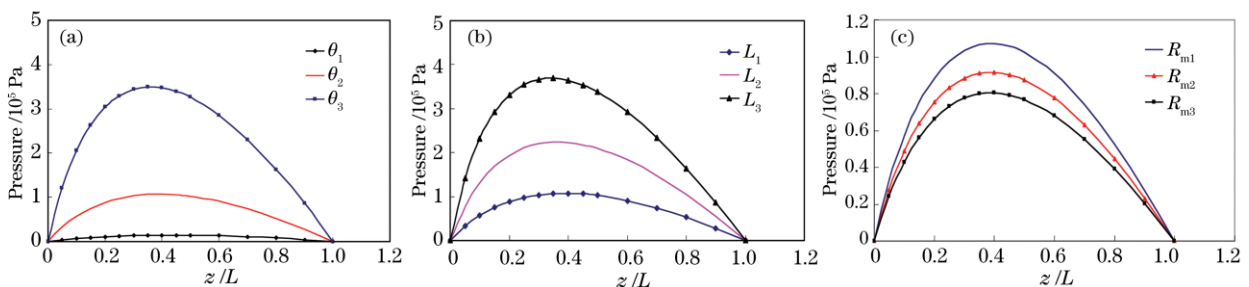


图 3 不同锥度(a), 长度(b)和孔径(c)模具中涂料的压力分布
Fig.3 Pressure of coating in die as function of conical degree (a), length (b) and diameter (c)

图 3 (b) 中从 L_1 到 L_3 增加模具长度有利于提高模具内涂料的压力梯度。模具长度对涂料压力梯度的影响与锥度类似, 应控制在合适的范围之内。

图 3 (c) 中随着模具孔径的增加, 模具内涂料的压力梯度逐步下降。因此, 涂覆过程中在涂层厚度可以满足要求的情况下, 应尽可能选用孔径较小的模具。如需要使用大孔径模具, 则可对模具的锥度和长度进行调整, 以平衡孔径变化的影响。

实验中对模具尺寸和形状进行优化之后, $\theta=8^\circ \sim 10^\circ$, $L=1.5 \sim 2 \text{ mm}$ 。使用此模具在 1800 m/min 速度

下拉丝时，光纤内外涂层的同心度平均值可控制在 $1\ \mu\text{m}$ 和 $2\ \mu\text{m}$ ，如图 4 所示。

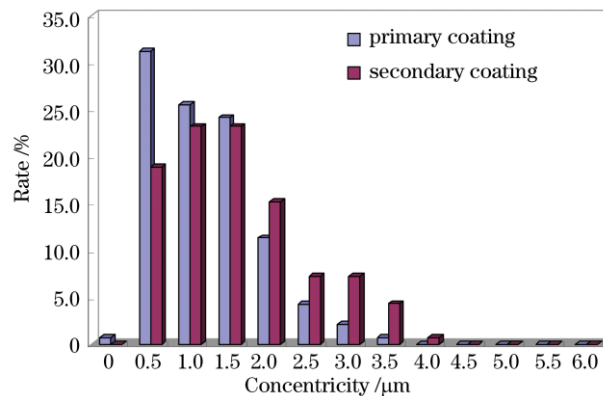


图 4 1800 m/min 速度下光纤的涂层同心度分布
Fig.4 Coating concentricity of fiber drawing at 1800 m/min

4 结 论

高速拉丝过程中，模具设计对光纤涂层的同心度有重要影响。涂料在圆锥形涂覆模具中流动时，能够在模具中产生一定的压力梯度。压力梯度的大小取决于模具的尺寸和形状。模具锥度和长度的增加有利于提高压力梯度；而模具孔径的增大则对压力梯度有降低作用。通过设计合适尺寸的模具，可使拉丝过程中光纤始终处于模具的中心位置，所生产光纤的涂层具有良好的同心度。

参 考 文 献

- 1 U. C. Paek, C. M. Schroeder. Coating of optical fibers with a conical shape applicator[J]. *Fiber and Integrated Optics*, 1979, **2**(3-4): 287~298
- 2 Bernard R. Eichenbaum. Measurement of the fluid dynamic centering force in a fiber optic coating die[J]. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 1980, **19**(2): 132~135
- 3 K. Rattan, Y. Jaluria. Simulation of the flow in a coating applicator for optical fiber manufacture[J]. *Computational Mechanics*, 2003, **31**(5): 428~436
- 4 C. J. Aloisio, T. A. Lenahan, C. R. Taylor. Coating optical fibers with dual dies separated by a pressurized chamber[J]. *Fiber and Integrated Optics*, 1984, **5**(1): 81~97
- 5 S. Sakaguchi, T. Kimura. High-speed drawing of optical fibers with pressurized coating[J]. *J. Lightwave Technology*, 1985, **LT-3**(3): 669~673