

基于 Ansys 的内部气压下软塑包装热封强度分析

夏晶晶, 苗红涛

(河南牧业经济学院, 郑州 450011)

摘要: 目的 对影响强生口腔护理产品 Rembrandt 软塑包装热封强度的因素进行研究。方法 基于 Ansys 有限元方法分析内部气压大小对软塑管热封性能的影响。结果 仿真结果表明, 当管尾长度在 44~54 mm 之间, 管身尺寸在 65~70 mm 之间, 管壁厚度在 0.4~0.5 mm 之间时, 软塑管的应变满足初始条件的要求; 软塑包装的热封失效与材料的密度无关, 随着弹性模量的增大, 材料的最大应变值逐渐减小。结论 要想获得理想的热封(良好的强度和外观)并满足生产效率, 需要材料、结构、温度、压力、时间等多个方面共同作用。

关键词: Rembrandt 软塑包装; 热封强度; Ansys; 有限元方法; 线性静力分析

中图分类号: TS206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0122-05

Heat Sealing Strength of Soft Plastic Packaging under Internal Pressure Based on Ansys

XIA Jing-jing, MIAO Hong-tao

(Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China)

ABSTRACT: The work aims to research the factors that affect the heat sealing strength of the soft plastic packaging of Johnson oral care products Rembrandt. The effect of the amount of the internal pressure on the heat sealing performance of soft plastic tube was analyzed in the Ansys finite element method. The simulation results showed that when the tube end was 44~54 mm long, the tube body was 65~70 mm long and the tube wall was 0.4~0.5 mm thick, the strain of the soft plastic tube met the requirements of initial conditions; the heat sealing failure of the soft plastic packaging was irrelevant to the density of the materials. With the increase in the elasticity modulus, the maximum strain of the material would gradually decrease. In order to obtain ideal heat sealing (good strength and appearance) and meet the production efficiency, material, structure, temperature, pressure and time, etc. are required to work together.

KEY WORDS: Rembrandt soft plastic packaging; heat sealing strength; Ansys; finite element method; linear static analysis

随着消费品的飞速发展,复合软管因其具有阻隔性能优秀、抗氧化能力好、印刷方式灵活、印刷效果令人满意、管肩与封口膜的密封性较大、防伪效果良好等优点,从而广泛应用于牙膏等各类软管包装产品。热封强度对软塑包装材料来讲是一个重要性能指标。热封温度、热封时间和热封压力为热

封的三大要素。为保证封口质量和提高生产效率,确定合适的热封工艺参数是必要的。

张旭良等^[1]对软塑包装热封强度影响因素进行了研究。张红普、卢立新等^[2-3]通过热封试验仪、电子材料试验机进行了热封性能相关实验,对有关复合包装薄膜热封工艺参数进行了研究。宋锦平

收稿日期: 2016-04-19

基金项目: 河南省重大科技专项(121100111000)

作者简介: 夏晶晶(1982—),女,河南郑州人,硕士,河南牧业经济学院讲师,主要研究方向为智能信息处理、网络设计。

等^[4]较全面地总结了热封质量评价的几个指标外观检查热封强度、耐压强度、抗冲击强度等。国外学者对热封质量检测的研究主要集中于开发新的检测技术方面。文中选取强生口腔护理产品 Rembrandt 软塑管为研究对象,考虑到内部气压、软塑管管尾长度、材料物理性质、软塑管管尾厚度、软塑管管身长度等对其热封强度的影响,基于 Ansys 有限元方法,确定最佳热封工艺参数,为软塑管体包装设计提供参考依据。

1 软塑管的热封强度及影响因素

热封强度是指使封口部位的塑料薄膜局部达到熔融状态所需要施加的压力值。热封强度是衡量热封口所能承受内容物的重量,以及保证封口质量的一个重要指标。热封合质量是软塑管包装密封性的重要保证,当内部气压增大,包装袋内外压力差增加,在此压力下,如果其封口强度承受不了相应的压力,就会出现从封口处胀裂开的情况。因此,软塑管包装失效原因是管内外压力差导致的热封口处胀裂。

