

## 光纤激光器中包层功率剥离器散热性能的优化

夏情感 肖文波 李军华 金鑫 叶国敏 吴华明 马国红

### Optimization of thermal performance of cladding power stripper in fiber laser

Xia Qing-Gan Xiao Wen-Bo Li Jun-Hua Jin Xin Ye Guo-Ming Wu Hua-Ming Ma Guo-Hong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 69, 014204 (2020) DOI: 10.7498/aps.69.20191093

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191093>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

高光束质量、高功率稳定性激光器的设计及实验研究

Design and experimental study on high quality beam and high stability power of laser

物理学报. 2018, 67(7): 074201 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20171932>

基于增益光纤长度优化的双波长运转掺铒光纤锁模激光器

Dual-wavelength mode-locked Er-doped fiber laser based on optimizing gain fiber length

物理学报. 2017, 66(13): 134203 <https://doi.org/10.7498/aps.66.134203>

1064 nm固体激光器和光纤激光器在制备压缩真空态光场实验中的对比研究

Comparative study of squeezed vacuum states prepared by using 1064-nm solid-state and fiber-laser as pump source

物理学报. 2019, 68(12): 124201 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182304>

基于1556 nm光纤激光器频率分裂效应的应力测量

Stress measurement based on 1556 nm fiber laser frequency splitting effect

物理学报. 2019, 68(10): 104201 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182171>

滤波对8字腔掺铒光纤激光器锁模运转的影响

Influence of spectral filtering on mode-locking operation of figure-eight Er-doped fiber laser

物理学报. 2019, 68(6): 064206 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182144>

高功率光纤中传输光模式与其波长相关性研究

Analysis of wavelength dependence of mode in high power fiber laser

物理学报. 2017, 66(19): 194202 <https://doi.org/10.7498/aps.66.194202>

# 光纤激光器中包层功率剥离器散热性能的优化\*

夏情感<sup>2)3)</sup> 肖文波<sup>1)2)3)†</sup> 李军华<sup>1)</sup> 金鑫<sup>2)3)</sup>  
叶国敏<sup>2)3)</sup> 吴华明<sup>2)3)</sup> 马国红<sup>4)</sup>

1) (南昌航空大学, 江西省图像处理与模式识别重点实验室, 南昌 330063)

2) (南昌航空大学, 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063)

3) (江西省光电检测技术工程实验室, 南昌 330063)

4) (南昌大学, 机电工程学院, 南昌 330031)

(2019年7月16日收到; 2019年9月17日收到修改稿)

光纤激光器系统中的包层功率剥离器在去除残余抽运光和高阶激光时, 由于光热转换会产生大量的热能, 所以将热能高效的耗散成为当前的研究热点. 本文对国内外现有的五种剥离器进行了仿真研究与对比, 发现用高折胶法制作剥离器时, 改变填胶孔的形状, 可以有效地增大热源与传热介质间的表面积-体积比, 从而降低剥离器工作时的温度峰谷值; 还发现将高折胶法和酸腐蚀法结合制备粗细不均匀的两段式光纤包层结构, 可以提升剥离器的热分布均匀性. 根据上述发现, 提出了一种新颖的剥离器结构并进行了热效应研究. 结果表明: 包层功率为 150 W 时, 该剥离器的温度峰值为 298 K, 温度谷值为 293 K, 温差为 5 K; 相比于上述五种剥离器, 其温度峰值最多降低了 11.3%, 温度谷值最多降低了 8.4%, 温差最多降低了 87.5%, 证明了该剥离器能有效抑制温升及具有热分布均匀性.

**关键词:** 光纤激光器, 包层功率剥离器, 高折胶法, 酸腐蚀法, 热效应

**PACS:** 42.55.Wd, 68.60.Dv

**DOI:** 10.7498/aps.69.20191093

## 1 引言

光纤激光器具有光束质量好、转换效率高、使用成本低、可靠性高和体积小等优势, 已经被广泛应用于工业加工、光学传感、医疗器械和军事装备等领域<sup>[1-4]</sup>. 随着半导体激光器抽运技术的不断发展, 光纤激光器的输出功率不断增大. 由于增益光纤无法将抽运光完全吸收, 其输出的激光中会含有在包层中传输的残余抽运光和高阶激光等无用光, 也称为包层光, 这些包层光会恶化激光的光束质

