

对顶式内衬层生产线挤出机机头流道优化分析

李慧敏, 向源芳

(天津赛象科技股份有限公司, 天津 300384)

摘要:采用Ansys-polyflow软件对对顶式内衬层生产线挤出机机头流道流场进行优化分析。机头流道结构直接影响挤出口断面宽度方向胶料流速、温度、压力和剪切应力分布的均匀性。减小机头流道中部区域的阻尼, 可有效解决半成品中间壁厚偏小和两边壁厚偏大的问题; 增大机头流道分散角有助于优化胶料流动, 有效减小出口断面宽度方向不同部位胶料流速、压力、温度和剪切应力差值。优化设计挤出机机头流道呈鱼尾状, 流经流道的胶料呈压缩式层流流动, 基本实现了出口断面宽度方向胶料流速、压力、温度和剪切应力分布均匀。

关键词:内衬层; 挤出机; 机头流道; 流场; 流速; 压力; 温度; 剪切应力; Ansys-polyflow软件

中图分类号: TQ330.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-5448(2018)0?-?-05

胶料在挤出机中挤出时, 在机头流道内停留时间非常短, 要保证胶料在流道横断面各处分布均匀和流速一致, 流道结构及阻尼块的设计尤为关键^[1]。为此, 借助先进的技术对机头流道内胶料的流动情况进行模拟仿真, 得到流道内胶料流动的准确参数十分重要^[2]。我公司设计和制造的对顶内衬层挤出压延生产线主要用于轮胎内衬层生产。该生产线由两台挤出机相向工作, 一台挤出机挤出气密层, 另一台挤出机挤出过渡层, 然后气密层与过渡层复合而形成内衬层。该生产线也可由一台挤出机工作, 生产气密层、过渡层或其他薄片。该生产线的关键部件挤出机机头流道结构不仅决定其生产效率和制造精度, 还影响其成本、使用寿命和工艺性能。

理想的挤出机机头流道结构表现出挤出口断面宽度方向胶料熔体(以下简称胶料)流速、温度、压力和剪切应力均匀的特性, 从而良好保证挤出半成品质量。而长期以来挤出机机头流道多凭经验或半经验设计, 往往需要花费较多的费用和较长的时间进行试验和结构修改, 甚至在调试现场仍需要花费大量时间进行结构调整。因此, 挤出机机头流道的自动化模拟设计成为当前的热点课题。

本工作利用Ansys-polyflow软件对对顶式内衬层生产线挤出机机头流道流场进行优化分析。

作者简介:李慧敏(1985—), 女, 内蒙古固阳人, 天津赛象科技股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事橡胶机械产品研究与设计工作。

1 模型

对顶式内衬层生产线挤出机机头及其挤出半成品的三维结构如图1所示。

1.1 物理与数学模型

挤出机机头流道截面如图2所示, 其中A和B分别为进口和出口端面, 胶料在机头流道内由A面

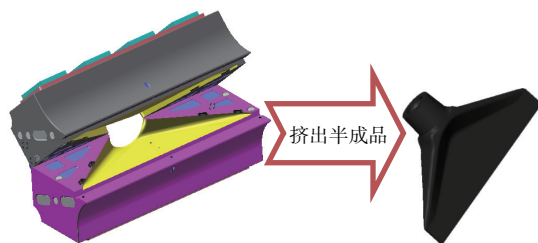


图1 挤出机机头及带口型挤出半成品三维结构

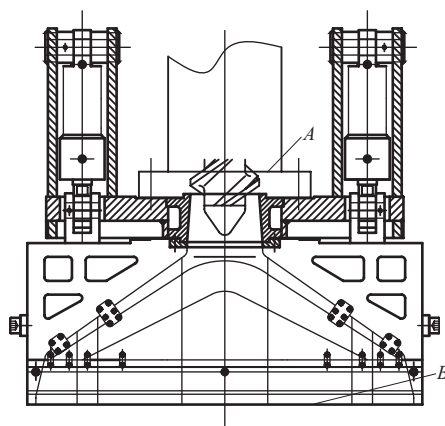


图2 挤出机机头流道截面示意

流向B面。机头口型厚度为20 mm,宽度为1 050 mm。胶料从A面进入后流经阻尼块,从B面挤出。中间阻尼块具有阻止中心胶料流速过快、分散胶料以及使胶料在出口宽度方向分布均匀的作用。带口型挤出的1/4半成品模型如图3所示。

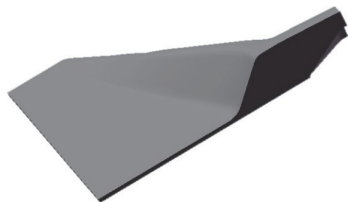


图3 带口型挤出的1/4半成品模型

本研究胶料的流变特性采用幂律模型模拟。假设流道内胶料恒温,且不可压缩,胶料的流动为层流流动^[4]。胶料挤出工艺主要参数为:挤出量 $2.2 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,密度 $1.15 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,传热系数 $0.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,比热容 $1700 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

