

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0099-04

微结构聚合物光纤端面的切割工艺

张亚妮^{1,2}

¹ 宝鸡文理学院物理与信息技术系, 陕西 宝鸡 721007
² 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 陕西 西安 710119

摘要 微结构聚合物光纤(MPOF)以其成本低廉、制备简单以及微孔结构的灵活控制性而产生了许多新的光学特性,并作为普通聚合物光纤的替代物,近来取得了快速的发展。MPOF 商用化的障碍在于光纤的切割和端面低损耗耦合处理。从实验上研究了 MPOF 的端面切割工艺,找到了影响端面切割效果的因素,包括:光纤拉伸条件、切割刀片的温度、切割光纤的温度等,并最终得到了光学性能较好的微结构聚合物光纤切割端面。

关键词 光纤光学;微结构聚合物光纤;切割工艺;热刀片/热光纤

中图分类号 TN253 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s2.0099

Cleaving Technics of Ending Face of Microstructured Polymer Optical Fiber

Zhang Yani^{1,2}

¹ Department of Physics and Information Technology, Baoji College of Arts and Science, Baoji, Shaanxi 721007, China

² State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710119 China

Abstract Microstructured polymer optical fiber (MPOF) are rapidly developing as an alternative to conventional polymer optical fiber. They are cheaper and simpler to make, and also have a wide variety of new optical properties through tailoring the hole structure imposed on the preform and maintained within the final fiber. However, one important issue that needs resolution to facilitate successful commercialisation is cleaving of the fiber to form an optical ending face for coupling. The impact of the following parameters is considered in cleaving microstructured polymer optical fibers: fiber drawing conditions; temperature of cutting blade, and fiber temperature during cleaving, etc. Optically acceptable MPOF ending faces can be produced by employing a “hot blade/hot fiber” combination.

Key words fiber optics; microstructured polymer optical fibers; cleaving technics; hot blade/hot fiber

1 引言

在微结构聚合物光纤(MPOF)的实际应用和性能测试中,必须解决的一个关键问题是 MPOF 端面的切割处理。普通聚合物光纤的端面常常采用刀片切割方法,为了得到耦合效率高、表面散射小的端面,切割刀片要求非常锋利,并进行轻微的加热切割。对于 MPOF,其光纤内部沿光纤长度方向有表示该光纤设计性能的形状规则的微结构孔,有效的端面处理,不仅可以大大提高 MPOF 与光学器件之间的耦合效率,改善测试效果,而且可以确保光纤设

计性能的完整性。若光纤端面处理比较粗糙,则会大大降低 MPOF 的导光性能,甚至影响光纤预先设计的光学性能,导致不可估量的损失。本文从实验角度对 MPOF 端面切割工艺进行探索,以期 MPOF 切割的理论研究提供可以借鉴的参考。

2 影响微结构聚合物光纤端面切割效果的因素

目前,大多数有效切割 MPOF 的方法主要是刀

基金项目: 国家自然科学基金(10604066)、国家第 43 批博士后科学基金(20080431258)、陕西省教育厅自然科学专项基金(08JK214)和宝鸡文理学院重点基金(ZK0841)资助课题。

作者简介: 张亚妮(1966—),女,博士,教授,中国科学院在站博士后。主要从事光子晶体光纤的设计及光纤性能测试研究。E-mail: zhangyn@opt.ac.cn

切法。由于聚合物光纤材料的柔韧性,一般不容易切断,因此必须采用刚性较好的、非常锋利的刀片,并以很快的速度切下才能保证端面的平整性和微结构的完整性。实验中,采用吉列牌剃须刀片。尽管采用非常锋利的刀片,在常温下切割完成的端面经常还是出现很多缺陷,比如微结构的变形、切割端面的裂纹以及沿 MPOF 长度方向的裂纹。为此,分析了影响 MPOF 端面切割效果的因素。MPOF 的制备材料聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 是一种类似玻璃的热塑性材料,在常温下比较脆,易折断,当温度过高时,如在 PMMA 的玻璃化温度附近,又会软化而变得黏弹。研究表明,PMMA 的脆弱性与其预制棒合成过程中 PMMA 分子量存在强烈的依赖关系^[1,2],当样品光纤被加热到 50 °C 时,将出现由脆到柔软的变化^[3,4]。因此,聚合物光纤端面的切割处理与温度存在很大的依赖关系。此外,聚合物光纤的拉丝成纤主要依靠材料的黏弹性作用,光纤拉丝过程实质使得沿光纤长度方向表面能减小,光纤横向方向表面能增加,因此拉丝过程增加了光纤内部的力学各向异性。所以,光纤端面的切割处理还需考虑光纤拉丝过程中产生的各向异性。进一步分析表明,聚合物光纤拉丝过程中产生的各向异性与拉丝温度存在密切的关系,当拉丝温度较高时,拉丝