量, 并对系统中的元件造成损害, 所以必须将其剥离<sup>[5-7]</sup>. 常见输出功率为千瓦级的光纤激光器中包层光的功率 (简称包层功率, 用物理量  $P_b$  表示) 为数百瓦<sup>[8-10]</sup>. 国内外研究者提出不同的技术剥离包层功率, 包括高折胶法、酸腐蚀法以及高折射率基质法等<sup>[11-13]</sup>. 高性能包层功率剥离器 (cladding power stripper, CPS) 要求功率衰减系数大、纤芯光传输损耗低和温升系数小, 能在激光高功率输出下安全稳定地工作<sup>[14]</sup>, 但现有方法和制备工艺等存在的问题, 会使得包层功率在光纤前端几毫米范围内大量剥离, 从而导致光纤局部温度陡升 (例如

\* 航空科学基金项目 (批准号: 2017ZC56003)、江西省图像处理与模式识别重点实验室开放基金 (批准号: ET201908119)、江西省优势科技创新团队项目 (批准号: 20181BCB24008)、江西省研究生创新专项基金 (批准号: YC2019-S348) 和无损检测技术教育部重点实验室开放基金 (批准号: EW201980090) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: xiaowenbo1570@163.com

采用高折胶法或酸腐蚀法), 其发热集中问题仍无法很好地解决.

为此, 本文对国内外已有的五种 CPS 进行热效应仿真研究. 结果表明, 这些 CPS 对包层功率的剥离各具特色, 但并非是最优的; 通过改进剥离方法并改变填胶孔的形状, 本文提出了一种低温度峰谷值且热分布均匀的包层功率剥离器结构.

## 2 五种 CPS 结构、仿真边界条件及结果分析

### 2.1 五种 CPS 结构

龚凯等<sup>[15]</sup>于 2017 年采用高折胶法制作了一种 CPS, 结构如图 1(a) 所示, 称其为剥离器 1; 其热沉材料为铝, 长 120 mm, 宽 20 mm, 高 20 mm; 填胶孔呈圆柱形, 长 120 mm, 半径为 5 mm; 填胶孔内的光纤用折射率为 1.68 的高折胶涂覆.

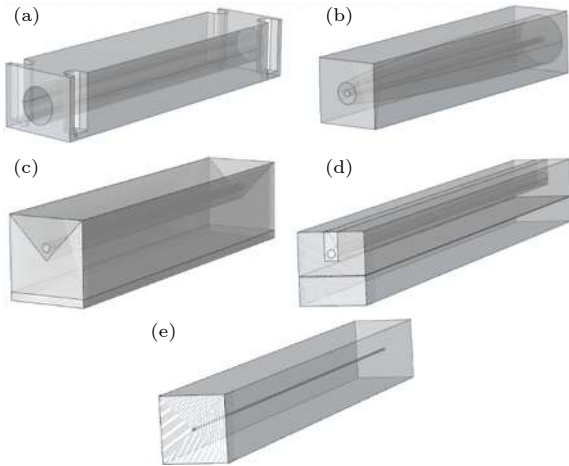


图 1 五种 CPS 的结构图 (a) 剥离器 1; (b) 剥离器 2; (c) 剥离器 3; (d) 剥离器 4; (e) 剥离器 5

Fig. 1. Structural diagrams of five CPS: (a) CPS1; (b) CPS2; (c) CPS3; (d) CPS4; (e) CPS5.

Wang 等<sup>[16]</sup>于 2013 年采用高折胶法制作了一种 CPS, 结构如图 1(b) 所示, 称其为剥离器 2; 其热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 20 mm, 高 20 mm; 填胶孔呈半椭球形, 长 100 mm; 将其光纤除去涂覆层后分为三段, 用折射率为 1.44, 1.46 和 1.56 的高折胶进行间隔涂覆.

Zhang 等<sup>[17]</sup>于 2015 年采用高折胶法制作了一种 CPS, 结构如图 1(c) 所示, 称其为剥离器 3; 其热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 20 mm, 高 20 mm; 填胶孔是一个 V 型槽, 长 100 mm; V 型槽内的光

纤用折射率为 1.68 的高折胶涂覆. 该 CPS 将光纤以圆环形式绕在圆盘上, 本文截取一段作为研究对象.

