

金属罐封口头道滚轮卷封力的分析

王玉林¹, 高祥杰², 赵美宁²

(1. 西安科技大学, 西安 710054; 2. 西安工业大学, 西安 710032)

摘要: 弹药引信金属罐包装中滚轮卷封力的大小直接影响封口的安全性, 通过对金属罐卷边封口过程中头道卷边滚轮进行力学分析和公式推导, 进而分析归纳了影响卷封力大小的因素, 并通过对头道卷封力理论计算和软件分析验证了结果的一致性, 从而使卷封力影响因素更为可信, 进而为优化滚轮沟槽曲线, 保证引信包装封口的安全性, 以及深入研究各类异型罐的受力情况提供参考。

关键词: 包装封口; 头道滚轮; 卷封力; 有限元分析

中图分类号: TH123 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)17-0046-03

Analysis of the First Seaming Force for Metal Can Sealing

WANG Yu-lin¹, GAO Xiang-jie², ZHAO Mei-ning²

(1. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Roll seaming force directly affects the sealing safety in the process of ammunition fuses metal cans packaging. Based on the mechanics analysis and formula derivation of the head edge roller in the process of the metal cans crimping and sealing, the factors affecting roll sealing force were analyzed and summarized. Through the seaming force calculation and computer analysis of the head roller, consistency of the results was verified and the roll sealing force influencing factors became more credible. The purpose was to provide theoretical basis for the design and optimization of roller's groove curve, as well as the further research and calculation of deformed metal cans.

Key words: package sealing; head roller; seaming force; finite element analysis

金属圆罐的封口为二重卷边封口, 二重卷封的基本原理是: 在卷边滚轮相对罐体的旋转过程中, 滚轮给封口结合部位施加一定的压力, 使罐身与罐盖相互卷曲钩合并压紧, 得到外形光滑密封的 5 层卷边^[1]。对于封口效果有严格要求的弹药引信金属罐的封口, 其影响因素中卷封力的大小直接关系到卷封质量, 进而影响封口的安全性, 因此对卷边封口过程中的受力进行分析十分关键, 对卷封力影响因素的分析也尤为重要。合适的卷封力不仅可以防止卡罐现象, 对优化改进卷封机构及零部件也可提供参考, 如改进托罐夹紧机构, 优化凸轮、卷封滚轮沟槽曲线等^[2-4]。

们分别为轴向力 P_a , 径向力 P_n 和切向力 P_t , 见图 1。把该 3 个方向的力的合力记作 P , 则有:

$$P = \sqrt{P_a^2 + P_n^2 + P_t^2} \quad (1)$$

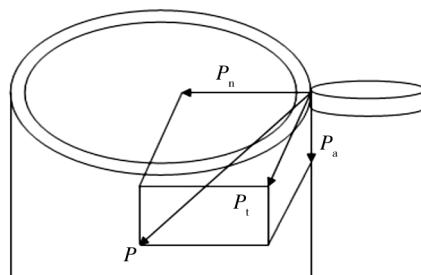


图 1 罐体受力分析

Fig. 1 Stress analysis of metal can

1 卷封受力工作原理

卷封工作的进行, 存在 3 个方向的力的作用, 它

以上力的作用分别为: 轴向力 P_a 使材料产生轴向的弯曲变形, 实现卷边时的材料的卷曲与钩合; 径

收稿日期: 2013-06-08

基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目 (09JK507)

作者简介: 王玉林 (1964-), 男, 陕西人, 西安科技大学博士生, 主要研究方向为安全工程。

向力 P_1 使罐盖与罐身的凸缘发生径向变形和向内弯曲,使卷封滚轮向罐身作径向推进; P_1 用于克服罐体周向摩擦阻力而使卷封滚轮相对罐体作圆周运动^[5]。

卷边过程伴随着材料弹性和塑性变形,力的分析也较为复杂,存在拉、压、弯曲和挤压作用,并涉及到诸多力学理论,目前卷封力的计算大多基于经验公式和薄壳的成形理论,运用主应力法、塑性材料力学和近似能量等方法。

2 头道卷封力公式推导

卷封作业时,头道卷边滚轮使金属材料发生弹塑性变形,罐盖与罐身的周边受挤压发生弯曲钩合。头道卷封力作为整个卷封过程重要的参数,头道卷封的效果直接影响二道卷封的质量,则头道卷封力的公式推导和计算具有重要意义。如图 2 为金属圆罐头道卷边过程力的分析。

