

工艺·设备

电线包覆机头优化设计

焦冬梅^{1,2}, 李冬燕¹, 张涛², 秦健¹, 田仲可¹

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 青岛汉缆股份有限公司, 山东 青岛 266061)

摘要:利用ANSYS软件对电线包覆胶料流场进行分析,研究包覆机头流道结构参数和工艺参数对电线包覆质量的影响,并依据模拟结果对电线包覆机头进行优化设计。结果表明,当电线包覆机头成型段长度为28 mm、模芯外锥角为39°、模套内锥角为45°、芯线牵引速度为0.16 m·s⁻¹时,胶料挤出均匀,电线包覆质量好。

关键词:电线;包覆机头;流道结构参数;工艺参数;优化设计;有限元分析

中图分类号:TQ330.4⁺6;O241.82

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2021)02-0128-06

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2021.02.0128



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

包覆工艺广泛应用于电线电缆的成型中^[1-3],由于芯线牵引带动胶料包覆工艺特殊和包覆机头流道结构复杂,电线包覆层质量的影响因素较多。随着社会经济的发展,电力和通讯行业不断扩展,对电线的耐高压、耐腐蚀和防火等要求越来越高。作为电线的组成材料,包覆胶料的加工稳定性和均匀性较难控制,电线包覆层的加工质量成为影响财产安全和人身安全的重要因素^[4]。如何提高电线包覆层的加工质量一直是国内外研究的热点问题。

电线包覆机头成型段胶料出口速度分布不均匀,会造成包覆层厚度不均和包覆层与芯线不同心等各种质量问题^[5-6]。胶料压力高有利于包覆层致密性提高,但胶料压力过高将导致成品电线包覆层内应力较高和模具使用寿命缩短。芯线牵引速度增大有利于生产效率的提高,但是芯线牵引速度与胶料入口流量不匹配会影响包覆层的质量。

本工作通过ANSYS软件对电线包覆胶料流场进行有限元分析,研究包覆机头流道结构参数和工艺参数对电线包覆质量的影响规律,并对电线

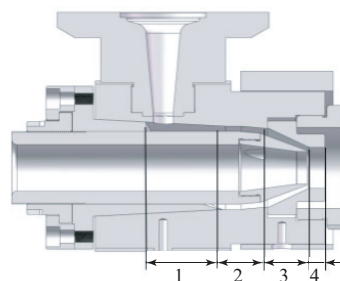
包覆机头进行优化设计,以提高电线包覆质量、生产效率和延长模具的使用寿命。

1 有限元分析

1.1 流场模型建立

胶料选用丁基橡胶胶料,其参数如下:胶料密度(ρ) 0.920 Mg·m⁻³,无限剪切粘度 0.922 8 Pa·s,零剪切粘度 179 228 Pa·s,松弛时间 5 s,幂律指数 0.325。

包覆机头流道的几何模型如图1所示。胶料先后通过包覆机头的歧管段、扩展段、压缩段和成



1—歧管段;2—扩展段;3—压缩段;4—成型段。

图1 包覆机头流道的几何模型

Fig. 1 Geometric model of cladding head flow channel

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019GGX102018)

作者简介:焦冬梅(1978—),女,山东烟台人,青岛科技大学副教授,博士,主要从事高分子材料加工理论及机械设计方面的研究工作。

E-mail:jiaodongmei@gmail.com

引用本文:焦冬梅,李冬燕,张涛,等.电线包覆机头优化设计[J].橡胶工业,2021,68(2):128-133.

Citation:JIAO Dongmei,LI Dongyan,ZHANG Tao,et al.Optimization Design of Wire Cladding Head[J].China Rubber Industry,2021,68(2):

型段^[7-9]包覆到移动芯线上,其中芯线牵引速度为 $0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,芯线直径为32 mm,包覆层厚度为4 mm。胶料包覆流场模型如图2所示。