Reza Poozesh 等<sup>[18]</sup>于 2012 年采用高折胶法和酸腐蚀法结合, 制作了一种 CPS, 结构如图 1(d) 所示, 称其为剥离器 4; 其热沉材料为铜, 长 70 mm, 宽 4 mm, 高 5 mm; 填胶孔是一个方形槽, 长 70 mm, 宽 0.6 mm, 高 2 mm; 方形槽中放置用 HF 酸腐蚀过的光纤, 用折射率为 1.56 的高折胶涂覆.

Yin 等<sup>[19]</sup>于 2017 年采用酸腐蚀法制作了一种 CPS, 结构如图 1(e) 所示, 称其为剥离器 5; 其热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 10 mm, 高 10 mm; 用 HF 酸将其光纤包层腐蚀成粗细不均匀的两段, 第一段长 50 mm, 其包层半径为 0.156 mm, 第二段长 45 mm, 其包层半径为 0.1 mm; 两段光纤中间由一段长 5 mm 的圆锥台形光纤衔接.

### 2.2 仿真边界条件

使用 Comsol 软件的固体传热模块对五种 CPS 进行热效应仿真, 将外部环境温度为 293.15 K. 剥离器 1—4 是基于高折胶法制作的, 包层功率主要在高折胶与热沉金属界面转化为热; 由于高折胶固化后的光透过率很高, 界面光热转化功率近似为包层功率, 所以将边界热源设在胶-热沉界面. 剥离器 5 采用酸腐蚀法, 包层功率在被腐蚀的光纤表面剥离并转化为热, 所以将边界热源设在光纤表面. 热通量边界设为热沉的外表面, 包层功率剥离器封装在光纤激光器中, 故不考虑其热沉表面对流散热<sup>[20]</sup>.

### 2.3 结果分析

将包层功率设置为 150 W, 对五种 CPS 进行热效应仿真, 其切片热分布如图 2 所示, 其中剥离器 1—5 分别对应图中的 (a)—(e). 切片热分布图中每种 CPS 都有三列温度标示图, 从左至右分别给出了 CPS  $xy$  平面、 $yz$  平面和  $zx$  平面的切片温度.

首先, 从图 2 中可以发现, 剥离器 1 三个切片的温度峰值相同, 都是 321 K; 温度谷值相差 1 K,  $xy$  平面和  $zx$  平面的相同为 314 K,  $yz$  平面的为 315 K; 温度峰值和温度谷值差,  $xy$  平面和  $zx$  平面的相同为 7 K,  $yz$  平面的为 6 K. 剥离器 2 三个切片的温度峰值相差 1 K,  $xy$  平面和  $zx$  平面的相同为 312 K,  $yz$  平面的为 313 K; 温度谷值相差 1 K,  $yz$  平面和  $zx$  平面的相同为 299 K,  $xy$  平面的为

