

小截面精密异型管材挤出模拟与实验研究

邹维东 郭奕崇 吴大鸣 王景娜

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

摘要 对异型管材挤出机头流动进行了模拟,讨论了边界对流场速度分布的影响。依据流动平衡原则,根据流场速度分布探讨了部分关键尺寸的确定。针对热塑性聚氨酯材料进行了异型管材机头的设计。经实验验证,模拟与实验相结合设计口模的方法可以使小截面精密型材口模设计更加合理,缩短口模设计周期。

关键词 模拟 异型管材 口模

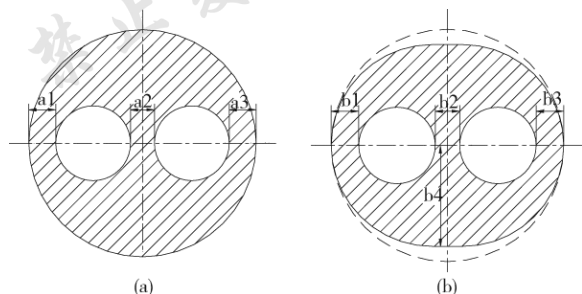
异型管材通常具有如下一个或多个特点:①具有两个或两个以上的不均匀内孔。②截面形状复杂、不对称,例如管截面外型非圆且具有多个非规则内孔。③壁厚不均匀,在特殊情况下壁厚差可达十几倍甚至几十倍。结构上的特殊性使异型管材的模具设计、挤出成型不同于一般形状管材,例如与普通环状模具挤出成型的等壁厚单孔管材相比,异型管材挤出时易出现流动截面上流速分布不均匀现象。壁厚的变化以及制品结构上的突变还会造成不同的挤出胀大和不同的残余应力等。当异型管材的截面积很小时,壁厚不均匀对异型管材挤出的影响更加明显。首先小截面精密异型管材截面积很小,但截面壁厚分布范围却很大,边界的变化可能会影响整个流场;其次截面积很小,挤出胀大在截面积中占有较大的比例,因而对异型管材径向尺寸精度影响明显。小截面精密异型管材主要用于对管材尺寸精度要求比较严格的场合,这就对小截面精密异型管材挤出口模的设计、制造以及管材挤出工艺提出了较严格的要求。目前异型管材口模设计很大程度上还是依靠经验设计和实验调整修模,所以设计过程中不能明确某些关键尺寸,也不能确定材料对关键尺寸的影响,从而使所有口模设计都要经过设计—试验—修模—试验的繁复过程,延长了生产周期。

笔者针对小截面精密异型管材的特点以及传统设计工艺的不足,在模具设计过程中采用了设计、模拟与实验相结合的方法,取得了较好的效果。

1 采用模拟方法辅助设计异型管材口模

以双孔等径医用管口模设计为例,制品截面如图 1a 所示。所设计模具必须保证制品的 a_1 、 a_2 和 a_3 三个关键尺寸一致。如果口模的尺寸与制品截面形状相同,则会因管材壁厚不均匀导致截面各区域流动不平衡,出现挤出扭曲变形等现象。根据经验,考

虑到所用材料热塑性聚氨酯(PUR-T)的弹性,设计的口模截面形状应类似于椭圆,如图 1b 实线所示。与制品关键尺寸 a_1 、 a_2 和 a_3 相对应,口模具有 b_1 、 b_2 和 b_3 三个关键尺寸,以及表征截面形状“非圆性”的尺寸 b_4 。但是传统设计不能确定这些关键尺寸,通常需要通过挤出试验来修正并加以确定。有鉴于此,笔者在模具设计期间用有限元分析软件进行模拟设计,确定了关键尺寸,减少了修模次数,缩短了开发周期。



