

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.06.001

基于 POLYFLOW 的聚氯乙烯复合 人造革涂布刮刀受力研究

麦云飞, 苏文静

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要:目前对涂布过程中流体的研究多为牛顿流体,而实际流体为非牛顿流体,针对研究结果与实际偏差较大,难以用于指导实际生产的缺点,提出了一种应用 POLYFLOW 软件对非牛顿流体涂布过程进行仿真的方法。建立了涂布刀二维仿真模型,包括涂布刀二维几何模型、网格模型、涂布刀物理模型参数设置、非牛顿流体模型参数设置几个方面。仿真结果得到了不同影响因素下非牛顿流体的静压力图及速度图。研究表明:涂布刀所受压力与离型速度成正相关关系,与温度、涂布刀与辊轮的间隙和涂布刀安装角度成负相关关系。进而为实际生产提出了建议:安装涂布刀时,安装角度尽可能大;涂层较薄时,可增加约束或自动调节机构减少涂布刀的受力变形;适当控制离型纸速度;适当增加涂料的温度。该方法比较真实地模拟了非牛顿流体在涂布过程中的流动,为涂布行业提高产品质量提供理论依据。

关键词:聚氯乙烯复合人造革;涂布过程;涂布刮刀;POLYFLOW 软件

中图分类号:TQ325 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2016)06-0001-05

Pressure Study of Coating Blade of Polyvinyl Chloride Composite Leather Based on POLYFLOW

MAI Yunfei, SU Wenjing

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract: The research on coating process fluid is more about Newtonian fluid, but the actual fluid is non-Newtonian fluid. So the research result deviation is large, and it is difficult to guide the actual product. A method that simulated the non-Newtonian fluid coating process was proposed based on POLYFLOW software. The dimensional coating blade simulation model was established, which included coating blade dimensional geometric model, mesh model, physical model parameters and non-Newtonian fluid model parameter set. The non-Newtonian fluid static pressure and speed diagram were obtained. The coating blade's pressure was as follows, the pressure had positive correlation with release paper speed, and it had negative correlation with temperature, the gap of coating blade and roller and mounting angle of coating blade. So put forward some suggestions for actual production: when installing coating blade, the mounting angle should be larger. The coating is thin, and the constraint or automatic adjustment mechanism is increased to reduce the stress and deformation of coating blade. The temperature of coating is controlled, and the paper speed is released. The method simulates the non-Newtonian fluid flow in the coating process actually. It provides a theoretical basis to improve product quality of the coating industry.

Key words: polyvinyl chloride composite leather; coating process; coating blade; POLYFLOW software

以聚氯乙烯树脂为原料生产的人造革称聚氯乙烯复合人造革(以下简称 PVC 革)。PVC 革的主要生产方式为涂布^[1-3]。而涂布刮刀是涂布装置中的重要部件,其受力情况将直接决定涂层的表面质量。随着涂

收稿日期:2016-05-13;修回日期:2016-06-27

作者简介:麦云飞(1962),男,上海人,工学博士,副教授,硕士生导师,现任上海理工大学机械学院先进制造技术研究所所长,主要研究方向为机电一体化设备、计算机测控系统和液压伺服控制系统等。通信作者:苏文静(1989),女,山东夏津人,硕士研究生,主要研究方向为机电一体化。E-mail: holiday1104@163.com

布行业生产车速的增加及产品质量要求的提高,涂布成型装置中涂布刀的受力也受到越来越多的关注。为明确涂布刀的受力,人们开始对涂布刀^[4-5]进行深入的研究。涂料为牛顿流体或近似牛顿流体时:文献[6]基于润滑理论,推导出涂布机工作时逗号刮刀在流场中受力的计算公式,对涂布设备工作过程中逗号刮刀刀口直线度调节和刮刀结构设计提供了理论依据;文献[7]研究了车速,流量和刮刀角度等因素对刮刀受力的影响,但是没有分析非牛顿流体情况。而对于非牛顿流体,国内外文献少有提及,更重要的是在现实生产过程中大多数产品都为非牛顿流体,因此需研究涂料为非牛顿流体时涂布刀的受力问题。因此,本文利用 POLYFLOW 软件具有强大的解决非牛顿流体及非线性问题能力的特性,对 PVC 革涂层过程进行模拟,得到涂布刮刀在不同条件下的速度图及静压力图,为研究非牛顿流体在涂布成型装置的流动,刮刀的结构设计及安装提出改进意见,进而对涂布刀的受力分析提供理论依据。

1 有限元模型建立

POLYFLOW 是采用有限元法的 CFD 软件,专用于黏弹性材料的流动模拟。作为 FLUENT 的一个组件,它具有强大的解决非牛顿流体及非线性问题的能力^[8],且具有多种流动模型,可以解决聚合物、食品、玻璃等加工过程中遇到的多种等温/非等温、二维/三维、稳态/非稳态的流动问题,可以用于聚合物的挤出、吹塑、拉丝、层流混合及涂层过程中的流动、传热和化学反应问题。图 1 所示为软件仿真流程。