采用Cross-law剪切速率模型和Approximate Arrhenius Law温度粘度模型计算剪切速率($\dot{\nu}$):

$$\nu = \nu(\dot{\gamma}, T) = f(\dot{\gamma})h(T) \quad (1)$$

$$f(\dot{\gamma}) = \frac{\mu_0}{1 + (t_n \dot{\gamma})^m} \quad (2)$$

$$h(T) = e^{-\alpha(T-T_0)} \quad (3)$$

式中, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率(s^{-1}), T 为挤出半成品温度(K), μ_0 为零剪切粘度($59\,572 \text{ Pa} \cdot \text{s}$), t_n 为松弛时间(6.34 s), m 为非牛顿指数(0.3), α 为热力学活化能因子($0.002\,5 \text{ K}^{-1}$), T_0 为对流传热工作温度(353.15 K)。

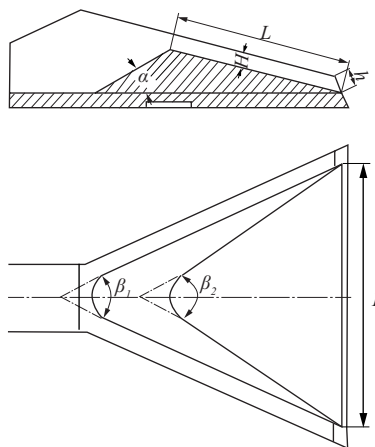
1.2 边界条件

根据壁面无滑移原理,假设所有与机头壁面接触的胶料流速为零,同时与螺杆头部接触的胶料流速亦为零,即除进口面A和出口面B以外,其余所有各面胶料流速设为零(边界条件),挤出机机头工艺条件为:进口温度 363.15 K,进口流量 $1.325 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,热通量 $Q_T = \lambda(T - T_a)$, λ 为传热系数($21.16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)。

2 挤出机机头流道优化设计要点

挤出机机头流道结构如图4所示,优化设计要点如下。

(1) 流道内胶料呈鱼尾状分布,流经流道的胶



α —阻尼块仰角; L —胶料流经区域宽度; H —半成品厚度; h —半成品高度; β_1 —分散角1; β_2 —分散角2; I —挤出半成品宽度。

图4 挤出机机头流道结构示意图

料呈压缩式层流流动。

(2) 为减小流道中部区域阻尼,在流道鱼尾两端处增大阻尼,以有助于胶料流动。

(3) 口型全宽度范围内各节点胶料分布和流速的均匀性取决于流道结构,流道设计中选择合适的阻尼块形式,确定合理的阻尼块仰角和分散角。

(4) 出口断面中间区域胶料厚度偏小的原因在于阻尼块仰角过大,致使机头压力过大,故应采用较小的仰角。

(5) 挤出出口断面宽度方向胶料两端流速较大的原因在于分散角过小,为减少胶料向流道两边流动,应增大分散角。

(6) 流道表面应有足够的加工精度和光洁度,对原阻尼块倒角做修正。

3 结果与讨论

3.1 流速场分布

原设计和优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料流速场分布分别如图5和6所示,出口断面宽度方向流速分布如表1所示。

从图5和6可以看出,当胶料流接近阻尼块区域时,由于流道中间的阻力增大,强迫胶料向两侧流动,这有利于胶料向两侧分配,使流道中间胶料流速降低。阻尼块直接影响流道出口断面胶料流速的均匀性;区域E和F均存在流速较大的区间,而区域G存在流速较小的区间。为此,根据流道设计

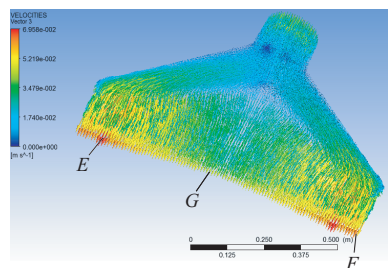


图5 原设计挤出机机头流道带口型挤出胶料流速场分布

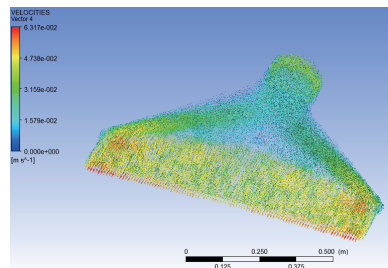


图6 优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料流速场分布

表1 挤出机机头流道带口型挤出口断面宽度方向胶料流速分布

位 置	胶料流速/(m·s ⁻¹)	
	原设计出口流道	优化设计出口流道
位置1	0.054 75	0.051 50
位置2	0.055 60	0.055 00
位置3	0.04 570	0.052 33
位置4	0.030 50	0.048 47
位置5	0.040 90	0.047 90
位置6	0.042 70	0.053 47
位置7	0.055 80	0.052 96
位置8	0.069 58	0.061 60
平均值	0.049 44	0.052 90
最大偏差	0.039 08	0.013 20
最小值	0	0
最大值	0.069 60	0.063 00

