

翻领成型器对包装薄膜厚度变形的影响研究

于美娟, 周一届

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究在制袋—充填—封口包装机中,当拉伸包装薄膜经过翻领成型器时,翻领成型器对包装薄膜厚度的影响。**方法** 从几何非线性角度研究包装薄膜经过翻领成型器最高点后其厚度的变化情况,并与薄膜初始厚度进行比较。**结果** 通过分析包装薄膜内各质点间的相对位移及其相对运动的速度与加速度的关系式,可以看出相对位移、相对速度及相对加速度越大,则薄膜的厚度将变得越小,薄膜的变形量也越大。**结论** 给出了描述材料变化的变形梯度张量、位移梯度张量、速度及加速度的关系式,并推出了一个关于包装薄膜厚度变化的关系式,为实际翻领成型器制作中肩曲面偏移问题提供一定的理论基础。

关键词: 翻领成型器; 包装薄膜; 厚度; 肩曲面偏移

中图分类号: TB486

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)07-0055-05

Effects of Lapel Shaper on the Thickness and Deformation of Packaging Film

YU Mei-juan, ZHOU Yi-jie

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: **Objective** To study the effects of the lapel shaper on the film thickness when the packaging film went through the lapel shaper during the stretching process in the FFS packaging machines. **Methods** This paper researched the thickness change of the packaging film when it went through the lapel shaper from the perspective of geometric nonlinearity, and compared it with the initial thickness. **Results** By analyzing the formulas of the relative displacement, relative velocity and acceleration, it was found that with the increase in the relative displacement, relative velocity and acceleration, the film thickness decreased, and the amount of deformation increased. **Conclusion** Formulas of deformation gradient tensor, displacement gradient tensor, velocity and acceleration were given, and a formula on the thickness variation of packaging film was introduced. This research provided theoretical foundations for the shoulder surface offset problem of the lapel shaper in the actual production process.

KEY WORDS: lapel shaper; packaging film; thickness; shoulder surface offset

翻领成型器是制袋—充填—封口包装机中的关键部件。近几年国内外对成型器的研究很多,国内在成型器的截面形状和曲面方面进行了较多探讨^[1-9],在力学方面也有所涉及^[10-12];国外在利用有限元设计成型器^[13],包装材料在流动过程中的张力等方面有所研究^[14]。在这些研究中都忽略了包装薄膜的厚

度或者成型器对薄膜厚度的影响,关于成型器制造方面的研究国内外都有相关报导^[15-17]。在实际制作翻领成型器的过程中,大多数成型器的肩曲面在轴向有一定距离的偏移,至于为何会出现这样的情况,并没有提供理论依据。

在制袋—充填—封口包装机中,包装薄膜在力

收稿日期: 2013-12-16

作者简介: 于美娟(1988—),女,山东烟台人,江南大学硕士生,主攻包装机械基础件。

通讯作者: 周一届(1954—),男,江南大学教授,主要研究方向为 CAD, CAM, 逆向工程及轻工机械基础件等。

的作用下经过翻领成型器成形时,包装薄膜有被拉伸变薄的趋势,会发生比较大的变形,因而分析包装薄膜结构时不适合使用小变形理论。分析薄膜结构时,必须考虑材料非线性与几何非线性等因素,实际应用中,一般情况下膜内应力低于材料的弹性极限,即应力-应变关系仍可认为是线性关系,因而可以不考虑材料的非线性问题,这样既能简化问题,又与实际情形比较相符^[18]。几何非线性是指当位移大到足以使结构的几何形状发生显著改变,以致平衡方程必须按照变形后的位置来建立时,反映在应变-位移关系式中的这类非线性^[19],属于小应变大位移情形。

文中从几何非线性角度探讨包装薄膜在经过拉伸后,其厚度的变化情况,然后根据包装薄膜的变化来研究成型器肩曲面在轴向的适宜偏移量,为翻领成型器提供一定的理论依据。

1 薄膜经过翻领成型器的坐标选取

实际包装材料具有一定的厚度,在材料经过翻领成型器成形时,经过翻领成型器的拉伸,材料的厚度必会受到影响,其性能亦会发生某种程度的变化。为确定包装薄膜的这种变形,可以考虑薄膜前后状态的变化,选取拉格朗日坐标系 $O\zeta_1\zeta_2\zeta_3$,薄膜初始状态中任一点的位置由拉格朗日坐标 $\zeta(\zeta_1,\zeta_2,\zeta_3)$ 确定,并作为薄膜的参考构形。选取欧拉坐标系 $O\eta_1\eta_2\eta_3$,以确定薄膜现在状态所在的空间位置,即薄膜的现时构形。拉格朗日坐标系与欧拉坐标系见图1^[20]。