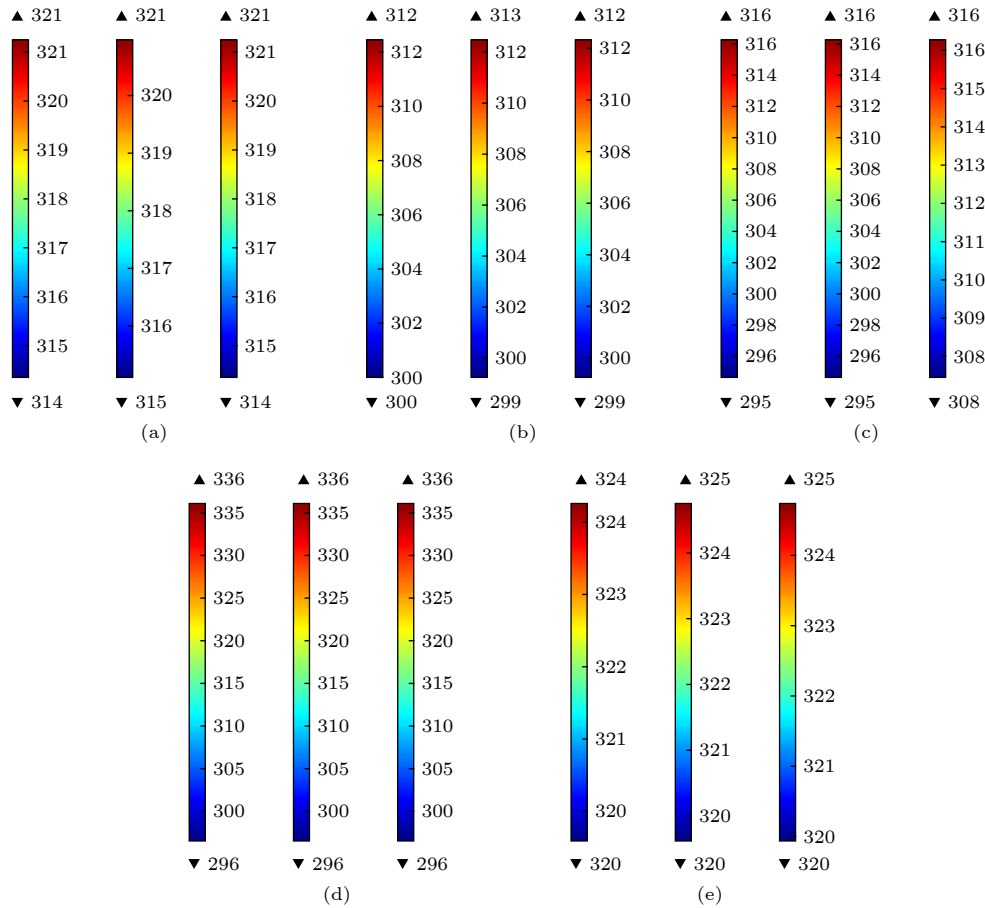


图 2  $P_b = 150$  W 时五种 CPS 的切片热分布图 (a) 剥离器 1; (b) 剥离器 2; (c) 剥离器 3; (d) 剥离器 4; (e) 剥离器 5  
 Fig. 2. The slice thermal profile of five CPS when  $P_b = 150$  W: (a) CPS1; (b) CPS2; (c) CPS3; (d) CPS4; (e) CPS5.

300 K; 温度峰值和温度谷值差,  $xy$  平面的为 12 K,  $yz$  平面的为 14 K,  $zx$  平面的为 13 K. 剥离器 3 三个切片的温度峰值相同, 都是 316 K; 温度谷值相差 13 K,  $xy$  平面和  $yz$  平面的相同为 295 K,  $zx$  平面的为 308 K; 温度峰值和温度谷值差,  $xy$  平面和  $yz$  平面的相同为 21 K,  $zx$  平面的为 8 K. 剥离器 4 三个切片的温度峰值相同, 都是 336 K; 温度谷值相同, 都是 296 K; 温度峰值和温度谷值差,  $xy$  平面、 $yz$  平面和  $zx$  平面的相同, 都是 40 K. 剥离器 5 三个切片的温度峰值相差 1 K,  $yz$  平面和  $zx$  平面的相同为 325 K,  $xy$  平面的为 324 K; 温度谷值相同, 都是 320 K; 温度峰值和温度谷值差,  $xy$  平面的为 4 K,  $yz$  平面和  $zx$  平面的相同为 5 K.

其次, 对比剥离器 1—5 的温度峰值及谷值, 发现剥离器 2 的温度峰值在五种剥离器中最低, 剥离器 3 的温度谷值最低, 所以剥离器 2 和 3 的散热性能更好. 原因可能是剥离器 2 的填胶孔呈半椭球形, 剥离器 3 的填胶孔呈三棱柱凹槽形; 相比于其他三种剥离器, 剥离器 2 和剥离器 3 填胶孔的表面

积-体积比更大, 即其热源与传热介质间的表面积-体积比更大, 散热性能更好<sup>[21]</sup>.

对比剥离器 1—5 的温度峰值及谷值变化, 再次发现剥离器 4 的切片热分布均匀性最好, 剥离器 4 三个切片的温度峰谷值相同. 其原因可能是剥离器 4 将高折胶法和酸腐蚀法结合, 使用 HF 酸将光纤的包层腐蚀, 可以使得光纤中的包层功率散射到高折胶中<sup>[9]</sup>, 高折胶吸收来自不同方向的散射光, 所以剥离器内部由光转化的热也更加的均匀, 其切片热分布均匀性也更好.