注:位置1—8按出口断面从左至右分布,平均值和最大偏差是对于位置1—8的数据,最小值和最大值是对于云图的数据。

理论,降低区域G的阻尼,即减小阻尼块仰角,从而使胶料从中间区域流动;同时为减小出口断面中间区域G与其他区域速度差,限制区域E和F胶料沿螺杆轴向流动,即增大分散角,减缓胶料向流道两边流动。

从表1可以看出,与原设计机头流道相比,优化设计机头流道带口型挤出出口断面宽度方向胶料流速平均值大幅提高,胶料流速最大值与最小值差值和最大偏差减小,胶料流速均匀性提高。

3.2 压力场分布

原设计和优化设计挤出机机头流道带口型挤

出胶料压力场分布分别如图7和8所示,出口断面宽度方向压力如表2所示。

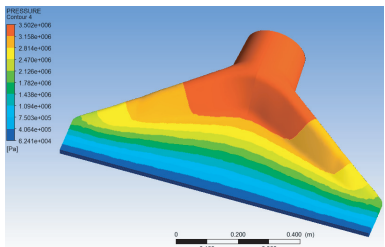


图7 原设计挤出机机头流道带口型挤出胶料压力场分布

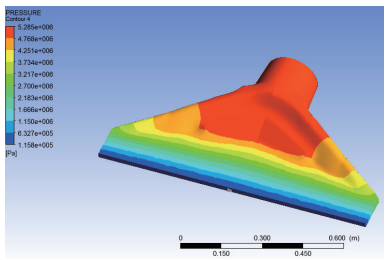


图8 优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料压力场分布

表2 挤出机机头流道带口型挤出口断面宽度方向胶料压力分布

位 置	胶料压力/Pa	
	原设计出口流道	优化设计出口流道
位置1	204 987	198 521
位置2	113 165	157 426
位置3	110 958	134 735
位置4	75 696	158 517
位置5	79 660	130 513
位置6	89 011	165 597
位置7	119 987	143 572
位置8	104 348	183 012
平均值	112 226	158 987
最大偏差	129 291	68 009
最小值	62 410	115 800
最大值	350 000	529 000

注:同表1。

从图7和8可以看出:由于螺杆的推动作用,胶料在流道入口处的压力较大,胶料的流动为压力流动;在无阻尼块区域,流道中间部位的流体阻力小,流速大;当物料流接近阻尼块区域时,由于流道中间的阻力增大,强迫物料向两侧流动,使流道中间胶料压力减小。胶料流经不同形状截面时速度不同,呈现压力梯度分布。

机头流道挤出出口断面低压区域主要集中于中间部位。从表2可以看出,与原设计机头流道相比,优化设计机头流道带口型挤出断面宽度方向

胶料压力分布更均匀,胶料压力平均值、最小值和最大值均增大,最大偏差减小,这利于提高挤出效率。

3.3 温度场分布

原设计和优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料温度场分别如图9和10所示,出口断面宽度方向温度分布如表3所示。

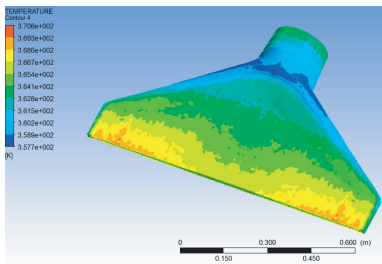


图9 原设计挤出机机头流道带口型挤出胶料温度场分布

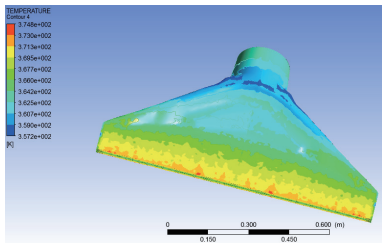


图10 优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料温度场分布

表3 挤出机机头流道带口型挤出出口断面宽度方向胶料温度分布

位 置	胶料温度/K	
	原设计出口流道	优化设计出口流道
位置1	361.100	365.100
位置2	370.372	374.110
位置3	369.763	371.870
位置4	366.293	370.943
位置5	366.525	371.063
位置6	366.844	371.770
位置7	367.865	372.372
位置8	368.625	372.600
平均值	367.170	371.230
最大偏差	9.272	9.010
最小值	357.700	357.200
最大值	370.600	374.800

注:同表1。

从图9和10及表3可以看出:原设计机头流道挤出口断面宽度方向胶料存在两端温度较高、中间较低的现象,这主要是由于流道中胶料出口鱼尾两端压力较大,流速较快导致的;优化设计机