a—制品截面; b—口模截面

图 1 双孔等径异型管材制品及口模截面

1.1 模拟分析软件简介

模拟所采用的分析软件为 Flow2000。它是 CompuPlast 公司专为塑料挤出过程研究开发的工业应用软件,共包括十二个模块。树脂数据库模块提供了国际上通用的多种材料不同加工温度下的物理性能、流变性能;粘度拟合模块以及流变工具模块则针对具体工况为客户提供充分的扩展空间,客户可以根据具体加工物料性质添加新的物料群,使模拟以及计算更具有针对性,更加接近实际工况。单螺杆挤出机模块、异型材模头模块、异型材冷却模块、螺旋模头模块、板材模头模块、多层共挤模块、冷却辊模块分别对应塑料加工中最为广泛的 7 种加工方法。其余两个模块为二维流动模块和三维流动模

块^[1]。

1.2 本构方程的选取

采用 Flow2000 软件流变工具模块拟合实验材料 PUR - T 性能。PUR - T 的流变数据由 Instron3211 毛细管流变仪测得。分别取测试温度 190、200、210℃,以便更真实地描述加工工况内聚合物的流变性质。

常用的本构模型有牛顿模型、幂律模型和 Carreau 模型。笔者采用 Carreau 模型^[2],该模型能够准确地反映较低和较高剪切速率下两个牛顿平台区以及中间的剪切变稀区域,适用于较大的剪切速率变化范围,能比较精确地描述机头内熔体的流动情况。Carreau 模型如式(1)所示:

$$\eta = \frac{A \cdot e^{-b \cdot (T - T_r)}}{[1 + (r \cdot e^{-b(T - T_r)} \cdot \dot{\gamma})^a]^{\frac{1-n}{a}}} \quad (1)$$

式中: η ——粘度, Pa · s;

e ——常数, 自然对数的底;

b ——温度敏感系数;

T ——物料的加工温度;

T_r ——材料参数拟合温度,℃;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s^{-1} ;

n ——非牛顿指数;

A 、 r 、 a ——常数。

用 Flow2000 软件拟合的 PUR - T 流变曲线如图 2 所示。图 2 中流变曲线与 Instron3211 毛细管流变仪自带软件输出的流变曲线基本吻合。

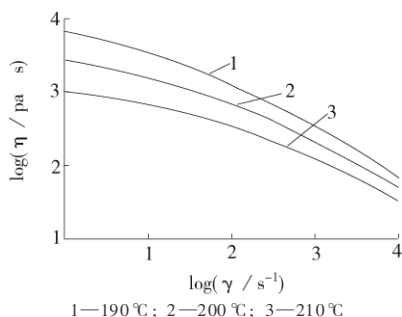
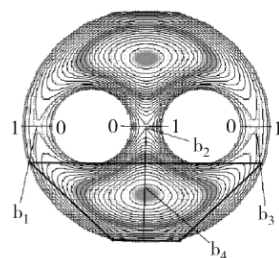


图 2 PUR - T 的流变曲线

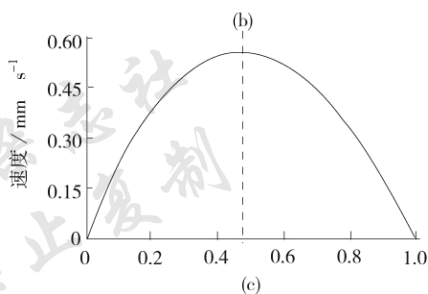
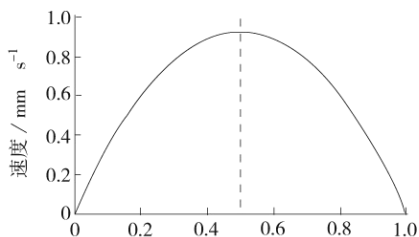
1.3 关键尺寸 b_1 、 b_2 、 b_3 及 b_4 的确定

采用图 1b 口模截面形状,并设定 b_1 、 b_2 、 b_3 相等,不考虑温度对流动的影响,模拟流场结果如图 3 所示。

由图 3a 速度流场分布可看出,在 b_1 、 b_2 、 b_3 相等的情况下, b_2 处的速度分布与 b_1 、 b_3 处有所不同, (b_1 、 b_3 处相同),具体速度值分布如图 3b、3c 所示。图 3b、3c 中虚线所示位置分别为 b_2 、 b_3 处的速度最