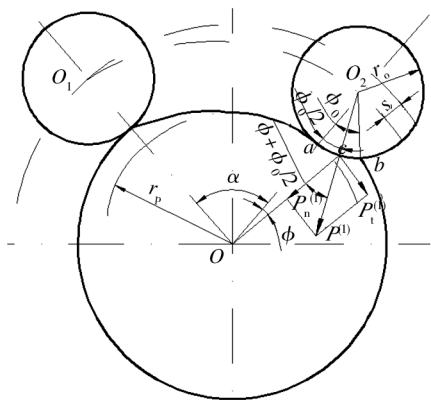


图2 头道卷封受力分析

Fig. 2 Stress analysis of head roller seaming

当图 2 中滚轮的中心从 O_1 转到 O_2 时,头道滚轮和罐体边缘作用弧线为 ab ,卷封力 $P^{(1)}$ 经头道滚轮中心 O_2 ,并作用在圆弧 ab 的 $\frac{1}{2}$ 点 c 。将 $P^{(1)}$ 分解为沿罐体切向分力 $P_t^{(1)}$ 和沿罐盖径向分力 $P_n^{(1)}$ 得:

$$\begin{aligned} P_t^{(1)} &= P^{(1)} \sin\left(\frac{\phi_0}{2} + \phi\right) \\ P_n^{(1)} &= P^{(1)} \cos\left(\frac{\phi_0}{2} + \phi\right) \end{aligned} \quad (2)$$

如果弧 ab 用 r_o 和 r_p 表示, 则有:

$$\text{弧 } ac = r_o \frac{\phi_0}{2} = r_p \phi, \text{ 故 } \phi = \frac{r_o}{r_p} \times \frac{\phi_0}{2} \quad (3)$$

由于轴向力非常小,则忽略轴向力 P_a ,将式(3)代入式(2)得:

$$\begin{aligned} P_{\text{t}}^{(1)} &= P^{(1)} \sin \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right] \\ P_{\text{n}}^{(1)} &= P^{(1)} \cos \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

令头道卷边过程中轮子中心从 O_1 转到 O_2 所对应的金属罐圆心角为 α , 对应的圆周行程为 L , 径向进给量为 S , 令该过程的进给速度为 Δs_1 , ω 为角速度, 则有:

$$\begin{aligned} L &\approx r_p \times \alpha \\ S &\approx \Delta s_1 \frac{\alpha}{\omega} \end{aligned} \quad (5)$$

令封口机功率为 N , 由此可得头道滚轮卷封过程中卷封力作的总功^[6]为:

$$A = A_1 + A_2 = P_i^{(1)} L + P_n^{(1)} S \approx P_i^{(1)} r_p \alpha + P_n^{(1)} \Delta s_1 \frac{\alpha}{\omega} = P^{(1)} \alpha \left\{ r_p \sin \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right] + \frac{\Delta s_1}{\omega} \cos \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

故二重卷封所需的头道滚轮的卷封力 $P^{(1)}$ 为:

$$P^{(1)} = \frac{A}{\alpha_{r_p} \sin \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right] + \alpha \frac{\Delta s_1}{\omega} \cos \left[\frac{\phi_0}{2} \left(1 + \frac{r_o}{r_p} \right) \right]} \quad (7)$$

其中,由经验公式^[7]知:

$$N = \frac{nGD\delta^2}{1.36}\eta \quad (8)$$

3 分析影响卷封力的因素

由推导结果可知,影响卷封力大小的因素可以归纳为:卷边封口机功率 N 、卷边滚轮相对罐体中心的径向进给速度 Δs 以及卷边滚轮对于罐体的相对角速度 ω 大小。

1) 功率 N 与卷封力的的关系。封口机功率 N 和卷封力成正比关系,并由公式(8)可知,封口机功率受如下参数的影响:经验系数 n 、生产能力 G 、金属罐的最大直径 D 、罐体材料的厚度 δ 以及机械效率 η 。对于金属圆罐经验系数通常取 0.001,其他参数 n, G, D, δ 的值可以直接确定,因此机械效率 η 的取值正比于卷封力大小。

2) 卷边滚轮径向进给速度 Δs 直接影响卷封力。当径向进给速度增大,工作效率提高,而由关系公式

可知,卷封力变小,过小的卷封力使沟合形状不合格,直接影响卷封产品的密封效果;然而当 Δs 值变小时,卷封力增加,而过小的径向进给速度使卷封工作效率大大降低。

3) 卷边滚轮对于罐体的角速度 ω 。 ω 值变大时,缩短了卷边时间,卷封力变大。如果卷边速度过快,挤压的力过大,直接关系到卷边的光滑程度,由此要得到皱纹度合格的卷封产品,应考虑卷边滚轮相对于罐体的转动角速度的大小; ω 值变小时,卷封力变小,卷边的时间延长。