对比温度峰值和谷值差, 最后发现剥离器 5 的温差最小, 仅 5 K, 说明其整体热分布均匀性更好; 其原因可能是剥离器 5 采用了分段酸腐蚀法, 相比于传统的酸腐蚀法, 将光纤包层腐蚀成粗细不均匀的几段, 可以使包层功率在光纤轴向均匀的剥离, 从而使得剥离器内部的热分布更加均匀.

为此研究 CPS 的整体热分布性能. 包层功率为 150 W 时, 五种 CPS 的整体热性能数据记录在表 1.

表 1  $P_b = 150$  W 时五种 CPS 的整体热性能数据

Table 1. Overall thermal performance data of five CPS when  $P_b = 150$  W.

序号	温度峰值	温度谷值	温差
剥离器1	321 K	314 K	7 K
剥离器2	313 K	299 K	14 K
剥离器3	316 K	295 K	21 K
剥离器4	336 K	296 K	40 K
剥离器5	325 K	320 K	5 K

由表 1 可以看出, 剥离器 1 温度峰值为 321 K, 温度谷值为 314 K, 温差为 7 K; 剥离器 2 温度峰值为 313 K, 温度谷值为 299 K, 温差为 14 K; 剥离器 3 温度峰值为 316 K, 温度谷值为 295 K, 温差为 21 K; 剥离器 4 温度峰值为 336 K, 温度谷值为 296 K, 温差为 40 K; 剥离器 5 温度峰值为 325 K, 温度谷值为 320 K, 温差为 5 K. 剥离器 2 的温度峰值在五种剥离器中最低, 剥离器 3 的温度谷值最低, 剥离器 5 的温差最小. 该结果与切片热分布图得出的结果一致, 进一步证明了上述结论.

为了更进一步验证以上结论, 将包层功率设为 200 W, 五种 CPS 的整体热性能数据见表 2.

表 2  $P_b = 200$  W 时五种 CPS 的整体热性能数据

Table 2. Overall thermal performance data of five CPS when  $P_b = 200$  W.

序号	温度峰值	温度谷值	温差
剥离器1	326 K	318 K	8 K
剥离器2	319 K	301 K	18 K
剥离器3	324 K	295 K	29 K
剥离器4	350 K	296 K	54 K
剥离器5	335 K	328 K	7 K

由表 2 可以看出, 包层功率为 200 W 时, 剥离器 1 温度峰值为 326 K, 温度谷值为 318 K, 温差为 8 K; 剥离器 2 温度峰值为 319 K, 温度谷值为 301 K, 温差为 18 K; 剥离器 3 温度峰值为 324 K, 温度谷值为 295 K, 温差为 29 K; 剥离器 4 温度峰值为 350 K, 温度谷值为 296 K, 温差为 54 K; 剥离器 5 温度峰值为 335 K, 温度谷值为 328 K, 温差为 7 K. 由此可知, 剥离器 2 的温度峰值在五种剥离器中最低, 剥离器 3 的温度谷值最低, 剥离器 5 的温差最小. 上述结论与包层功率为 150 W 时得出的结论一致, 进一步证明了本文结论.

### 3 剥离器优化及结果分析

根据上述结论, 为了进一步降低 CPS 的温度峰谷值, 结合剥离器 2 和 3 的优点制作了剥离器 6, 如图 3(a) 所示; 该剥离器热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 20 mm, 高 20 mm; 填胶孔设计为圆锥台形, 以获得更大的表面积-体积比, 长 100 mm, 顶面半径为 6 mm, 底面半径为 4 mm.

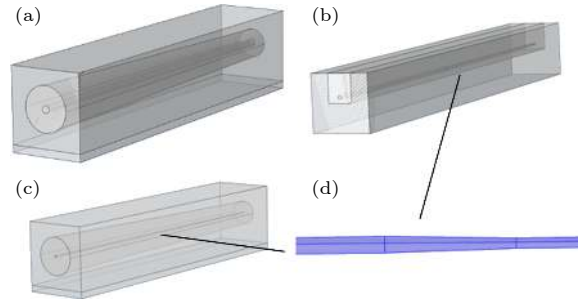


图 3 剥离器 6, 7, 8 的结构图及两段式光纤细节图 (a) 剥离器 6; (b) 剥离器 7; (c) 剥离器 8; (d) 两段式光纤细节图

Fig. 3. Structural diagrams of CPS 6, 7, 8 and Two-section optical fiber detail diagram: (a) CPS6; (b) CPS7; (c) CPS8; (d) Two-section optical fiber detail diagram.