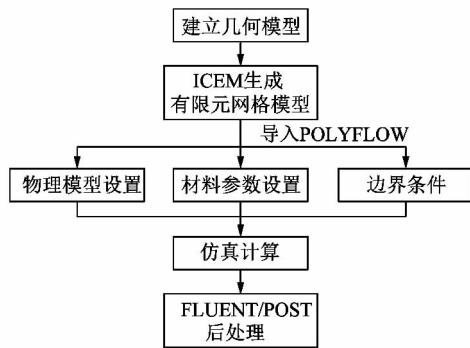


图 1 POLYFLOW 软件仿真流程

Figure 1 Simulation process of POLYFLOW software

表 1 模型具体参数

Table 1 Model specifications parameters

流体进入计算区域的 体积流率/($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	离型纸的速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	辊轮的旋转角 速度/($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)	辊子半径/ mm	涂布刮刀 半径/mm	刮刀和辊子间的 间隙 δ /mm	涂料的黏度 η /($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	涂布刀的安 装 角度 θ /($^\circ$)
0	0.000 ~ 0.583	0.95 ~ 3.33	175	50	0 ~ 1	3 ~ 150	0 ~ 15

1.1 涂布成型装置几何模型

本文以 PVC 革涂布生产过程的第 1 层涂层 PVC 增塑糊为研究对象,对其经过涂布成型装置的过程进行仿真。涂布成型装置主要由涂布刀、辊轮及调节结构组成。离型纸为涂料载体,以恒定的速度通过涂布刀。忽略某些对仿真结果不会产生太大影响的结构,进行一些简化,将涂布成型装置简化为图 2 所示的涂布结构简化模型。涂布刀受力主要集中在矩形标注的区域,该区域受力复杂,需要建立较详细的二维局部仿真模型。

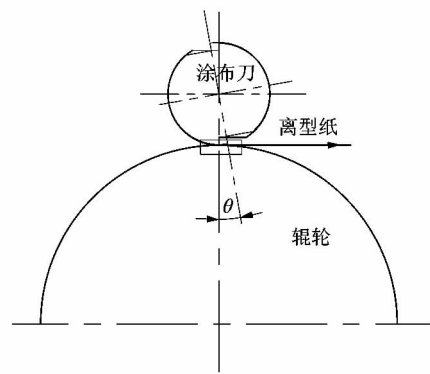


图 2 涂布结构简化模型

Figure 2 Simplify mode of coating structure

建立的涂布结构的二维局部截面仿真模型如图 3 所示。根据计算模型形状尺寸及对计算结果的影响,在划分网格时将计算区域分为 2 个子区域(进口区域和出口区域),即区域 $P_1P_2P_5P_6$ 和区域 $P_2P_3P_4P_5$ 。这样既保证计算精度,同时减小网格规模,提高计算效率。模型的具体参数如表 1 所示。

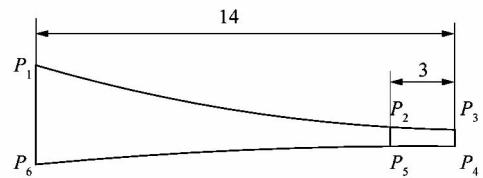


图 3 涂布结构二维局部截面仿真模型

Figure 3 Two-dimensional partial simulation model of coating structure

1.2 涂布成型装置有限元网格模型

划分网格遵循的一般原则为:对计算结果影响较大的区域定义较小的网格尺寸,对计算结果影响较小的区域定义较大的网格尺寸。如图 4 所示, P_1P_6 , P_2P_5 , P_3P_4 的节点数分别为:50, 49, 40; P_1P_2 , P_6P_5 , P_2P_3 , P_5P_4 的节点数分别为:400, 400, 300 和 300。网格类型为 All Tri, 网格生成方法为 Patch Dependent。网格质量柱状图中,网格质量为 0.35 ~ 1.00, 质量合格。