(a)



(c)

a—流场速度分布; b— b_2 处速度分布;

c— b_3 处速度分布

图 3 口模截面流场模拟

大值,两者差距明显。 b_2 处结构对称,其速度呈对称分布,而 b_1 、 b_3 处则由于受不对称边界影响,靠近外壁面的速度梯度比较小,速度分布也不对称。通过分析图 3 模拟结果,可得出如下结论:

(1) 边界对流场分布的影响 由于管材壁厚差异明显,边界的变化会影响薄壁处乃至整个流场速度分布。

(2) 挤出胀大的影响 在截面不同部位,物料具有不同的速度分布。物料由口模挤出时,同一截面不同部位的体积膨胀率不同,所以型材挤出后会有不同程度的扭曲变形。

同一截面上不同区域速度相近(即体积流量相近)是口模设计的原则,即流动平衡原则^[3]。笔者在设计中采用该原则,将图 3a 所示流量较大区域较其它区域多出的流量补充为图 1b 口模截面形状所示虚线和实线所包含的区域,对所设计的口模尺寸进行调整。调整 b_1 、 b_2 、 b_3 的值使 b_1 、 b_2 、 b_3 处的流量相等。 b_4 的值取决于内部双孔管的公切线与 b_4 所指的直边所围成的梯形面积内的流量(见图 3a)。改

变 b_4 的大小, 计算梯形面积内部的流量, 尽量使流量与面积(制品截面面积的 $1/2$) 的比值与 b_1 、 b_3 两个尺寸所处位置的平均流速相等。由上述过程可以明确确定 b_1 、 b_2 、 b_3 和 b_4 的值。

对于同种材料类似截面的口模, 确定 b_1 、 b_2 和 b_3 之间的关系对口模设计具有一定的参考作用。

对图 1a 所示外径 3 mm, 内孔径 1 mm 的双孔等径 PUR-T 管按照上述模拟分析方法确定的 b_1 、 b_2 、 b_3 和 b_4 值分别为 0.9、0.8、0.9、3.3 mm(挤出后进行拉伸, 拉伸比 2.5)。

事实上, 异型管材口模模拟设计确定关键尺寸的同时, 可以根据速度和截面壁厚推导系列关系, 为其它类似截面制品的口模设计提供参考。

2 异径双孔圆口模的设计

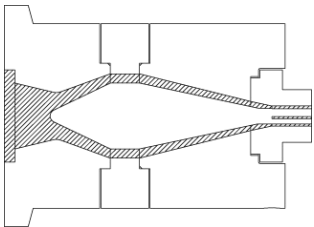
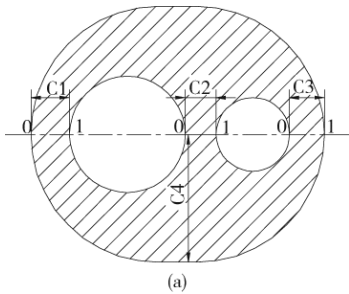
2.1 模拟关键尺寸间的关系

在机头温度 200℃, 产量 3.5 kg/h, 加工物料为 PUR-T 的条件下, 初步设计的异径双孔圆口模及流道如图 4 所示。

分析流道截面, 截取 9 个关键部位截面作为模拟的截面条件, 从口模出口截面到机头多孔板分别编号为 1~9, 如图 5 所示。截面 1、2 间为口模平直段, 是产品成型的关键部位。若此段过短, 流体不能稳定流动, 易导致产品不能稳定成型或是带有缺陷。若平直段过长, 则压力降过大, 停留时间过长, 易影响产品质量^[4]。截面 1、2 基本体现了管材的形状。图形本身为单向对称, 所以截面速度分布为非对称。通过模拟得到 $c_2 < c_3 < c_1$ 的分布关系, 即尽可能实现型材的中心与螺杆的轴线在同一直线上^[5]。