产生的横向各向异性程度将增加,反之,拉丝温度越低,横向各向异性则相对较弱;而 MPOF 在拉丝中,为了降低微孔坍塌率,一般要求拉丝温度不能太高,因此,MPOF 端面的切割处理还必须考虑拉丝条件。总之,影响聚合物光纤切割处理效果的关键因素应该是切割温度和拉丝温度。为此,分别研究了在低温(200±3 °C)和高温(228±3 °C)拉丝条件下得到的聚合物光纤端面切割效果与温度的关系,并进一步得到了 MPOF 的最佳拉丝条件和切割条件。

2.1 低温拉丝条件所得 MPOF 的切割

切割的光纤样品选取在(200±3 °C)下拉丝得到的椭圆芯 MPOF,切割采用非常锋利的吉列牌剃须刀片。为了保证切割过程中切割刀片与光纤温度的一致,光纤切割在恒温箱中进行。先将待切割的光纤和刀片在恒温箱加热到合适的温度,然后在其中对光纤进行切割,并对切割后的端面采用显微镜观测和光纤耦合输出功率测量进行端面效果描述。图 1 给出了样品光纤在室温用未加热刀片切割后的效果,其中图 1(a)为侧面劈裂情况,图 1(b)为端面显微结构。可以看出,光纤呈现明显的横向裂纹和由于材料的各向异性产生的纵向分裂,但其纵向劈裂程度小于横向劈裂程度。

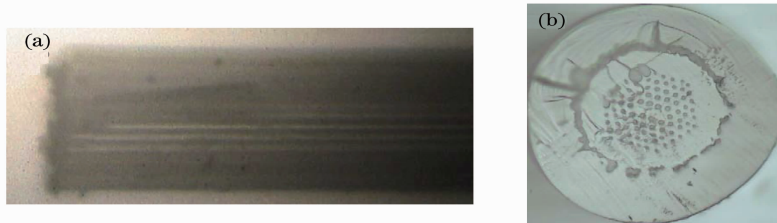


图 1 样品光纤在室温用未加热刀片切割后的侧面劈裂(a)及端面显微结构(b)

Fig.1 Lateral splintered end (a) and micrograph of cross-section (b) of fiber at room temperature

图 2 给出了对该样品光纤在不同温度下切割时的光学显微照片,其中图 2(a)是光纤在室温 25 °C 时,采用 25 °C 刀片切割的端面,显然,这时,端面存在明显纵向裂纹,且横向裂纹也较明显,并主要集中在

在光纤包层;图 2(b)是光纤被恒温加热到 70 °C 时,采用 70 °C 刀片在恒温箱切割的端面,该切割温度比较合适,切割的光纤端面横向裂纹变为非常小的细纹,纵向裂纹几乎不可见,端面微结构非常清晰。

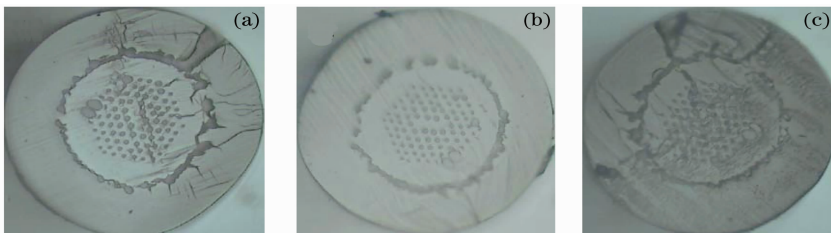


图 2 低温拉丝下样品光纤在不同切割温度时的显微端面。(a)25 °C;(b)70 °C;(c) 85 °C

Fig.2 Micrograph cross-section of fiber at different cleaving temperatures for fiber drawn at low temperature. (a)25 °C;(b)70 °C;(c) 85 °C

图 2(c)是光纤被恒温加热到 85 ℃时,采用 85 ℃刀片在恒温箱切割的端面,这时,纵向裂纹是不可见的,而横向裂纹明显增加。同时,由于切割温度较高,距离材料的玻璃化温度太近,光纤变软而粘度增加,使得切割得到的端面模糊,微结构几乎不可见。