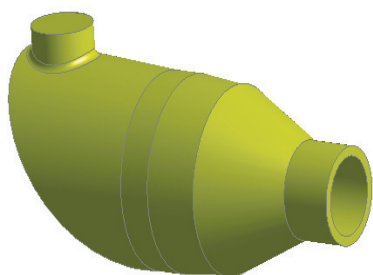


图2 胶料包覆流场模型

Fig. 2 Cladding flow field model of compound

1.2 网格及边界设置

以胶料出口速度分布来评价胶料的均匀性,因压缩段截面剧烈变化,导致胶料出口速度和流量变化较大,为保证计算结果准确,对压缩段及成型段采用加密的四面体网格。充分考虑芯线牵引作用,将流体内壁面划分为芯线接触移动壁面和模芯座接触固定壁面两部分,采用流量入口^[10]和压力出口边界条件。

1.3 流动分析

成型段长度为24 mm时,胶料流场压力分布云图如图3所示,速度流线图如图4所示,出口速度分布云图如图5所示。

从图3可以看出,流场入口处胶料压力最大为16.63 MPa,胶料压力沿流动方向逐渐减小。从图4可以看出,胶料从机头入口经过扩展段、压缩段后流出,胶料流动速度逐渐提高,但在歧管段流动速度较高。从图5可以看出:胶料出口速度沿圆周方向有差异,出口上方胶料流动速度高于下方;胶料出口速度沿径向也有差异,近芯线位置的胶料

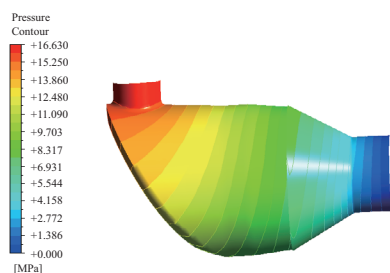


图3 胶料流场压力分布云图

Fig. 3 Flow field pressure distribution nephogram of compound

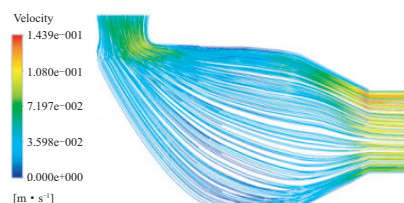


图4 胶料速度流线图

Fig. 4 Velocity streamline diagram of compound

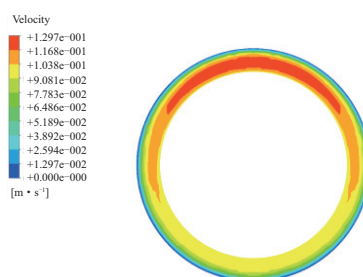


图5 胶料出口速度分布云图

Fig. 5 Exit velocity distribution nephogram of compound

流动速度高于远芯线位置的胶料。这些现象都导致了出口处电线覆胶不均匀,影响电线包覆质量,其原因与胶料入口的布局及流道的内部结构有关。由于歧管段的存在,胶料依据分流器发生分流,胶料入口侧不同位置流场压力损失出现差异,导致流动过程中压力和速度分布不同,从而引起出口处胶料流动不均匀。

2 胶料挤出均匀性的影响因素及包覆机头优化设计

覆胶芯线周围具备均匀的流动熔体,即圆周各流径上有均匀的流速、压力和流量,才能保证电线高质量的稳定包覆。本工作采用包覆机头胶料出口特征点速度标准差来评价电线覆胶均匀性(速度标准差越小,胶料出口速度越均匀),并结合胶料压力(表征机头寿命和覆胶致密性)来综合评价结构参数和工艺参数的合理性。

2.1 成型段长度

对不同成型段长度(22, 24, 26, 28 mm)进行分析,得到胶料流场压力和出口速度,分别如图6和7所示(成型段长度为24 mm时分别如图3和图5所示),不同成型段长度下胶料流场最大压力如图8所示。

从图3, 5, 6, 7, 8可以看出,不同成型段长度对



(a) 成型段长度为22 mm



(b) 成型段长度为26 mm



(c) 成型段长度为28 mm

图6 不同成型段长度下胶料流场压力分布云图

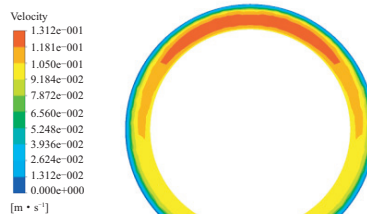
Fig. 6 Flow field pressure distribution nephogram of compound at different forming section lengths