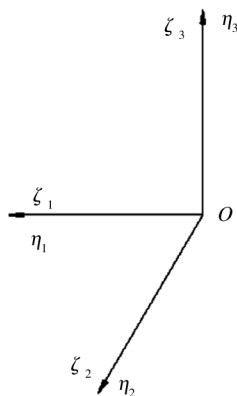


图1 拉格朗日坐标系与欧拉坐标系

Fig. 1 Lagrange coordinates system and Euler coordinate system

2 薄膜运动与变形分析

选取一个特定的状态作为初始参考构形,以便研究包装薄膜的运动和变形,此处选取薄膜未变形的形态作为参考构形。在选取一个固定的欧拉坐标系后,使用初始时刻 $t_0=0$ 时质点的物质坐标(即拉格朗日坐标) ζ 和时间变量 t 来表示包装薄膜中每一质点的空间位置 η ,即薄膜质点的运动方程为:

$$\eta_i = \eta_i(\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, t) \quad (i=1, 2, 3) \quad (1)$$

当薄膜中各质点之间发生相对运动时,包装薄膜就会产生变形,而包装薄膜中质点的这种相对运动可由式(1)表示。

实际制造的翻领成型器的肩曲面在轴向存在偏移,见图2。通过观察和对比在文献[11]中所做的试验模型得出:经过倒圆角处理后的试验模型中圆角半径大于0.5 mm时,即成型器的肩曲面在轴向有0.5 mm的偏移,薄膜与模型表面基本完全贴合^[11],见图3,其中图3a为未经过倒圆角处理的试验模型,图3b为经过倒圆角处理的实验模型。

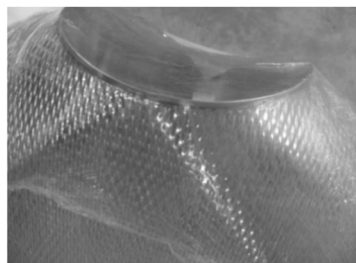


图2 实际翻领成型器肩曲面轴向偏移实物

Fig. 2 Axial offset physical figure of the shoulder surface of an actual lapel shaper



a 未经过倒圆角处理的试验模型



b 经过倒圆角处理的试验模型

图3 包装薄膜经过成型器模型转角时的情况对比

Fig. 3 Comparison of packaging film passing through the former model corner

文中假设翻领成型器经过偏移处理后的形状见图4,其中圆角的半径为 $R(R>0.5)$,即肩曲面在轴向偏移量为 $R(R>0.5)$ 。

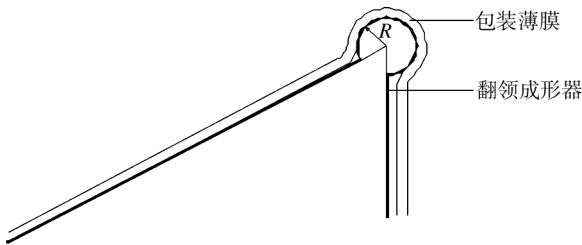


图4 肩曲面轴向偏移示意

Fig. 4 Sketch of axial offset of the shoulder surface

文中选取过成型器模型最高点处流线的包装薄膜作为研究对象,研究薄膜的厚度变化情况,见图5。因选取的薄膜流线在空间中的位置与 η_2 轴无关,所以此处只考虑 $\eta_1\eta_3$ 平面的图形情况。

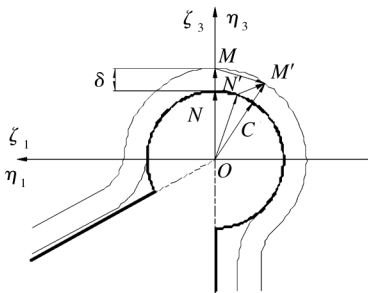


图5 过成型器模型最高点处流线的包装薄膜状态分析示意

Fig. 5 State analysis sketch of packaging film passing through the highest point of the lapel shaper

包装薄膜初始厚度为 δ ,假设 $\overrightarrow{ON}=\zeta$, $\overrightarrow{OM}=\zeta+d\zeta$,则 $\overrightarrow{NM}=d\zeta$,即在最高点处薄膜的上层质点 M 与下层质点 N 的位置矢量之差为 $d\zeta$,亦即包装薄膜的初始厚度 $\delta=|d\zeta|$ 。