表 1 不同切割温度下光纤的输出功率

Table 1 Output power of fiber at different cleaving temperatures

Cleaving fiber temperature /℃	Output power / μ W
25	350
60	375
70	400
80	310

总之,在低温拉丝条件下得到的光纤,其横向各向异性较弱,则导致光纤微孔变形率和坍塌率降低。如果直接在室温(25 ℃)切割,其端面横向和纵向劈裂比较明显,适当增加切割温度,可以使切割端面的横向裂纹明显减小。当切割温度增加到 70 ℃时,得到的切割端面最清楚,除了具有轻微的孔结构变形外,几乎不存在纵向裂纹。若切割温度接近或高于 80 ℃,则会呈现由于切割温度过高使得材料软化而导致刀片切割过程中产生明显的孔变形甚至拉伤,进而端面模糊。表 1 给出了对不同端面的耦合效率进行测量的对比分析,其测试光源选取 632.8 nm 的 He-Ne 激光,光纤长度选取 50 cm,入射光功率为 35 mW,其输出功率随切割端面程度的好坏变化非

常明显。从表 1 可以看出,光纤切割端面越好,光耦合效率越高。

2.2 高温拉丝条件所得 MPOF 的切割

对于同一预制棒,为了减小拉伸光纤中的各向异性,设定比较高的拉丝温度,即 228 ± 3 ℃时,采用非套管拉伸法,拉制得到椭圆芯非套管 MPOF,然后对其采取同样的切割方法进行了端面切割处理。图 3 是该样品光纤在不同温度下切割得到的光学显微照片。其中图 3(a)是光纤在室温(25 ℃)时切割得到的光纤端面,由图可知,该光纤由于拉丝温度较高,在室温时切割的端面表现出明显的横向各向异性,即在接近包层呈现明显的劈裂,而纵向裂纹则不明显,切割端面中微孔结构变形也相对不明显,切割效果比较理想;若将光纤恒温加热到 70 ℃时,采用 70 ℃刀片在恒温箱切割,如图 3(b),则由于温度过高,切割的光纤端面孔变形和刀片拉伤变形严重,但横向裂纹程度减弱;当进一步增加切割温度,如图 3(c)将光纤被恒温加热到 85 ℃时,采用 85 ℃刀片在恒温箱切割的端面,这时,光纤进一步变软,材料粘度增加,横向裂纹是不可见的,但由于刀片切割引起的孔变形和孔坍塌明显增强,端面几乎模糊不清,类似于低温拉丝光纤在 85 ℃时切割的情形。因此,对于较高拉丝温度下得到的光纤,建议考虑将其冷却使其变得比较脆时进行切割。

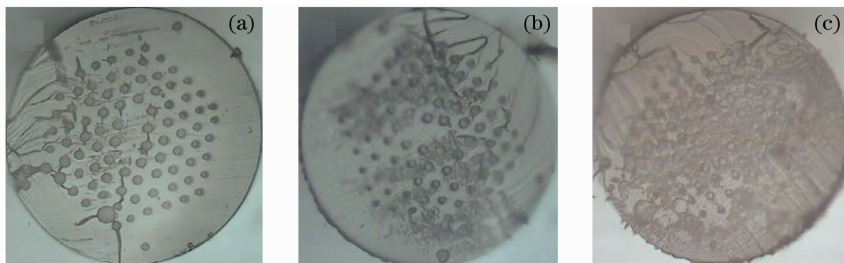


图 3 高温拉丝下样品光纤在不同切割温度时的显微端面。(a)25 ℃;(b)70 ℃;(c)85 ℃

Fig. 3 Micrograph cross-section of fiber at different cleaving temperatures for fiber drawn at high temperature

(a)25 ℃;(b)70 ℃;(c)85 ℃

2.3 MPOF 最佳切割条件

根据以上分析,MPOF 的切割条件主要依赖于拉制光纤时的温度和切割光纤时的温度。实验中,从切割刀片的温度^[5,6]、切割光纤的温度以及光纤切割过程中的张力三个方面进一步研究了切割高质量光纤端面的条件。理想的切割必须存在合适的切向张力,这样有利于切割过程中刀片与光纤端面的分离,使得光纤端面比较光滑,若切割张力太大,即切割光纤的温度较低,则容易导致切割端面横向裂