胶料流场压力分布影响不大,但随着成型段长度的增大,胶料流场最大压力增大。

不同成型段长度下胶料出口特征点速度标准差如图9所示。从图9可以看出,随着成型段长度的增大,胶料出口特征点速度标准差呈减小趋势,且变化幅度明显,说明电线覆胶均匀性随成型段长度的增大而向好。综合胶料流场压力和速度均匀性,成型段长度取28 mm时较佳,与成型段长度为20 mm时相比,其胶料挤出均匀性提升了27.4%,最大压力增大幅度仅为5.4%。

2.2 压缩角

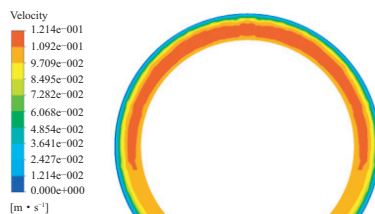
在压缩比(机头最大进料横截面积与口模和芯线的环隙横截面积之比,反映的是胶料熔体的压实程度)不变的情况下,模拟得到不同压缩角下胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差关系曲线,如图10所示。从图10可以看出,胶料流场最大压力随着压缩角的增大呈增大趋势,但变化幅值不大,压缩角为43°时胶料挤出均匀性较好。



(a) 成型段长度为22 mm



(b) 成型段长度为26 mm



(c) 成型段长度为28 mm

图7 不同成型段长度下胶料出口速度分布云图

Fig. 7 Exit velocity distribution nephogram of compound at different forming section lengths

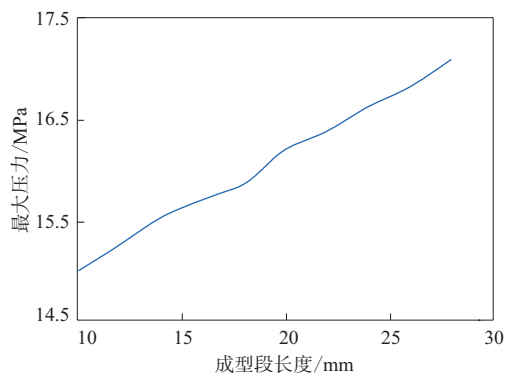


图8 不同成型段长度下胶料流场最大压力

Fig. 8 Flow field maximum pressure of compound at different forming section lengths

2.3 模芯外锥角(α)和模套内锥角(β)

根据压缩角模拟结果可知,虽然压缩角为43°

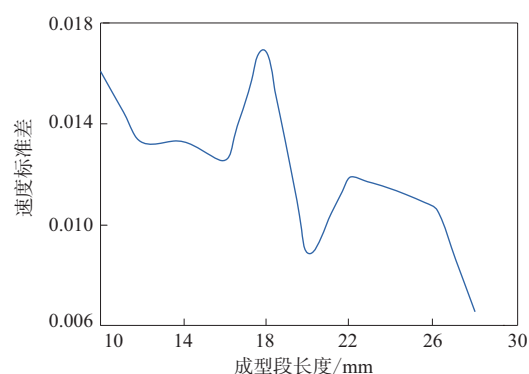


图9 不同成型段长度下胶料出口特征点速度标准差
Fig. 9 Exit characteristic point velocity standard deviation of compound at different forming section lengths

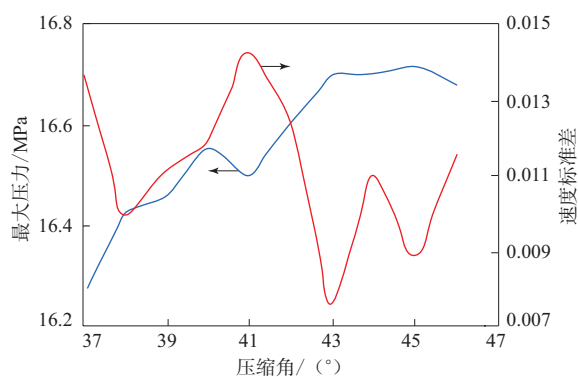


图10 不同压缩角下胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差
Fig. 10 Flow field maximum pressure and exit characteristic point velocity standard deviation of compound at different compression angles