2.2 挤出试验

根据 $c_2 < c_3 < c_1$ 的关系和制品尺寸设计口模, 在高聚物精密挤出试验台上进行挤出试验。挤出试



a—口模流道截面; b—机头内部流道(阴影部分为流道纵截面形状)

图 4 异径双孔圆口模流道

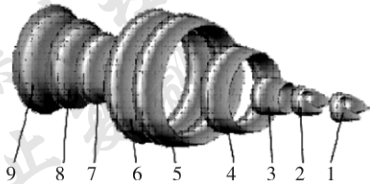


图 5 机头流道速度分布三维图

验台采用可编程控制器(PLC)实现螺杆转速、牵引速度及温度控制和压力测定。速度调节范围为 5~150 r/min, 采用普通三段式螺杆, 螺杆直径 32 mm, 长径比为 28。实验材料为 PUR-T, 实验前烘干 3 h。实验条件及加工工艺见表 1。

实验结果表明, 在不采用定型手段的情况下, 三种加工工况下制品的内孔均为非圆形孔, 两个内孔在靠近中心的位置被拉长, 与模拟结果相符。针对这一现象采用真空外定径方式定型, 基本满足生产要求。

表 1 试验条件及加工工艺

转速/ $r \cdot \min^{-1}$	机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$					机头温度/ $^{\circ}\text{C}$		真空度/ MPa	牵引速度/ $\text{cm} \cdot \min^{-1}$
	一区	二区	三区	四区	五区	一区	二区		
10	100	140	170	190	190	190	205	0.02	460
15	100	140	164	189	195	204	201	0.02	520
20	99	139	169	197	200	196	189	0.02	600

3 结论

(1) 对于截面相对较小的异型管材, 边界对其流场速度分布影响明显, 且挤出胀大所占的比例较大, 在口模的设计过程中, 必须充分考虑。

(2) 设计中要依据流场分布情况来匹配口模各部分的成型长度, 流动阻力大的部分, 长度应较小,

反之亦然。对于一些特定情况, 可以调节流动速度和采用定型方式实现稳定成型。

(3) 合理设计定型段截面形状是口模设计的关键。

(4) 采用有限元软件模拟分析可以使小截面精密异型材口模设计更加合理, 缩短设计周期。

参考文献

- 1 张继忠,翟步荣.浅谈Flow2000在异型材挤出模中的应用.广东塑料2004(3):10
- 2 周持兴,俞炜.聚合物加工理论.北京:科学出版社,2004.
- 3 唐志玉.挤塑模设计.北京:化学工业出版社,1997.

- 4 丁雪佳,余鼎声,牛燕.异型材成型挤出口模内的流动分析.特种橡胶制品,2001,22(4):30
- 5 杨安昌,孙振环,陈方,等.塑料异型材挤出模技术.北京:机械工业出版社,1999.

STUDY ON EXPERIMENT AND COMPUTER SIMULATION OF THE PROFILE-TUBE'S EXTRUSION WITH PRECISION SIZE AND SMALL DIMENSION IN CROSS SECTION

Zou Weidong, Guo Yichong, Wu Daming, Wang Jingna

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT The extrusion of the profile-tube was simulated, and the effects of the boundary of die on the velocity distribution of the flow field were discussed. Some key dimensions were confirmed according to the flow balancing theory and the velocity distribution, and a profile-tube die was designed for thermal polyurethane. Experiment results proved that the die design method by joining simulation with experiment could achieve more reasonable die design and shorten the design periods for products with precision size and small demension in cross section.