根据上述结论, 为了进一步提升 CPS 的热分布均匀性, 结合剥离器 4 和 5 的优点制作了剥离器 7, 如图 3(b) 所示; 该剥离器热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 10 mm, 高 10 mm; 填胶孔呈方形, 长 100 mm, 宽 4 mm, 高 5 mm. 剥离器 7 将高折胶法和酸腐蚀法结合, 其内部光纤用 HF 酸腐蚀成粗细不均匀的两段, 粗端光纤呈圆柱形, 长 50 mm, 半径为 0.156 mm; 细端光纤也呈圆柱形, 长 45 mm, 半径为 0.1 mm; 两段光纤由一段呈圆锥台形的光纤衔接, 长 5 mm, 顶面半径 0.156 mm, 底面半径 0.1 mm.

根据上述结论, 为了进一步降低 CPS 的温度峰谷值并提升其热分布均匀性, 结合剥离器 2, 3, 4, 5 的优点制作了剥离器 8, 如图 3(c) 所示; 该剥离器热沉材料为铝, 长 100 mm, 宽 20 mm, 高 20 mm; 其填胶孔形状与剥离器 6 相同, 呈圆锥台形, 长 100 mm, 顶面半径为 6 mm, 底面半径为 4 mm; 剥离方法与剥离器 7 相同, 将高折胶法和酸腐蚀法结合, 其内部光纤用 HF 酸腐蚀成粗细不均匀的两段, 粗端光纤呈圆柱形, 长 50 mm, 半径为 0.156 mm; 细端光纤也呈圆柱形, 长 45 mm, 半

径为 0.1 mm; 两段光纤由一段呈圆锥台形的光纤衔接, 长 5 mm, 顶面半径为 0.156 mm, 底面半径为 0.1 mm. 图 3(d) 是两段式光纤细节展示图.

表 3 中分别记录了剥离器 6, 7 和 8 剥离 150 W 包层功率时的整体热性能数据. 由表 3 可以看出, 剥离器 6 温度峰值为 309 K, 温度谷值为 293 K, 温差为 16 K; 剥离器 7 温度峰值为 320 K, 温度谷值为 315 K, 温差为 5 K; 剥离器 8 温度峰值为 298 K, 温度谷值为 293 K, 温差为 5 K.

表 3  $P_0 = 150$  W 时剥离器 6, 7, 8 的整体热性能数据

Table 3. Overall thermal performance data of CPS 6, 7 and 8 when  $P_0 = 150$  W.

序号	温度峰值	温度谷值	温差
剥离器6	309 K	293 K	16 K
剥离器7	320 K	315 K	5 K
剥离器8	298 K	293 K	5 K

首先对比表 3 中剥离器 6 与表 1 中剥离器 2 和 3, 可以看出剥离器 6 的温度峰值相比于剥离器 2 下降了 4 K, 比剥离器 3 下降了 7 K; 剥离器 6 的温度谷值相比于剥离器 2 下降了 6 K, 比剥离器 3 下降了 2 K. 这证明了改变填胶孔的形状可以降低剥离器的温度峰谷值. 其次, 对比表 3 中剥离器 7 与表 1 中剥离器 4 和 5, 可以看出剥离器 7 的温差为 5 K, 相比于剥离器 4 下降了 35 K, 与剥离器 5 相同. 这证明了将高折胶法和酸腐蚀法结合, 把光纤分段腐蚀成不均匀的两段可以提升剥离器的热分布均匀性. 最后, 对比表 3 中的剥离器 6, 7 和 8, 发现剥离器 8 的温度峰值相比于剥离器 6 和 7 分别下降了 11 K 和 22 K, 其温度谷值与剥离器 6 相同, 相比于剥离器 7 下降了 22 K; 其温差与剥离器 7 相同都是 5 K, 相比于剥离器 6 下降了 11 K, 性能最优. 从而间接证明了上述分析的正确性.