前文中基本都假设忽略包装材料的厚度变化,但是在制袋—充填—封口包装机开始运转之后,包装薄膜经过拉伸过翻领成型器最高点成形时,薄膜中各质点之间会由于拉力的作用出现相对运动,即薄膜的厚度存在变薄的趋势。由此,现假设薄膜上的质点 N 与点 M 出现如图5所示的变化,则 $\overrightarrow{ON'}=\eta$, $\overrightarrow{OM'}=\eta+d\eta$,此时的位置矢量差变为 $\overrightarrow{N'M'}=d\eta$ 。由方程(1)可得:

$$\eta=\eta(\zeta,t) \quad (2)$$

$$\eta+d\eta=\eta(\zeta+d\zeta,t) \quad (3)$$

在 t 时刻,参考构形中薄膜中的2个相邻质点 N 和 M 在现实构形中的距离:

$$d\eta=\eta(\zeta+d\zeta,t)-\eta(\zeta,t) \quad (4)$$

式(4)表示 t 时刻,在参考构形中微小线元 $d\zeta$ 与现时构形中相应线元 $d\eta$ 之间的变换,即:

$$d\eta=\frac{\partial\eta}{\partial\zeta}d\zeta=Fd\zeta, d\eta_i=\frac{\partial\eta_i}{\partial\zeta_j}d\zeta_j=F_{ij}d\zeta_j \quad (i,j=1,3) \quad (5)$$

$$\text{其中, } F_{ij}=\frac{\partial\eta_i}{\partial\zeta_j}=\begin{bmatrix} \frac{\partial\eta_1}{\partial\zeta_1} & \frac{\partial\eta_1}{\partial\zeta_3} \\ \frac{\partial\eta_3}{\partial\zeta_1} & \frac{\partial\eta_3}{\partial\zeta_3} \end{bmatrix} \quad (i,j=1,3) \quad (6)$$

此处, F 是变形阶梯张量,它反映了微小线元的变形和运动情况。

质点 N,M 在拉格朗日坐标系即参考构形中的位置为 ζ ,在欧拉坐标系即现时构形中的位置为 η ,则质点的位移为:

$$u=\eta-\zeta, \eta=\zeta+u \quad (7)$$

将式(7)代入式(5)得:

$$d\eta=(I+H)d\zeta, d\eta_i=\left(e_{ij}+\frac{\partial u_i}{\partial\zeta_j}\right)d\zeta_j \quad (i,j=1,3) \quad (8)$$

其中此处的 I 是单位张量,

$$H_{ij}=\frac{\partial u_i}{\partial\zeta_j}=\begin{bmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial\zeta_1} & \frac{\partial u_1}{\partial\zeta_3} \\ \frac{\partial u_3}{\partial\zeta_1} & \frac{\partial u_3}{\partial\zeta_3} \end{bmatrix} \quad (i,j=1,3) \quad (9)$$

此处 H 为位移梯度张量。将式(5)和(9)进行比较,得到关系式:

$$F=I+H \quad (10)$$

从式(10)可以看出 H 与 F 之间的关系,即位移梯度张量与单位张量的矢量和为变形梯度张量。在拉力的作用下,包装薄膜中的各质点间的相对位移使得薄膜出现变形,这种变形可以采用式(10)进行描述。

当 ζ 保持不变时,位置矢量 η 对时间 t 的导数,即速度为:

$$v(\zeta,t)=\frac{\partial\eta}{\partial t}=\frac{\partial(\zeta+u)}{\partial t}=\frac{\partial u}{\partial t} \quad (11)$$

此时的质点的加速度的表达式为:

$$a(\zeta,t)=\frac{\partial v(\zeta,t)}{\partial t}=\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (12)$$

从式(11)可以看出,当 $v(\zeta, t)$ 很小时,薄膜厚度变小的趋势很小,从而对薄膜的性能几乎不会产生任何影响;相反,当 $v(\zeta, t)$ 很大,大到肉眼能看到薄膜厚度的明显变化时,薄膜的使用性能很有可能会受到影响,甚至会产生废品。从文献[11]中的试验可以看到薄膜在经过模型时能明显地看到薄膜变薄的倾向,说明薄膜中各质点间的相对运动速度较大。分析式(12),薄膜中各质点间的相对运动,若加速度 $a(\zeta, t)=0$,则薄膜厚度不变或者厚度在匀速地变小;若 $a(\zeta, t)>0$,则表明薄膜厚度变小的趋势在加大,薄膜的性能也会受到影响,可能会出现不符合产品包装的要求。由此,应该根据包装要求和翻领成型器的性能选择合适的包装薄膜材料,或者根据包装要求和包装材料性能选择肩曲面具有适宜偏移量的翻领成型器。