时胶料挤出均匀性较好,但前提是需要保持压缩比不变。实际生产中因流道结构的关系可能引起压缩段长度及 β 的变化^[11],保持压缩比不变困难,所以直接研究影响压缩效果的结构参数 α 和 β (见图11)更有工程意义。

不同 α 下胶料出口速度分布云图见图12,胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差见图13。

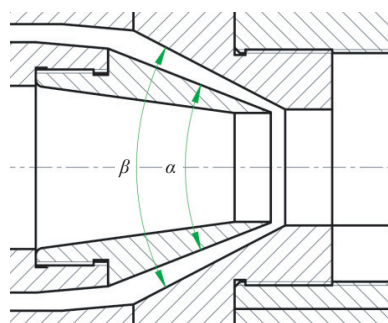


图11 α 和 β 示意
Fig. 11 Indication of α and β

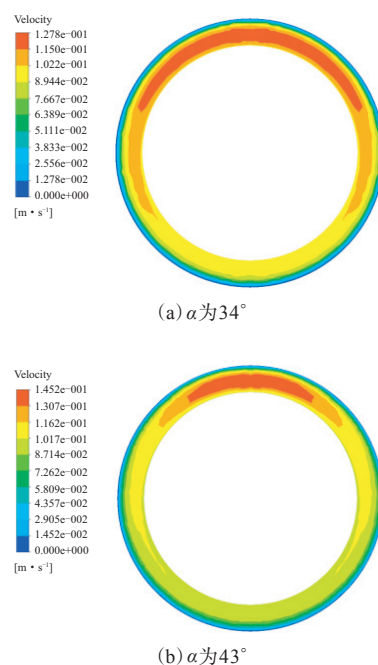


图12 不同 α 下胶料出口速度分布云图
Fig. 12 Exit velocity distribution nephogram of compound at different α

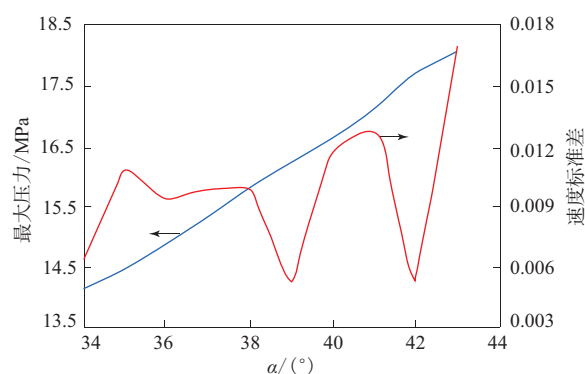


图13 不同 α 下胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差
Fig. 13 Flow field maximum pressure and exit characteristic point velocity standard deviation of compound at different α

从图12和13可以看出,随着 α 的增大,胶料最大出口速度提高,流场最大压力呈线性增大。从图13还可以看出,胶料挤出均匀性随 α 增大发生波动,在 α 为43°时胶料出口特征点速度标准差出现突变,原因为过大的 α 导致的流道过渡突出,造成流道不光滑,从而引起流动阻力增大,使流动调整效果减弱,且成品电线覆胶层可能产生内应力,故设计 α 时,应避免过大, α 控制在43°以内为佳。

不同 β 下胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差如图14所示。从图14可以看出,随着 β 的增大,胶料流场最大压力呈减小和挤出均匀性呈

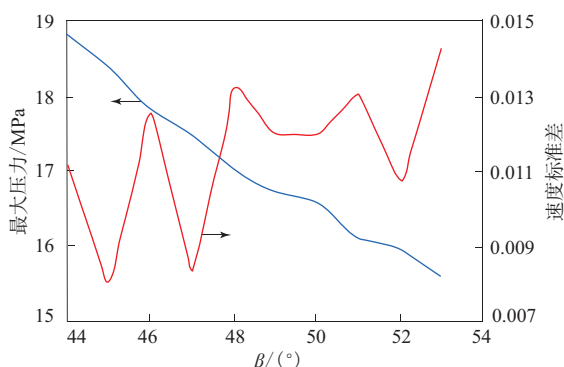


图14 不同 β 下胶料流场最大压力和出口特征点速度标准差
Fig. 14 Flow field maximum pressure and exit characteristic point velocity standard deviation of compound at different β