KEYWORDS simulation, profile-tube, die

美国市场软包装需求将年增4.1%

美国Freedonia集团最新研究报告显示,2009年以前,美国软包装市场需求将以年均4.1%的速度增长。预计2009年软包装交易额将达到144亿美元,而2004年仅为118亿美元。Freedonia预测,美国小包装袋需求在2009年以前将以年均6.6%的速度快速增长,届时交易额将达到58亿美元,这将为许多新成立的公司带来机会。同时,扁平袋的阻隔性能和重复密封性能得到提升,其市场需求也将上升。而普通包装袋需求增幅较小,预计仅为年均2.5%。Freedonia指出,2009年以前,美国软包装市场中,食品用需求年均增幅为4.3%,非食品用需求年均增幅为3.7%。(孟晶)

碳纳米管未来10年将大幅降低成本进入商业应用

碳纳米管由于具有独特的电子结构和物理化学性质,在各个领域中的应用已引起了各国科学家的普遍关注。Cientifica Ltd咨询公司日前做出预测,纳米管和纳米纤维市场需求将由2005年约1.737亿美元猛增到2010年的36.2亿美元,年均增速高达60%以上。Frost & Sullivan公司则认为,仅碳纳米管市场需求预计到2007年时就将达到5.4亿美元。随着生产技术进步,未来10年碳纳米管价格将大幅下降从而逐渐进入商业应用。未来碳纳米管的应用将无处不在。目前研究人员正在进行碳纳米管多种用途的试验,包括电火花塞、太阳能电池、乳腺癌的治疗等。另外利用碳纳米管还可以制成高强度碳纤维材料,用碳纳米管制成的复合材料将在土木、建筑等领域获得广泛应用。

碳纳米管是一种具有独特结构的一维量子材料。碳纳米管所拥有的潜在优越性决定了它无论在物理、化学还是在材料科学领域都将有重大发展前景。比如在材料科学领域,碳纳米管的长度是其直径的几千倍,被称为“超级纤维”。

德国拜耳材料科学公司旗下的技术服务机构去年11月称,将开始以100欧元(120美元)/kg的价格对外销售其生

产的商品名为Baytubes的碳纳米管。拜耳公司碳纳米管项目负责人表示,该产品纯度达到99%以上,并且已大幅度降低了生产成本。该负责人解释说,在塑料制成的汽车挡泥板里添加少量的Baytubes碳纳米管,可以省去环保型水性涂料或粉末涂料涂装前的预处理。拜耳公司称该产品还可用于防静电包装薄膜材料、电子元件、计算机和移动电话外罩的电磁干扰屏蔽层等。

2004年GE公司把两个电性能不一样的碳纳米管连接起来制成一个纳米二极管,2005年8月GE公司表示已经对碳纳米二极管进行了改进,可以实现在理论极限条件下工作。GE认为这一突破可以与晶体管代替电子管所产生的技术进步相比。另外,Applied Nanotech和Shimane Masuda Electronics将开始试生产采用碳纳米管制作的25英寸液晶电视屏,画面质量更优并具有更多的视角,而且耗电更小。

据美国劳伦斯伯克力国家实验室专家介绍,碳纳米管还将可能用作替代半导体晶片中的硅。如果纳米管生产成本进一步降低,还可以大量用于生产太阳能电池来获得廉价的电能。美国Rensselaer Polytechnic Institute和空军研究实验室的研究人员还正在试验将碳纳米管制成点火系统,该产品有可能替代传统的火花塞。美国莱斯大学实验人员还在进行碳纳米管诊断和处理乳房肿块方面的试验(石景文)

波音787机身将全用增强塑料造

美国飞机制造巨头波音公司目前正在制造一种机身几乎全部用增强塑料的客机——波音787梦幻客机。该客机将是首架机身和机翼不用铝而用增强塑料制成的客机,机身和机翼采用高强度塑料和碳纤维。用增强塑料制造客机的方向舵和尾翼已经有20年历史,而采用塑料制造机身和机翼则是飞机制造史上的一个创举。波音公司说,这种材料比铝更轻,维护也更省线,因而波音787梦幻客机将比现有的飞机节省燃油20%,而且维护费用也可节省30%。(王新)