此外,从图5肩曲面偏移过的成型器的几何关系可以看出, $|\vec{ON'}|=|\vec{OC}|=R$,假定向量 $\vec{OC}$ 与向量 $\vec{OM'}$ 共线,则变形后的薄膜厚度为 $\delta_1=|\vec{OM'}|-R$,即:

$$\delta_1(\zeta, t) = |\eta + d\eta| - R = |h(\zeta + d\zeta, t)| - R \quad (13)$$

$$\text{则薄膜的厚度变化为: } \Delta\delta = \delta - \delta_1(\zeta, t) \quad (14)$$

从式(13)可以看出,若质点 M 出现相对位移,并且其相对运动速度越大,则薄膜的厚度将会变得越小。式(14)表明,若薄膜的厚度变化在包装材料允许的弹性范围内,则对包装材料的使用性能不会产生坏的影响,若超出了包装材料的可使用弹性范围,则在包装机运行过程中,包装材料将会出现破损现象,导致包装失败。

3 结语

文中从几何非线性角度初步研究了制袋—充填—封口包装机中的关键部件——翻领成型器对包装薄膜材料厚度的影响。就翻领成型器的肩曲面在轴向的适宜偏移量及张力与曲面最高点的曲率变化对包装薄膜厚度变形的影响方面,尚需做进一步研究。根据包装薄膜在拉伸过程中,经过翻领成型器时,薄膜的厚度会有变薄的趋势。文中分析了在力的作用下,经过翻领成型器最高点处流线的薄膜内质点的相对运动和变形,给出了变形梯度张量、位移梯度张量、速度及加速度的关系式,并给出了一个关于厚度变化的关系式,为后续的包装材料研究与试验、实际翻领成型器在制作过程中肩曲面的偏移及制作与研究提供了一点思路。

参考文献:

- [1] ZHOU Yi-jie, WANG Zhi-wei. Study on Rhomb Shoulders in Packaging Machines[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17: 287-294.
- [2] ZHOU Yi-jie, QIAN Xiao-ming. Non-centrosymmetric Section Forming Shoulders in Packaging Machines[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(2): 97-104.
- [3] 耿培, 周一届. 椭圆管翻领成型器简易设计方法的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(12): 59-61.
GENG Pei, ZHOU Yi-jie. Study on Simple Design Method of Ellipse Shoulder Forming Device[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 59-61.
- [4] 赵瑞. 四角封翻领制袋成型器的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
ZHAO Rui. Study on Forming Shoulder with Four-corner Seals[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [5] 赵瑞, 周一届, 殷祥根. 圆形偏置翻领成型器的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 53-54.
ZHAO Rui, ZHOU Yi-jie, YIN Xiang-gen. Study on Forming Shoulder with Corner-seal Circular Section[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 53-54.
- [6] 耿培. 多锥面翻领成型器的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010.
GENG Pei. Study on Multi-conical Surface of Forming Shoulder[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.
- [7] 欧阳焕, 周一届, 曹海燕, 等. 圆形管截面全锥面翻领成型器及其数学模型研究[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 77-80.
OUYANG Huan, ZHOU Yi-jie, CAO Hai-yan, et al. Study of Full-cone Shoulder Former of Round Tube Section and Its Mathematical Model[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 77-80.
- [8] 徐红帅, 周一届. 正八边形立管截面翻领成型器设计方法[J]. 包装工程, 2012, 33(11): 73-76.
XU Hong-shuai, ZHOU Yi-jie. Design of Regular Octagon Lapel Shaper[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11): 73-76.
- [9] 刘雨欣, 周一届. 圆形料管变锥面翻领成型器的研究[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(1): 36-40.
LIU Yu-xin, ZHOU Yi-jie. Study on the Mathematical Model of the Multi-cone Shoulder Former of Round Tube Section[J]. Packaging and Food Machines, 2013, 31(1): 36-40.
- [10] 章辉. 翻领成型器力学性能研究[D]. 无锡: 江南大学,