下降趋势。胶料流场最大压力减小不利于其致密包覆、均匀挤出,故 β 应控制在 48° 以内。

2.4 芯线牵引速度

不同芯线牵引速度下胶料流场最大压力见图15。从图15可以看出,胶料流场最大压力随着芯线牵引速度的增大而增大,芯线牵引速度从 $0.08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,胶料流场最大压力增大25.3%。

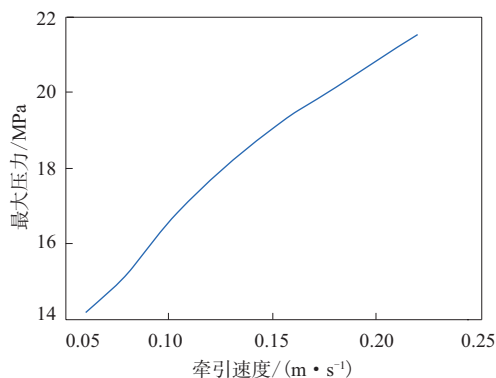


图15 不同芯线牵引速度下胶料流场最大压力
Fig. 15 Flow field maximum pressure of compound at different traction speeds of core line

胶料入口流量(Q)公式如下

$$Q = 15\pi\rho\nu(d_2^2 - d_1^2) \quad (1)$$

式中, ν 为芯线牵引速度, d_2 和 d_1 分别为包覆层外径和内径。

胶料在包覆机头内流动满足如下公式

$$Q = Kp/\mu \quad (2)$$

式中, K 为流道形状系数, p 为流道压力, μ 为胶料粘度。

由式(1)可知芯线牵引速度与胶料入口流量成正比,胶料入口流量随芯线牵引速度的增大而增大。结合式(2),在机头结构和胶料粘度不发生变化的情况下,机头压力与胶料入口流量成正比。因此,胶料流场最大压力随着芯线牵引速度的增大而增大。模拟预测的胶料流场压力趋势与理论分析一致。

不同芯线牵引速度下胶料出口速度分布云图如图16所示。从图16可以看出:芯线牵引速度为 0.08 和 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,胶料出口速度分布相对更均匀,胶料挤出均匀性相对较好;结合机头寿命及生产效率,芯线牵引速度取 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在实际生产中,需要确定合理的螺杆转速以提供与芯线牵引速度相匹配的胶料流量,保证胶料挤出均匀性及芯线覆胶厚度。

3 结论

(1) 增大成型段长度有利于提高芯线覆胶均匀性,但机头压力也会增大,导致机头磨损和寿命缩短,需综合考虑确定适合的成型段长度。

(2) α 变化与成型段长度变化一样对机头压力影响显著,考虑到减小成品电线覆胶层内应力及流道光滑过渡, α 宜控制在 43° 以内。

(3) 增大 β 会导致胶料流场最大压力减小和挤出均匀性下降的现象,而胶料流场最大压力下降不利于其致密包覆和均匀挤出, β 应控制在 48° 以内。

(4) 胶料流场最大压力随着芯线牵引速度的增大而增大,在实际生产中,需要综合考虑机头寿命及生产效率以确定芯线牵引速度,同时确定合理的螺杆转速,从而提供与芯线牵引速度相匹配的胶料流量,保证胶料挤出均匀性及芯线覆胶厚度。

(5) 本研究模型的成型段长度为 28 mm 、 α 为 39° 、 β 为 45° 、芯线牵引速度为 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,胶料挤出均匀,电线包覆质量好。

参考文献:

- [1] 陆万祥,王静. 聚合物共挤专利技术综述[J]. 河南科技,2017(11): 144-145.
- [2] 龙景阳. 新时期电线电缆制造工艺研究[J]. 机电信息,2020(2): 86-87.
- [3] 张金成. 电线电缆制造的新工艺分析[J]. 集成电路应用,2019,36