## 4 结论

本文对国内外五种 CPS 的热效应进行研究和对比, 发现剥离器 2 的温度峰值最低, 剥离器 3 的温度谷值最低, 剥离器 4 的切片热分布最均匀, 剥离器 5 的温差最小. 原因在于改变填胶孔的形状可以增大热源与传热介质间的表面积-体积比, 从而降低剥离器的温度峰谷值; 将高折胶法与酸腐蚀法

结合, 把光纤分段腐蚀成不均匀的两段, 可以使包层光无规则散射在光纤轴向, 从而使得包层功率均匀剥离以提升整体热分布均匀性. 为此本文结合上述分析, 提出了一种新颖的剥离器 8. 研究表明: 在剥离 150 W 包层功率时, 其温度峰值为 298 K, 温度谷值为 293 K, 温差为 5 K; 相比于引文中的五种 CPS, 其温度峰值分别降低了 4.8%—11.3%, 温度谷值分别降低了 0.7%—8.4%, 温差分别降低了 0—87.5%. 这证明了其能有效抑制温升及具有热分布均匀性.

## 参考文献

- [1] Nilsson J, Payne D N 2011 *Science* **332** 921
- [2] Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A 2010 *J. Opt. Soc. Am. B* **27** B63
- [3] Zhang Z Q 2012 *Ph. D. Dissertation* (Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications) (in Chinese) [张志强 2012 博士学位论文 (北京: 北京邮电大学)]
- [4] Zhao S, Duan Y F, Wang Q, Zhang X J, Deng M F 2015 *Laser & Infrared* **45** 749 (in Chinese) [赵水, 段云锋, 王强, 张秀娟, 邓明发 2015 激光与红外 **45** 749]
- [5] Guo L, Chen H W, Wang Z F, Hou J, Chen J B 2014 *Laser & Optoelectronics Progress* **51** 020602 (in Chinese) [郭良, 谌鸿伟, 王泽锋, 侯静, 陈金宝 2014 激光与光电子学进展 **51** 020602]
- [6] Huang Z H, Liang X B, Li C Y, Lin H H, Li Q, Wang J J, Jing F 2016 *Appl. Optics* **55** 297
- [7] Xiao Y, Brunet F, Kanskar M, Wetter A, Holehouse N 2012 *Opt. Express* **20** 3296
- [8] Gong K 2019 *M. S. Dissertation* (Guangzhou: Guangdong University of Technology) (in Chinese) [龚凯 2019 硕士学位论文 (广州: 广东工业大学)]
- [9] Qiu Y L 2016 *M. S. Dissertation* (Wuhan: Huazhong University of Science and Technology) (in Chinese) [邱禹力 2016 硕士学位论文 (武汉: 华中科技大学)]
- [10] Li J X, Li B, Zhu G Z, Yue J B, Wang Z Y 2017 *Laser Technology* **41** 798 (in Chinese) [李杰雄, 李波, 朱广志, 岳建堡, 王智用 2017 激光技术 **41** 798]
- [11] Wetter A, Faucher M, Sevigny B 2008 *Proc. SPIE* **6873** 687327
- [12] Kliner A, Hou K C, Plötner M, Hupel C, Stelzner T, Schreiber T, Eberhardt R, Tünnermann A 2013 *Proc. SPIE* **8616** 86160N
- [13] Babazadeh A, Nasirabad R R, Norouzey A, Hejaz K, Poozesh R, Heidariazar A, Golshan A H, Roohforouz A, Jafari S N T, Lafouti M 2014 *Appl. Optics* **53** 2611
- [14] Sun J, Zou S Z, Chen H, Yu H J, Wang X B, Lin X C 2017 *Laser & Optoelectronics Progress* **54** 110001 (in Chinese) [孙静, 邹淑珍, 陈寒, 于海娟, 王旭葆, 林学春 2017 激光与光电子学进展 **54** 110001]
- [15] Gong K, Hao M M, Li J B 2017 *Chin. Sci. Bull.* **62** 3768 (in Chinese) [龚凯, 郝明明, 李京波 2017 科学通报 **62** 3768]
- [16] Wang W L, Leng J Y, Cao J Q, Guo S F, Xu X J, Jiang Z F 2013 *Opt. Commun.* **287** 187
- [17] Zhang Y L, Zhao L, Liang X B, Li C, Zhou T D, Wang S W, Deng Y, Wei X F 2015 *Proc. SPIE* **9255** 92550N