- 2007.
- ZHANG Hui. Study on the Mechanical Properties of the Forming Shoulder[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [11] 欧阳焕. 全锥面翻领制袋成型器研究及力学性能分析[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- OUYANG Huan. Research on the Full-cone Forming Shoulder and Analysis about Mechanical Properties[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [12] 刘凡. 翻领成型器 3D 建模与动力学特性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2012.
- LIU Fan. Research on the 3-dimensoinal Modeling and Dynamic Characteristics of the Lapel Shaper[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2012.
- [13] DESOKI A, MORIMURA I, HAGIWARA I. General Design of the Forming Collar of the Vertical Form, Fill and Seal Packaging Machine Using the Finite Element Method[J]. Packaging Technology and Science, 2011, 24(1): 31—47.
- [14] MATTHEWS J, HICKS B J, MULLINEUX G, et al. Modeling the Material Flow and Web Tension in the Vertical Form-fill-seal Packaging Process[J]. Packaging Technology and Science, 2011, 24: 435—450.
- [15] 周一届. 翻领制袋成型器交接曲线的偏移与制作[J]. 包装工程, 2008, 29(10): 148—149.
- ZHOU Yi-jie. Offset Bending Curve of Forming Shoulder for Packaging Machine and It's Manufacture[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(10): 148—149.
- [16] HICKS B, MULLINEUX G, MATTHEWS J, et al. Towards an Integrated CAD/CAM Process for the Production of Forming Shoulders with Exact Geometry[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B—Journal of Engineering Manufacture, 2007, 221(10): 1521—1531.
- [17] 卢德华. 翻领成型器的成型关键技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011.
- LU De-hua. Research on Key Technology of the Forming Shoulder Modeling[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011.
- [18] 杨维国, 马剑. 结构和力学参数对薄膜结构受力性能的影响[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, 22(1): 22—25.
- YANG Wei-guo, MA Jian. The Influence of Structural and Mechanical Parameters on Membrane Structure Property[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 2005, 22(1): 22—25.
- [19] 刘正兴, 孙雁, 王国庆. 计算固体力学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2010: 230.
- LIU Zheng-xing, SUN Yan, WANG Guo-qing. Computational Solid Mechanics[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2010: 230.
- [20] 薛守义. 有限单元法[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2005: 270—271.
- XUE Shou-yi. Finite Element Method[M]. Beijing: China Building Materials Press, 2005: 270—271.
- ~~~~~
- (上接第 16 页)
- [20] SOLDATOU N, NERANTZAKI A, KONTOMINAS M G, et al. Physicochemical and Microbiological Changes of "Souvlaki" —A Greek Delicacy Lamb Meat Product: Evaluation of Shelf-life Using Microbial, Color and Lipid Oxidation Parameters[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 36—42.
- [21] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Protein and Lipid Oxidative Stability of Fresh Ostrich Mlliofibularis Packaged under Different Modified Atmosphere Packaging Conditions[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1659—1667.
- [22] 李焕荣, 逢焕明, 朱正兰, 等. 软包装材料对鲜羊肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(4): 91—94.
- LI Huan-rong, PANG Huan-ming, ZHU Zheng-lan, et al. The Influence of the Soft Packing Material on Fresh Mutton Quality[J]. Food and Machinery, 2010, 26(4): 91—94.
- [23] 韩春阳, 张佰清, 常雪妮, 等. 我国零售鲜肉的包装现状及发展趋势[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 45—47.
- HAN Chun-yang, ZHANG Bai-qing, CHANG Xue-ni, et al. Packaging Status and Development Trend Of China's Retail Meat[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 45—47.
- [24] BINGOL E B, ERGUN O. Effects of Modified Atmosphere Packaging (MAP) on the Microbiological Quality and Shelf Life of Ostrich Meat[J]. Meat Science, 2011, 88(4): 774—785.
- [25] FERNANDES R P P, FREIRE M T A, GUERRA C C G, et al. Estabilidade Físico-química, Microbiológica E Sensorial De Carne Ovina Embalada a Vácuo Estocada Sob Refrigeração[J]. Ciencia Rural, Santa Maria, 2012, 42(4): 724—729.
- [26] 任清杰, 王建清, 金政伟. 低温气调包装对鲜猪肉保鲜效果的影响研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 33—36.
- REN Qing-jie, WANG Jian-qing, JIN Zheng-wei. The Effect of Low Temperature of Modified Atmosphere Packaging on the Preservation of Fresh Pork[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 33—36.