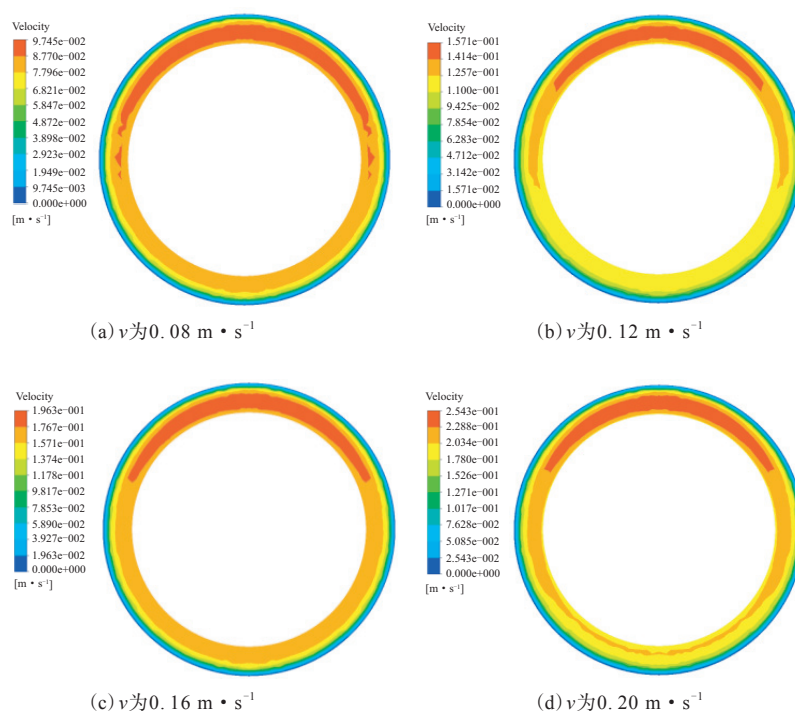


图16 不同芯线牵引速度下胶料出口速度分布云图

Fig. 16 Exit velocity distribution nephogram of compound at different traction speeds of core line

- (3): 82–83.
- [4] Ponalagusamy R. Design and Development of Streamlined Extrusion Dies a Bezier Curve Approach[J]. Materials Processing Technology, 2005, 161 (3): 375–380.
- [5] 胡海明, 李新荣, 王芹, 等. 弓形座热力耦合有限元分析[J]. 橡胶工业, 2019, 66 (12): 936–938.
- [6] 陈鹏元. 全包覆共挤出成型塑料异型材门窗模具优化设计[J]. 工程塑料应用, 2016, 44 (7): 94–97.
- [7] 王洪武. 双层复合电缆覆层挤出机头的设计[J]. 上海塑料, 2014 (3): 33–35.
- [8] 郝春燕. 橡胶包覆机头的流道构型和流场分析[D]. 北京: 北京化工大学, 2008.
- [9] 郝春燕, 董传涛, 张振扬. 机头流道构型对橡胶包覆挤出质量的影响[J]. 橡塑技术与装备, 2008, 34 (9): 1–6.
- [10] 吕晓东, 钟佩思, 吝伟伟, 等. 基于ANSYS Polyflow的胶管挤出模头设计[J]. 橡胶工业, 2015, 62 (12): 756–759.
- [11] 任珊珊, 葛正浩. 基于CAE的木塑包覆口模设计及共挤模拟[J]. 塑料工业, 2018, 46 (10): 67–70.

收稿日期: 2020-08-30

Optimization Design of Wire Cladding Head

JIAO Dongmei^{1,2}, LI Dongyan¹, ZHANG Tao², QIN Jian¹, TIAN Zhongke¹

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Qingdao Hancable Co., Ltd, Qingdao 266061, China)

Abstract: The flow field of the wire cladding compound was analyzed by ANSYS software, and the influence of flow channel structure parameters and process parameters of cladding head on the wire cladding quality was studied. The optimized design of the wire cladding head was carried out according to the simulation results. The results showed that when the forming section length of the wire cladding head was 28 mm, the external cone angle of die core was 39°, the internal cone angle of die sleeve was 45°, and the traction speed of core line was 0.16 m · s⁻¹, the extrusion of the compound was uniform, and the wire cladding quality was good.

Key words: wire; cladding head; flow channel structure parameter; process parameter; optimized design; finite element analysis