纹明显增加;反之,若切割张力太小,即切割光纤的温度较高,则容易导致切割过程中刀片与光纤不容易分离,切割端面被刀片拉伤而模糊不清。经过大量的切割尝试和端面显微观察,摸索到了高质量光纤端面切割的最佳条件^[7,8],如图 4,该图是根据切割结果得到的经验型统计概率分布图,由图可以看出,当切割刀片的温度在 60~70 ℃,同时被切割光纤也被加热到 60~70 ℃时,即图中椭圆所示区域,切割得到的光纤端面比较清楚,可接受程度较高,一

次性切割准确率也较高。因此,在这一区域,切割得到有效光纤端面的分布点比较密集。该最佳切割条件隐含了合适的切割张力,其他区域尽管偶尔也可以切割得到比较好的光纤端面,但是,由于光纤切割时要么温度太高,导致切割张力较小,使得切割得到的光纤端面模糊;要么温度太低,导致切割张力太大而使得光纤端面横向裂纹明显,因此,切割得到比较理想端面结构的概率较低。图 3(b)即为这一切割条件下得到的光学显微成像端面。值得说明的是,光纤切割时最好选取切割刀片和光纤的温度比较相当,当选取热刀片/冷光纤或热光纤/冷刀片切割时,得到的光纤端面成功的概率也非常低。

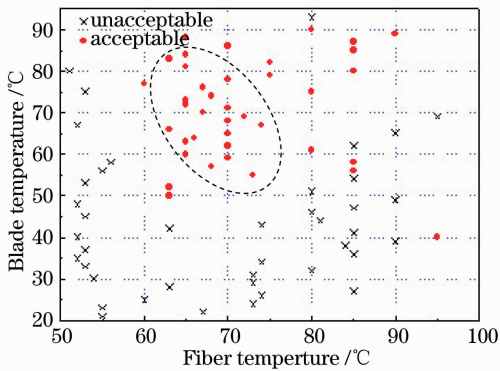


图 4 切割质量与光纤温度和刀片温度之间的关系

Fig. 4 Cleaving quality distribution on the fiber and blade temperatures

3 结 论

研究了 MPOF 端面切割处理与温度和拉丝条件之间的关系。由于 MPOF 材料的性质很大程度上依赖于拉丝条件,光纤在较低的温度下拉丝,其拉伸张力较大,光纤在室温下比较脆,表现出明显的横向

和纵向各向异性,如果直接切割将容易导致端面明显的横向劈裂。实验研究表明,对其进行加热,使聚合物材料经历从脆到柔软的变化,可以明显地降低光纤拉丝过程中的各向异性,使得光纤切割变得容易并有效。进一步研究发现,当切割刀片和光纤被同时加热到 60~70 °C 时,其切割效果最好。另外,对在较高拉丝温度下得到的 MPOF 进行切割时,由于光纤在拉丝过程中经历了由脆到软的变化,具有较低各向异性,在室温下直接切割得到的光纤端面比较理想,横向裂纹不是非常强烈,进一步加热则导致光纤材料变软,切割张力太小而使得切割得到的光纤表面严重变形。

参 考 文 献

- 1 K. Matsushige, S. V. Radcliffe, E. Baer. The pressure and temperature effects on brittle to ductile transition in PS and PMMA [J]. *J. Appl. Polymer Sci.*, 1976, **20** (10): 1853~1866
- 2 M. A. van Eijkelenborg, A. Argyros, G. Barton *et al.*. Recent progress in microstructured polymer optical fiber fabrication and characterisation[J]. *Opt. Fiber Technol.*, 2003, **9**(5): 199~209
- 3 N. G. McCrum, C. P. Buckley, C. B. Bucknall. Principles of Polymer Engineering[M]. New York: Oxford University Press, 1997. 165~173
- 4 Ya'ni Zhang, Liyong Ren, Kang Li *et al.*. Guiding mode in elliptical core microstructured polymer optical fiber[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(4): 194~196
- 5 C. H. Jiang, M. G. Kuzyk, J. L. Ding *et al.*. Fabrication and mechanical behavior of dye-doped polymer optical fiber[J]. *J. Appl. Phys.*, 2002, **92**(1): 4~12
- 6 Zhang Ya'ni, Li Kang, Wang Lili *et al.*. Casting preforms for microstructured polymer optical fibre fabrication [J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(12): 5541~5547
- 7 Zhang Ya'ni, Wang Lili, Ren Liyong *et al.*. Fabrication of microstructured polymer optical fiber perform[C]. *SPIE*, 2005, **6149**: 6149
- 8 Zhang Ya'ni. Fabrication and characteristics of highly birefringent polymer photonic crystal fiber[C]. *SPIE*, 2007, **6781**: 678110