管外主要承受大气压,是固定值。对于一定的管体包装,其内部压强大小是包装失效的主要因素。文中以此展开研究,假设管体内部充满气体,通过仿真鉴定临界失效内压。根据物理中所学的气体的压强、体积和温度之间的关系公式:

$$\frac{npV}{T}=C$$

(1)

式中: p 为压强 (Pa); V 为气体体积 (m^3); n 为物质的量 (mol); T 为热力学温度 (K); C 为常量。由式(1)可知,影响压强大小的因素有温度和体积,其中体积与软塑管包装设计有关,因此考虑管身长度、管尾宽度、管壁厚度在一定温度下对软塑管内部压强的影响,此外管体材料也予以考虑。

2 热封强度仿真分析

在实际生产生活中,考虑内压的产生对强生口腔护理产品 Rembrandt 软塑包装封尾管热封性能造成的影响是很复杂的,文中首先采用 Inventor 三维绘图软件对软塑包装进行建模,然后利用有限元方法,对软塑包装进行 Static Structural (线性静力

模块)分析。根据给定的初始条件和边界条件,通过观察仿真模拟得到的变形量和应力分布,对软塑管的热封强度进行分析。

采用 Inventor 对强生口腔护理产品 Rembrandt 软塑包装进行三维建模, Inventor 是一款三维可视化实体模拟软件 (AIP), 由美国 Auto Desk 公司推出。内部的三维建模环境能够进行零部件的绘制,以及装配的完成,还有具有特色的功能设计工具,可供完成大部分智能零件的设计,例如钢结构、电缆、传动机构等。Inventor 可以直接读写 DWG 文件,不需要借助其他 CAD 软件,能够更轻松、便捷的利用 DWG 文件进行三维模型的建立。

在 Inventor 中生成的三维模型可以直接的导入 Ansys Workbench 进行分析。通过抑制特征,将模型的结构进行简化,使分析的效率大大提高。管身材料为共挤出复合材料,可为 5~9 层,其组成见表 1。

表 1 共挤出复合材料的组成部分
Tab.1 Component of extruded composite material

层次	材料	厚度/ μm	作用
1	LDPE 薄膜	100	印刷, 正版背印
2	白 LDPE 或白 EAA	90	衬托, 粘合
3	铝箔	30	阻隔, 防渗透
4	EAA	50	粘合
5	LDPE	80	保护内装物

铝箔主要参数: 密度为 2770 kg/m^3 , 弹性模量 $E=71\ 000\text{ MPa}$, 剪切模量 $G=27\ 000\text{ MPa}$, 泊松比为 0.31; LDPE 密度为 0.925 g/cm^3 ; EAA 密度为 0.932 g/cm^3 。其他基本尺寸如下: 管口的直径 $\varphi=13\text{ mm}$, 高度 $H_1=7\text{ mm}$; 螺纹大径 $\varphi_1=13\text{ mm}$, 小径 $\varphi_2=11\text{ mm}$; 螺距 $S=1.5\text{ mm}$; 管肩直径 $\varphi=34\text{ mm}$, 高度 $H_2=7\text{ mm}$; 管身直径 $\varphi=34\text{ mm}$, 管身长 $L=130\text{ mm}$ 。

在进行静力学分析过程中,必须要提出分析过程中的必要条件和初始条件,才能得到更准确的实验结果,在仿真过程中,通过观测材料最大应变来分析软管是否失效,定义应变 0.2 为失效临界值。假定内部气压对管体产生的应变与模拟分析过程中施加的压强产生的应变相同,进行以下 5 组仿真分析: 内部气压对热封口强度的影响,软塑管管尾长度对热封口强度的影响,材料物理性质对热封口强度的影响,软塑管管尾厚度对热封口强度的影响,软塑管管身长度对热封口强度的影响。