4) 实际作业中,卷边滚轮、上压头和托罐盘三者之间合适的位置关系会影响到卷封力。同时,头道滚轮安装松紧度人工调节不当,会影响卷封力大小和方向,太松容易造成牙齿、铁舍、盖沟较少等问题,而太紧则容易产生快口、锐边及盖沟较多、身沟较少等缺陷。

4 头道卷封力的实验验证

下面以 BFJ2-4 型全自动弹药引信包装封口机的头道滚轮卷边封口过程为例,理论计算出头道卷封力的大小,并运用 ANSYS/LS-DYNA 软件进行有限元分析得出验证结果^[8]。

头道卷边滚轮卷封作业时,滚轮采用较低的转速,并取封口机生产能力为 5 罐/min。滚轮的转速为 $\omega = 1.86 \text{ rad/s}$,头道卷边滚轮进给速度 $\Delta s_1 = 0.7891 \text{ mm/s}$,模型取金属罐体的最大直径 $D = 110 \text{ mm}$,罐体内径 $d = 105 \text{ mm}$,所用马口铁厚度为 $\delta = 0.25 \text{ mm}$,机械效率取 $\eta = 0.3$,当金属罐的卷封角度 $\alpha = \pi$ 时,卷封时间 $t = \frac{\alpha}{\omega} = 1.689 \text{ s}$ 。

故可得封罐机所作的功:

$$A = Nt = \frac{nGD\delta^2}{1.36} \eta t = 12.807 \text{ J}$$

由卷封滚轮半径 $r_o = 20 \text{ mm}$,同时测量并计算出罐盖在该卷边时记得的平均半径 $r_p = 56.968 \text{ mm}$,又由

$$\frac{\phi_0}{2} = \arccos \frac{r^2 + r_o^2 - r_p^2}{\alpha r_o} = 12.7267^\circ, \text{ 令 } \phi' = \frac{\phi_0}{2}.$$

$$\left(1 + \frac{r_o}{r_p}\right) = 17.194^\circ$$

故可求头道卷封力 $P^{(1)}$:

$$P^{(1)} = \frac{A}{\alpha r_p \sin \phi' + \frac{\Delta s_1}{\omega} \cos \phi'} = 233.47 \text{ N}$$

运用有限元软件对卷封过程进行模拟仿真,然后通过 LS-PERPOST 软件读入文件,获得模型的受力变化图线。头道卷边滚轮卷边过程力-时间的分布情况见图 3。

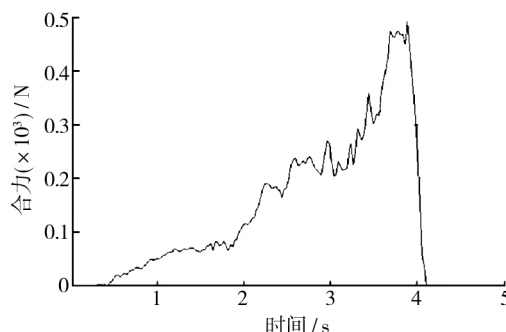


图3 头道卷边过程应力

Fig. 3 Stress of the head crimping process

在此仿真操作中,金属圆罐选用的材料属性为线弹性材料,已知屈服极限 $\sigma_s = 210 \text{ MPa}$,在头道卷封过程中,当滚轮开始挤压罐盖使其发生弹性变形。由图 3 可看出,应力 $\sigma = 193 \text{ MPa} < \sigma_s$,罐盖边缘随着头道滚轮的进给开始由弹性变形到塑性变形,直到头道卷封工作结束,继而再进行二道滚轮的卷封作业。由仿真结果,应力变化和分布曲线与理论计算结果相符合,因此该生产能力下的卷封力可得到合格的头道卷封产品^[9]。

5 结论

对于头道滚轮卷封过程力的分析,应用了能量守恒和弹塑性变形理论,并采用假设条件、近似或平均数,所以计算的值会偏低一些,实际应用中卷封力增加大约 20%。计算所得的卷封力是头道滚轮开始卷封后最初出现的峰值,头道卷边滚轮作业于罐体旋转运动一圈的过程中,卷封力是逐渐增加的。通过分析验证,使引信包装封口的安全性得到保证。

参考文献:

- [1] 高德. 包装机械设计[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
GAO De. Packaging Machinery Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [2] 赵美宁,袁艳. 弹药引信包装机械的设计研究[J]. 包装工程,2008,29(12):94-95.