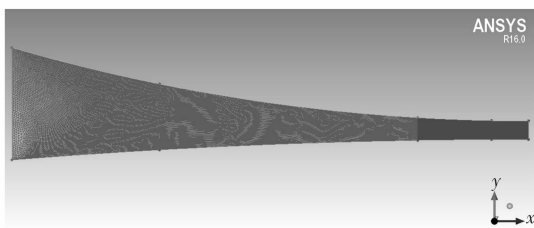


图 4 涂布刀结构二维局部截面网格划分

Figure 4 Two-dimensional partial meshing of coating blade

1.3 有限元模型的参数设置

1.3.1 区域边界条件

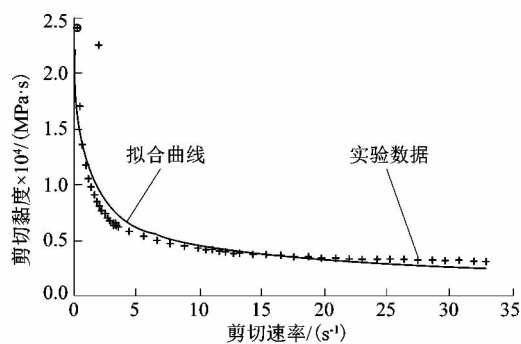
计算 POLYFLOW 问题中描述每个子任务计算区域的边界流动信息称为边界条件。区域边界条件设置: P_1P_6 为流动入口; P_3P_4 为流动出口; P_1P_3 为 $v_n = 0, v_s = 0$ 的壁面; P_6P_4 为 $v_n = 0, v_s = k$ (k 为常数,取 0.000 ~ 0.583 某一点) 恒定线速度的壁面。 v_n, v_s 分别代表速度的法向分量和速度的切向分量。

1.3.2 物理模型

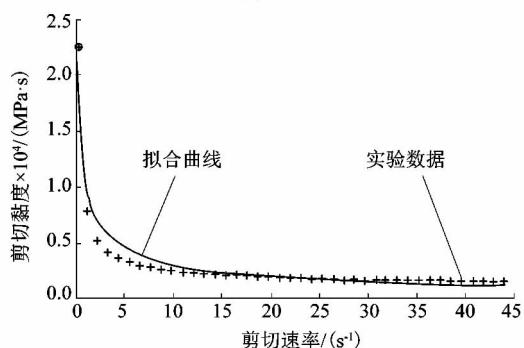
液层单位表面上所加的剪切力与液层间的速度梯度(剪切速率)的比值称为黏度,加工过程中聚合物流变行为可以黏度表征^[9]。对于小分子流体该黏度为常数;而对于聚物流体,剪切力和剪切速率不成比例,流体的剪切黏度不是常数,依赖于剪切作用。利用 BROOKFIELD DV2T 黏度计^[10],测出该流体的黏度与速率数据如图 5 所示。

从图 5 可以看出 PVC 增塑糊的黏度随剪切速率的变化情况,进而得出其黏度具有剪切速率依赖性即非牛顿特性^[11]。依据图 5 得出的结论,在 POLYFLOW 建立二维稳态有限元任务模型时,分析子任务为非牛顿流体等温流动问题,模型材料为剪切速率依赖型。

一定的假定条件下推导表观黏度和剪切速率之间的关系称为本构方程,本文计算的本构方程为 cross 模型^[12-16],公式如下:



(a) 25 °C



(b) 40 °C

图 5 PVC 增塑糊黏度随剪切速率的变化情况

Figure 5 Variation of PVC plasticized paste viscosity with shear rate

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + (\lambda\dot{\gamma})^{1-n}} \quad (1)$$

式中: η_0 为零剪切黏度; λ 为松弛时间; n 为非牛顿指数; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率。通过实验测试得出 25 °C 液体具体参数为: $\eta_0 = 32\ 905, \lambda = 2.799\ 7, n = 0.551\ 7$ 。40 °C 液体具体参数为: $\eta_0 = 30\ 415, \lambda = 2.776\ 2, n = 0.658\ 5$ 。

2 仿真结果与讨论

在上述模型的基础上,探究离型纸的速度、刮刀和辊轮之间的间隙、涂布刀的安装角度和温度 4 个参数在模型出口处对涂布刀的受力产生的影响。图 6 为 25 °C, 一定安装角及间隙时涂布刀静压力等值线图及速度图。图 7 是温度 t 为 25 和 40 °C, 离型纸速度 $v = 0.583$ m/s 时涂布刀出口压力-间隙关系图。

由图 6(a) 静压力等值线图看出:涂料从入口到出口的流动过程中,其静压力值为负值,说明其形成一定的真空度,且真空度从入口到出口逐渐减小,出口的压力值为正,代表涂布刀的受力;从图 6(b) 速度图可以看出,靠近离型纸的涂料速度与离型纸相同,越靠近涂布刀方向涂料的流动速度越小。仿真结果与生产现象相符。