2.1 内部气压对热封口强度的影响

分析内部气压的大小,以确定包装失效的压强的临界值。实验之前进行了预实验,预实验显示结果为:在 0.15 ~ 0.2 MPa 中变形量介于失效和不失效之间,因此设置内部气压的实验范围在 0.14 ~ 0.22 MPa (假定外部大气压强为 0.1 MPa) 之间,设置 0.14, 0.16, 0.18, 0.20, 0.22 MPa 等 5 组实验数据进行分析。

实验过程:将建立的三维模型导入 Workbench, Geometry→Import Geometry→Browse→导入三维模型→进入 Design Modeler 界面→Generate;选择模块进行分析,Static Structural→Engineering Data(设置材料参数属性)→General Materials→Outline of General Material→Polyethylene(材料选择完成);进入 Mechanical 界面;在 Outline 分析树定义材料;Outline→Model→Geometry→Solid→Material→Assignment→Polyethylene;Outline 分析树定义接触方式;Outline→Model→Connections→Contacts→Contact Region→Type→Bonded;在 Outline 分析树绘制网格;Outline→Model→Mesh→Generate Mesh, 见图 1。

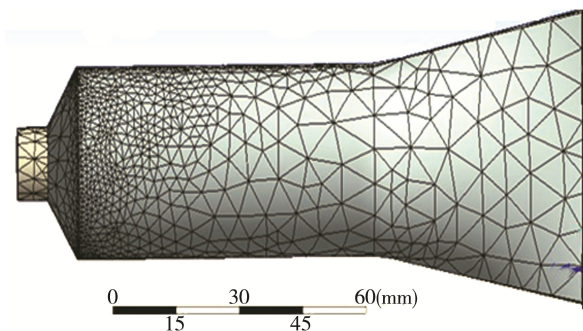


图 1 自动生成网格

Fig.1 Automatic generate mesh

在 Outline 分析树施加载荷;Outline→Model→Static Structural→Load→Pressure(大气压强为 0.1 MPa,施加载荷分别为 0.14, 0.16, 0.28, 0.20, 0.22 MPa);在 Outline 分析树求解;Outline→Model→Solution→Total Deformation→Equivalent Elastic Strain→Equivalent Stress。仿真结果表明,当内部气压为 0.14 MPa 时,软塑包装的变形量见图 2a,应变分布见图 2b。其他分析结果整理成见表 2。

由变形分布图可得,施加不同压力时,在管尾处应变最大,最容易导致热封失效,所以在生产过程中,在管尾处的处理显得尤其重要,由表 2 中数据可知,在施加压力的过程中,最大应变和最小应

变的变化相差并不明显,包装失效的条件是最大应变在允许的范围内,所以可以定义软塑包装的压强临界值 $p=0.18$ MPa。

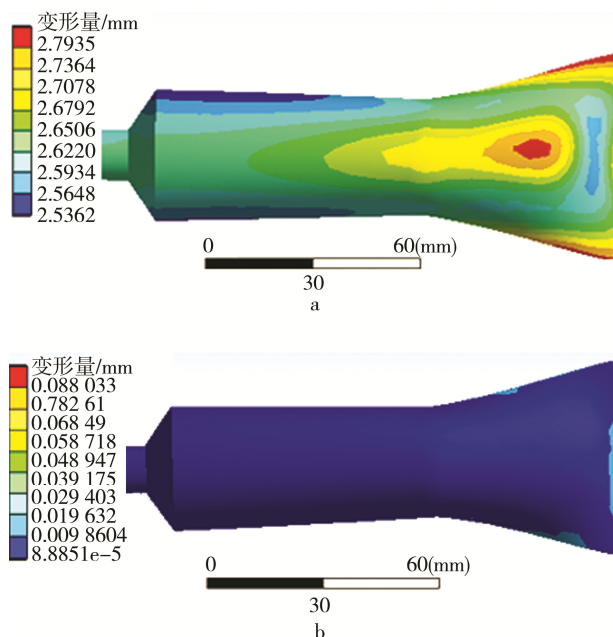


图 2 内部气压 0.14 MPa 时的变形情况

Fig.2 Deformation at internal pressure 0.14 MPa

表 2 不同内部气压下软塑包装的应变 (结果保留小数点后 4 位)