(下转第 67 页)

染,消费者可以沿着体板的斜压痕线把主箱体再折成方块状,之后再套上盒盖,这样既能防止汤汁挤出,又能缩小废弃物体积。

4 结语

利用“系统性”设计思维所设计的盒装面包装在达到提高空间利用率这个主要目的,同时也综合考虑到了包装在生产、运输、装填、食品安全性、使用的方便性、包装盒体的稳定性以及包装装潢的整体性等多方面、多角度的问题,可以使生产厂家与消费者共赢,符合现代设计的理念。包装造型和新颖的包装功能可以勾起消费者的新奇感,提高包装的促销效果。空间利用率的有效提高则能大大降低厂家的运输和仓储成本,同时也为消费者的携带提供便利。该设计方案为市场应用带来直接利益的同时,也可运用于其他类似产品的包装,同时也为有同样需求的包装设计提供了一种思路。

参考文献:

[1] 冯玉廷. 可减小包装体积的方便面盒: 中国, 201120121212. 7[P]. 2011-04-15.

FENG Yu-ting. Packaging Volume Reducible Box of Instant Noodles; China, 201120121212. 7[P]. 2011-04-15.

[2] 郭涵若. 一种便携式方便面盒: 中国, 201220484985. 6

[P]. 2012-09-21.

GUO Han-ruo. A Kind of Portable Box of Instant Noodles; China, 201220484985. 6[P]. 2012-09-21.

[3] 潘莉莉. 一体化方形折叠纸式方便面盒: 中国, 200920201816. 5[P]. 2009-12-07.

PAN Li-li. Integrated Square Foldable Box of Instant Noodles; China, 200920201816. 5[P]. 2009-12-07.

[4] 周岚. 可预先压缩高度的包装盒: 中国, 200920074503. 8[P]. 2009-09-16.

ZHOU Gui. Height-compressible Box; China, 200920074503. 8[P]. 2009-09-16.

[5] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京: 轻工业出版社, 2003.

SUN Cheng. Package Structure Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.

[6] 郁新颜. 基于系统工程原理的产品包装设计[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 168-170.

YU Xin-yan. Study on Packaging Design Using System Engineering Theory[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 168-170.

[7] 吴龙奇. 产品包装系统设计与实施[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008.

WU Long-qi. Design and Implementation of Products Packaging System[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.

[8] 郁新颜. 食品包装的卫生安全分析[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 43-46.

YU Xin-yan. Analysis of Food Packagings' Hygienic Safety[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 43-46.

(上接第 48 页)

ZHAO Mei-ning, YUAN Yan. Design of Packaging Machinery for Ammunition Fus[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 94-95.

[3] 宋宝丰. 金属包装容器微型卷边技术[J]. 中国包装工业, 2003(6): 31-33.

SONG Bao-feng. Micro-kurling Technology of Metal Packaging[J]. China Packaging Industry, 2003(6): 31-33.

[4] 肖冰, 黄晓霞, 彭天秀. 国外弹药包装的现状与发展趋势研究[J]. 包装工程, 2005, 26(5): 220.

XIAO Bing, HUANG Xiao-xia, PENG Tian-xiu. Overseas Ammunition Packing Present Situation and Trend of Development Research[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(5): 220.

[5] 许宪维. 卷边封罐过程的受力分析与计算[J]. 湘潭大学自然科学学报, 1995, 1(17): 112-113.

XU Xian-wei. Mechanical Analysis and Calculation of Processes of Crimping and Seaming[J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 1995, 1(17): 112-113.

[6] 杨桂通. 弹塑性力学引论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 218-240.

YANG Gui-tong. Plastic Mechanics Introduction[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 218-240.

[7] 许学勤. 食品工厂机械与设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.

XU Xue-qin. Food Factory Machinery and Equipment[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.

[8] 张朝晖. ANSYS11.0 有限元分析理论与工程应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.

ZHANG Chao-hui. Finite Element Analysis Theory and Engineering Applications of ANSYS11.0[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008.

[9] 白金泽. LS-DYNA3D 理论基础与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 2-15.

BAI Jin-ze. Basic Theory of LS-DYNA3D and Case Study[M]. Beijing: Science Press, 2005: 2-15.