- [18] Poozesh R, Norouzy A, Golshan A H, Roothforouz A, Babazadeh A, Nasirabad R R, Jafari N T, Heidariazar A, Hejaz K, Alavian A, Amidian A 2012 *J. Lightwave Technol.* **30** 3199
- [19] Yin L, Yan M J, Han Z G, Wang H L, Shen H, Zhu R H 2017 *Opt. Express* **25** 8760
- [20] Hu Z T, Chen X L, He B, Zhou J, Zhang J H 2016 *Chin. J. Lasers* **43** 0701004 (in Chinese) [胡志涛, 陈晓龙, 何兵, 周军, 张建华 2016 中国激光 **43** 0701004]
- [21] Zhang G Q 2016 *Ph. D. Dissertation* (Guangzhou: South China University of Technology) (in Chinese) [张国庆 2016 博士学位论文 (广州: 华南理工大学)]

## Optimization of thermal performance of cladding power stripper in fiber laser\*

Xia Qing-Gan<sup>2)3)</sup> Xiao Wen-Bo<sup>1)2)3)†</sup> Li Jun-Hua<sup>1)</sup> Jin Xin<sup>2)3)</sup>  
Ye Guo-Ming<sup>2)3)</sup> Wu Hua-Ming<sup>2)3)</sup> Ma Guo-Hong<sup>4)</sup>

1) (*Key Laboratory of Image Processing & Pattern Recognition in Jiangxi Province, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China*)

2) (*Key Laboratory of Nondestructive Testing (Ministry of Education), Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China*)

3) (*Jiangxi Engineering Laboratory for Optoelectronics Testing Technology, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China*)

4) (*College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China*)

(Received 16 July 2019; revised manuscript received 17 September 2019)

### Abstract

In the process of eliminating the residual pump light and high-order laser light, the cladding power stripper (CPS) generates abundant heat, which can affect the performance of the fiber laser system due to the photothermal conversion. Hence the efficient dissipation of thermal energy becomes a current research focus. In this paper, the five kinds of existing CPSs are simulated and compared with the results in the literature. It is found that the surface-volume ratio between the heat source and the heat transfer medium can be effectively increased by changing the shape of the polymer filling hole when the CPS is made by the high refractive index polymer method, thus reducing the temperature peak and valley value of the CPS. Besides, the heat distribution uniformity of CPS can be improved by combining the high refractive index polymer method with the acid corrosion method to prepare the two-section fiber cladding structure with uneven thickness. According to the above results, a novel CPS structure is proposed and its thermal effect is studied. The results show that when the cladding light power is 150 W, the temperature peak value of the CPS is 298 K, the temperature valley value is 293 K, and the temperature difference is 5 K. Comparing with the above five CPSs, the peak temperature is reduced by up to 11.3%, and the valley temperature is reduced by up to 8.4%, the temperature difference is reduced by up to 87.5%, which proves that the novel CPS structure can effectively suppress the temperature rising and have excellent heat distribution uniformity.

**Keywords:** fiber laser, cladding power stripper, high refractive index polymer method, acid corrosion method, thermal effect

**PACS:** 42.55.Wd, 68.60.Dv

**DOI:** 10.7498/aps.69.20191093

\* Project supported by Aeronautical Science Foundation of China (Grant No. 2017ZC56003), the Key Laboratory of Image Processing and Pattern Recognition Foundation of the Jiangxi Province of China (Grant No. ET201908119), Advantage Science and Technology Innovation Team Foundation of the Jiangxi Province of China (Grant No. 20181BCB24008), Graduate Innovation Foundation of JiangXi Province of China (Grant No. YC2019-S348), and the Open Fund of the Key Laboratory of Nondestructive Testing of Ministry of Education of Nanchang HangKong University of China (Grant No. EW201980090).

† Corresponding author. E-mail: [xiaowenbo1570@163.com](mailto:xiaowenbo1570@163.com)