Tab.2 Strain of flexible plastic packaging under different internal pressure

气压 p /MPa	最小应变	最大应变
0.14	0.0098	0.0880
0.16	0.0148	0.1321
0.18	0.0197	0.1761
0.20	0.0247	0.2208
0.22	0.0296	0.2641

2.2 软塑管管尾长度对封口强度的影响

考虑 Rembrandt 软塑包装管尾的长度不同,对热封强度造成的影响不同,现分析不同长度的情况对热封的影响。原始尺寸为 54 mm,采用控制变量法,为突出实验效果,分别改变管尾的尺寸为 49, 59, 64 mm 进行实验分析。重复 2.1 节的实验过程进行分析,其中设定的压强值为 $p=0.18$ MPa,得出结论。分析情况整理见表 3。

管尾长度在 44 ~ 54 mm 之间时,软塑包装最大应变在管尾中部,且由表 3 可知,最大应变值相对来说都较小,满足热封强度的要求,管尾长度在

54 ~ 59 mm 之间时, 最大应变主要集中在管尾两端, 管尾长度为 64 mm 时, 管尾中部达到最大的应变, 导致热封失效。

表 3 软塑包装管尾长度不同时软塑管的应变 (结果保留小数点后 4 位)

Tab.3 Strain of flexible plastic pipe under different length of tube tail

管尾长度 L/mm	最小应变	最大应变
49	0.0164	0.1457
54	0.0197	0.1761
59	0.0112	0.0991
64	0.0260	0.2318

2.3 材料物理性质对封口强度的影响

软塑包装的热封强度与材料自身的物理性质有关, 现从材料密度、弹性模量以下两方面分析相同压力下对热封口造成的影响。重复 2.1 节的实验过程进行分析, 其中设定压强值 $p=0.18\text{ MPa}$, 得出以下结论。

1) 材料密度对软塑包装热封口强度的影响。设置 Isotropic Elasticity 中的弹性模量为 1.1 GPa, 泊松比为 0.42 固定不变, 改变密度分别为 850, 900, 950, 1000, 1050 kg/m^3 , 进行分析。结果最小和最大应变保持不变, 均分别为 0.0197 和 0.1761。可知, 材料的密度不同, 对软塑包装的应变最大值和最小值的影响不大, 在施加一定的压力下, 最大应变为 0.1761, 可以得出软塑包装的热封失效与材料的密度无关。

2) 材料弹性模量对软塑包装热封口强度的影响。宏观来说, 弹性模量是衡量物体抵抗弹性变形能力大小的尺度, 微观来说, 是原子、离子或分子之间键合强度的反映。通过改变材料的弹性模量, 观察材料热封失效的范围, 对提出改进和优化有重要的积极意义。分析情况整理见表 4。

表 4 材料弹性模量不同时软塑包装的应变 (结果保留小数点后 4 位)

Tab.4 Strain of flexible plastic package under different elastic modulus of the material

弹性模量/GPa	最小应变	最大应变
0.9	0.0241	0.2152
1	0.0217	0.1937
1.1	0.0197	0.1761
1.2	0.0181	0.1614
1.3	0.0167	0.1490

由表 4 可知, 随着弹性模量的增大, 材料的最大应变的值逐渐减小。

2.4 软塑管管身长度对封口强度的影响

保证软塑包装的总长度不变, 通过改变管身长度和管尾长度之间的关系, 找出软塑包装的管长比与应变之间的关系。实验过程中, 保证软塑管总长为 134 mm 不变, 分别改变管身尺寸为 60, 65, 75, 80 mm, 原始尺寸为 70 mm。重复 2.1 的实验过程进行分析, 其中设定的压强值 $p=0.18\text{ MPa}$, 分析情况整理见表 5。