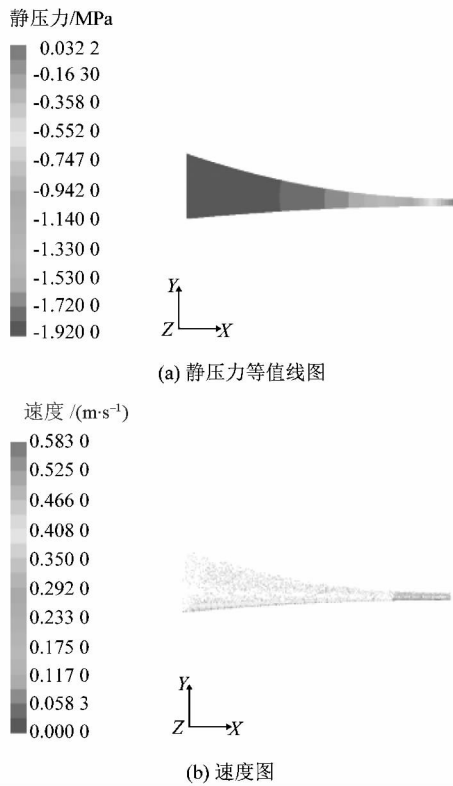


图 6 $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$, $\delta = 0.3\text{ mm}$, $v = 0.583\text{ m/s}$
涂布刀静压力等值线图及速度图
Figure 6 Static pressure contour and velocity
diagram of coating blade under $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$,
 $\delta = 0.3\text{ mm}$, $v = 0.583\text{ m/s}$

由图 7 看出,离型纸速度、温度、涂布刀安装角相同时,刮刀和辊轮之间的间隙越小涂布刀所受压力越大;相同离型纸速度、温度、刮刀和辊轮之间的间隙,涂布刀的安装角越小,涂布刀受力越大;其他参数相同,温度升高,涂布刀所受压力有所减小。

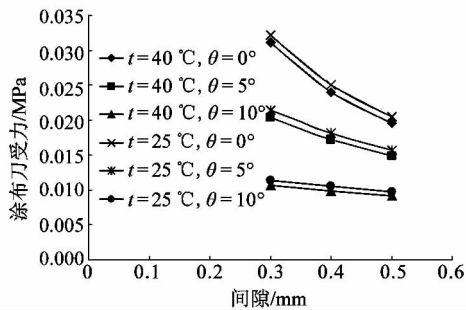


图 7 $t = 40$ 和 $25\text{ }^\circ\text{C}$, $v = 0.583\text{ m/s}$ 下
涂布刀出口压力-间隙关系

Figure 7 Relationship between static pressure
and gap under $t = 40$ and $25\text{ }^\circ\text{C}$, $v = 0.583\text{ m/s}$

表 2 为 $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$ 时刮刀和辊轮之间的不同

间隙及离型纸不同速度对涂布刀的影响。 $t = 40\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$ 的影响情况和 $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$ 情况相同,图表将不再赘述。由表 2 可以看出,在相同条件下,离型纸的速度越高,涂布刀所受压力越大,对比效果如图 8 所示。

表 2 $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$ 不同间隙不同速度
涂布刀出口静压力

Table 2 Static pressure of different gap and speed
under $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta = 0^\circ$

$v / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	静压力/Pa		
	$\delta = 0.3\text{ mm}$	$\delta = 0.4\text{ mm}$	$\delta = 0.5\text{ mm}$
0.100	6 620	5 120	4 180
0.167	10 500	8 130	6 650
0.200	12 400	9 570	7 830
0.300	17 800	13 800	11 300
0.400	23 000	17 800	14 600
0.500	28 100	21 800	17 800
0.583	32 200	25 000	20 500

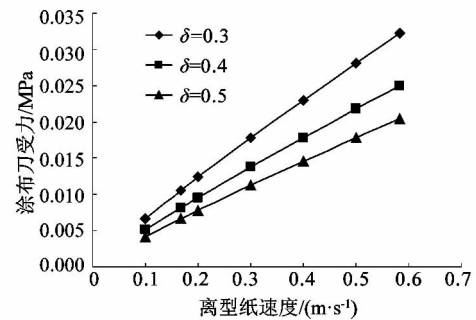


图 8 不同间隙不同速度涂布刀出口静压力

Figure 8 Static pressure of different gap and speed

3 结语

本文利用 POLYFLOW 有限元分析软件在流场分析方面的强大功能,建立了 PVC 增塑糊在涂布成型装置的有限元模型,模拟 PVC 增塑糊在涂布成型装置中的流动过程,得到非牛顿流体流过涂布刀的受力情况:

- 1) 温度降低时,涂布刀所受压力有所增大;
- 2) 离型纸速度越大,涂布刀所受压力越大;
- 3) 涂布刀与辊轮的间隙越小,涂布刀所受压力越大;
- 4) 涂布刀安装角度越小,涂布刀所受的压力越大。

温度变化会影响涂料的黏度等流变特性,进而影响涂料的流动性;离型纸速度则与涂料的体积流率密切相关。涂布刀与辊轮的间隙及涂布刀的安装角不同,则涂料的流动阻力将不同。离型速度、温度、涂布刀与辊轮的间隙及涂布刀安装角度等因素的变化将直

(下转第 20 页)