头流道出口胶料温度有所提升(但不会导致焦烧,符合工艺要求),出口断面胶料温差变化变小,基本实现了挤出半成品温度一致的要求。

3.4 剪切应力场分布

原设计和优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料剪切应力场分别如图11和12所示,出口断面宽度方向剪切应力分布如表4所示。

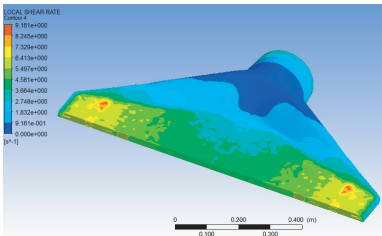


图11 原设计挤出机机头流道带口型挤出胶料剪切应力场分布

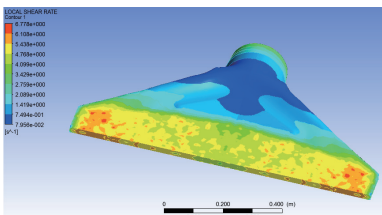


图12 优化设计挤出机机头流道带口型挤出胶料剪切应力场分布

表4 挤出机机头流道带口型挤出口断面宽度方向胶料剪切应力参数分布

位 置	胶料剪切应力/MPa	
	原设计出口流道	优化设计出口流道
位置1	2.060 00	2.816 67
位置2	5.946 00	5.044 90
位置3	4.260 00	5.106 67
位置4	3.939 28	3.821 23
位置5	4.740 00	4.473 32
位置6	4.220 00	5.118 33
位置7	5.690 00	5.574 97
位置8	6.597 30	5.638 00
出口平均值	4.681 60	4.699 30
最大偏差	4.537 300	2.821 33
最小值	0	0
最大值	9.161 00	6.778 00

注:同表1。

从图11和12及表4可以看出,原设计机头流道出口断面宽度两端胶料的切应力较大,这是因为胶料流速较大;优化设计机头流道出口胶料的剪切应力略高。

从表4可以看出,与原设计机头流道相比,优化设计机头流道挤出出口胶料的剪切应力变化较小,这有利于提高挤出半成品的厚度和温度均匀性。

4 结论

(1)挤出机头流道结构直接影响出口断面宽度方向胶料流速、温度、压力和剪切应力的均匀性,阻尼块仰角和分散角直接决定挤出流道流场分布的合理性和挤出半成品的均匀性。

(2)减小挤出机头流道中部区域的阻尼,可有效解决挤出半成品中间壁厚偏小和两边壁厚偏大的问题,但减小阻尼仰角时应考虑其与分散角的关系。

(3)增大挤出机头流道分散角有助于优化胶料流动,有效减小出口断面宽度方向不同部位胶

料流速、压力、温度和剪切应力差值。

(4)优化设计挤出机头流道呈鱼尾状,流经流道的胶料呈压缩式层流流动,基本实现了出口断面宽度方向胶料流速、压力、温度和剪切应力分布均匀。

参考文献:

- [1] 刘贵鹏,江丽娜,王晓萍. 胎面挤出机流道板设计[J]. 轮胎工业, 2005,25(7):420-421.
- [2] 夏巍,贺建芸,程源. 胎面双复合挤出机机头流道压力分布三维有限元分析[J]. 橡胶工业,2002,49(6):352-355.
- [3] 钱欣,许王定,金杨福. POLYFLOW基础及其在塑料加工中的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2010:311-318
- [4] 彦超,杨为民. 两端进料式宽幅片材挤出机头流道流场分析[J]. 橡胶工业,2009,56(1):49-53.

收稿日期:2017-03-26

Optimization Analysis of Extruder Head Channel to Top Inner-Liner Line

LI Huimin, XIANG Yuanfang

(Tianjin Saixiang Technology Co., Ltd, Tianjin 300384)

Abstract: Ansys-polyflow software was used to carry out optimization analysis on the flow field in extruder head channel to Top Inner-Liner Line. The structure of flow channel directly influenced the uniformity of the flow rate, pressure, temperature and shear stress distribution of the rubber material in the width direction of the extrusion exit section. Reducing the damping in the middle part of the head path effectively solved the problem that the middle wall thickness of the semi-finished product was too small and the both sides wall thickness of too large. Increasing the divergence angle of the head channel was helpful to optimize the flow of the rubber compound and effectively reduce the flow rate, pressure, temperature and shear stress difference in the width direction of the extrusion exit section. Optimized design extruder head channel was fish tail shape, the flow of rubber compound through the channel was laminar flow, the flow rate, pressure, temperature and shear stress distribution of the rubber material in the width direction of the extrusion exit section was uniformity.

Keywords: inner-liner; extruder head; flow channel; flow field; low rate; pressure; temperature; shear stress; ansys-polyflow software