表 5 不同软塑管管身尺寸的应变分布
Tab.5 Strain distribution under different size of soft plastic tube body

管身长度/mm	最小应变	最大应变
60	0.0113	0.0999
65	0.0090	0.0772
70	0.0197	0.1761
75	0.0100	0.0892
80	0.0082	0.0735

管身长度在 60 ~ 70 mm 之间时, 软塑管的最大应变主要集中在管尾中部, 在 70 ~ 80 mm 之间时, 最大应变主要集中在管尾底部封口处以及管尾两端。当管身尺寸为 65 ~ 70 mm 之间软塑管的最大应变最小, 在此之间应变满足热封要求。

2.5 软塑管管壁厚度对封口强度的影响

考虑软塑管管壁厚度对热封强度失效有一定的影响, 现分析管壁厚度不同与最大应变的关系。通过更改软塑管管壁厚度为 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 mm, 观察实验结果。重复 2.1 节的实验过程进行分析, 其中设定的压强值 $p=0.18\text{ MPa}$, 分析情况整理见表 6。

表 6 不同软塑管管壁厚度的应变分布
Tab.6 Strain distribution under different wall thickness of soft plastic pipe

管壁厚度/mm	最小应变	最大应变
0.3	0.0203	0.1777
0.4	0.0159	0.1383
0.5	0.0197	0.1761
0.6	0.0114	0.0997
0.7	0.0059	0.0508

当厚度为 0.3 mm 时, 最大应变主要集中在管尾底部封口处和管尾两端, 且应变过大; 当厚度为 0.6、0.7 mm 时, 最大应变主要集中在管尾中部, 且厚度为 0.7 mm 时, 应变过大, 导致热封失效。可见, 出现最大应变的位置也会影响最后的结果, 综合管壁厚度以及出现最大应变的位置得出结论, 在厚度为 0.4 ~ 0.5 mm 之间时, 软塑管的应变满足要求。

3 结 语

要想获得理想的热封(良好的强度和外观)并满足生产效率, 良好的热封是材料、结构、温度、压力、时间等多个方面共同作用的结果。随着计算机仿真技术的进步, 利用有限元方法对结构的力学性能进行分析, 不仅具有学术价值, 而且具有经济价值。一直以来, 将软塑管热封强度分析与有限元结合研究是一项很有挑战性的工作。相信不久的将来, 通过分析影响软塑管热封失效的因素, 可以达到技术创新、优化包装、节省原料、降低成本等目的。

仿真结果表明, 当管尾长度在 44 ~ 54 mm 之间, 管身尺寸在 65 ~ 70 mm 之间, 管壁厚度在 0.4 ~ 0.5 mm 之间时, 软塑管的应变满足初始条件的要求; 软塑包装的热封失效与材料的密度无关, 随着弹性模量的增大, 材料的最大应变的值逐渐减小。以上结论可以在一定程度上为软塑管制造方面提供依据。

随着软塑包装的发展, 包装材料的安全性在使用过程中的方便性等会受到越来越多的重视, 这就需要新材料、新工艺、新结构来占领新的市场, 同时更大程度上使用经济环保、能够重复利用的片材, 以及多功能性的新型包装材料, 有利于提高我国软塑包装行业的整体水平和竞争力。软塑包装行业应该大胆创新, 研制新型包装材料, 优化工艺参数, 使复合软管在未来发展得更广阔。

参考文献:

- [1] 张旭良, 刘刚连. 软塑包装热封强度影响因素研究[J]. 科技风, 2010, 18(1): 259—260.
ZHANG Xu-liang, LIU Gang-lian. Study on the Influencing Factors of the Heat Sealing Strength of Soft Plastic Packaging[J]. Wind Technology, 2010, 18(1): 259—260.
- [2] 张红普. 如何获得软塑包装材料最准确的热封性能[J]. 塑料包装, 2004, 12(2): 41—62.
ZHANG Hong-pu. How to Get the Most Accurate Soft Plastic Packaging Materials Heat Sealing Perfor-

- mance[J]. Plastic Packaging, 2004, 12(2): 41—62.
- [3] 赵漫漫, 卢立新. 有关 PET/AL/PE 复合包装薄膜热封工艺参数的研究[J]. 塑料, 2008, 22(4): 87—91.
ZHAO Man-man, LU Li-xin. Study on PET/AL/PE Composite Packaging Film Heat Sealing Parameters[J]. Plastic, 2008, 22(4): 87—91.
- [4] 宋锦平. 如何提高软包装复合袋的热封强度[J]. 大众标准化, 2003, 13(5): 48—49.
SONG Jin-ping. How to Improve the Heat Sealing Strength of Composite Flexible Packaging Bags[J]. Mass Standardization, 2003, 13(5): 48—49.
- [5] 孙中振, 邓可仪, 王赞, 等. 低物料残留软塑包装管形式研究[J]. 包装工程, 2013, 19(5): 66—69.
SUN Zhong-zhen, DENG Ke-yi, WANG Zan, et al. New Form of Soft Plastic Tube with Low Residue[J]. Packaging engineering, 2013, 19(5): 66—69.
- [6] 邓煜东. 国内软塑包装原材料的现状和发展趋势[J]. 塑料包装, 2003, 21(3): 11—14.
DENG Yu-dong. The Present Situation and Development Trend of Soft Plastic Packaging Materials in China[J]. Plastic Packaging, 2003, 21(3): 11—14.
- [7] 郑剑伟. 牙膏: 软管包装创出一片新天地[J]. 中国包装工业, 2006, 13(1): 66—67.
ZHENG Jian-wei. Toothpaste: Hose Packaging to Create a New World[J]. China Packaging Industry, 2006, 13(1): 66—67.
- [8] 徐伯康, 张晔. 聚乙烯—铝箔复合软管材料[J]. 上海包装, 1988, 12(2): 39—41.
XU Bo-kang, ZHANG Ye. Polyethylene Aluminum Foil Composite Hose Material[J]. Shanghai Packaging, 1988, 12(2): 39—41.
- [9] 俞国星, 杨莉蓉. 塑料软管在化妆品包装中的应用[J]. 印刷技术, 2010, 28(8): 25—27.
YU Guo-xing, YANG Li-rong. Application of Plastic Hose in Cosmetics Packaging[J]. Printing Technology, 2010, 28(8): 25—27.
- [10] 王建清. 包装材料学[M]. 无锡: 中国轻工业出版社, 2011.
WANG Jian-qing. Journal of Packaging Materials[M]. Wuxi: China Light Industry Press, 2011.
- [11] 潘松年. 包装工艺学第四版[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011.
PAN Song-nian. Packaging Technology (Fourth Edition)[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2011.
- [12] 卢立新. 包装机械概论[M]. 无锡: 中国轻工业出版社, 2011.
LU Li-xin. Introduction to Packaging Machinery[M]. Wuxi: China Light Industry Press, 2011.
- [13] 赵美英. 管装牙膏用复合材料[J]. 天津造纸, 1981, 21(2): 54—60.
ZHAO Mei-ying. Tubes of Toothpaste with Composite Materials[J]. Tianjin Paper Making, 1981, 21(2): 54—60.
- [14] SINGH S P, SYAL V P. Leakers as a Function of Closure Type in Gallon-size Plastic Bottles in Simulated Small Parcel[J]. Journal of Testing and Evaluation, 1996, 24(4): 241—244.
- [15] HANLON J F. Handbook of Package Engineering[J]. Technomic Publishing Co, 1992, 18(2): 122—124.