

文章编号:1006-3080(2013)02-0235-04

## 涂镀机组中胶辊力学状况的有限元仿真分析

黄心<sup>1</sup>, 穆海玲<sup>2</sup>, 潘红良<sup>1</sup>

(1. 华东理工大学机械与动力工程学院, 上海 200237;

2. 上海梅山钢铁股份有限公司技术中心, 南京 210039)

**摘要:**通过有限元方法对涂镀机组中胶辊的受力状况进行了分析,讨论了带钢接触包角、包胶层厚度及带钢张紧力对胶辊上应力的影响,并根据计算结果拟合出胶辊最大接触应力模型。研究结果表明:胶辊所受应力的最大值总是处于胶辊即将与带钢接触的位置;接触包角对胶辊最大应力值影响很小。最大应力值与接触包角成指数关系、随包胶层厚度线性增长并与张紧力成正比。

**关键词:**带钢; 胶辊; 有限元模型; Von-mises 应力模型

中图分类号:TQ336.5

文献标志码:A

## FEM Simulation Analysis of Stress on Rubber Roller of Coating Line

HUANG Xin<sup>1</sup>, MU Hai-ling<sup>2</sup>, PAN Hong-liang<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical and Power Engineering, East China University of  
Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Shanghai Meishan Steel Co. Ltd Technology Center, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** Stress distribution of strip steel coating line roller was analyzed by finite element model (FEM). Effect of strip wrapping angle, rubber layer thickness and strip tension on stress distribution of roller were discussed respectively, and fitting model of maximum Von-mises stress on roller was developed. The computational results indicate that the maximum stress always appears where the rubber roller is to contact the strip steel and the magnitude of wrapping angles has no effect on stress value. Maximum stress on roller is in exponential relationship with wrapping angle, increases with the thickness of rubber layer and is proportional to strip tension.

**Key words:** strip steel; rubber roller; FEM; Von-mises stress model

涂镀产品是重要的基础工业品,如镀锡、镀铬薄板大量用于各类包装材料,镀锌薄板大量用于建筑、家电、包装等行业。涂镀机组在生产这些产品的过程中需要用到大量的胶辊。胶辊是涂镀机组中的一种重要的传输部件,根据其在机组中的功能及所承受的载荷的差异,可分为张力辊、转向辊、纠偏辊、托辊、挤干辊等,且各类胶辊在涂镀机组中与带钢的接触都不尽相同。胶辊的结构大多由钢芯及包胶层组

成,包胶层包覆在圆柱体钢芯上。由于带钢表面质量粗糙、运行速度较高等极端工况因素的影响,胶辊的包胶层橡胶在与带钢接触时不断受到摩擦,出现磨损、疲劳开裂、甚至出现与钢芯脱胶等形式的失效,对连续性生产和产品质量造成严重影响<sup>[1-2]</sup>。但目前国内外有关带钢传输胶辊的文献都仅对胶辊包胶层橡胶的宏观磨损及开裂做了机理分析,并未对包胶层内部的受力情况进行过研究<sup>[2-3]</sup>。胶辊包胶

层的应力大小及应力分布情况很大程度上决定了胶辊的使用性能,因此对其力学状况进行研究对胶辊的设计具有重要的工程应用意义。

在众多包胶材料中,丁腈橡胶具有较好的耐磨性、耐热性、耐蚀性和经济性,应用最为广泛<sup>[4]</sup>。本文以丁腈橡胶辊为研究对象,采用有限元方法分析了胶辊包胶层厚度、接触包角尺寸以及带钢张紧力对胶辊接触应力的影响,研究这些参数对胶辊包胶层上的应力分布的影响以及条件的改变与应力值大小之间的关系,并根据有限元结果拟合出最大接触应力计算模型,为胶辊的工程应用提供了简便的计算工具。

## 1 有限元建模及计算

### 1.1 有限元模型的建立

胶辊模型如图1所示。在带钢的两端施加带钢传输过程中的张紧力,钢芯的轴心处固定。胶辊结构对称,作用于带钢上的张紧力均匀分布。胶辊与带钢接触的几何计算参数如表1所示。

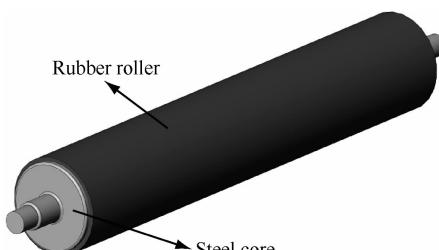


图1 带钢传输胶辊

Fig. 1 Rubber roller

表1 胶辊与带钢接触模型的计算参数

Table 1 Parameters in contact model of rubber roller and stripe steel

Stripe steel thickness/mm	Rubber roller diameter/mm	Wrapping angle/(°)	Rubber thickness/mm	Stripe steel tension/MPa
0.23	350	10~180	10~30	10~60

### 1.2 材料参数的确定

橡胶是一种非线性近似不可压缩的材料,工程分析中常采用Mooney-Rivlin本构模型对材料进行定义<sup>[5]</sup>

$$W = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (1)$$

其中W为应变能,  $I_1$ 、 $I_2$ 为变形张量,  $C_1$ 、 $C_2$ 为Mooney常数,需要由单轴拉伸实验确定。

对于不可压缩的橡胶材料,即泊松比 $\mu=0.5$ ,

在小应变时,杨氏模量E、剪切模量G和材料系数之间有如下关系:

$$E = 3G = 6(C_1 + C_2)^{[6-7]}$$

而弹性模量可以通过已知硬度求得:

$$\lg E = 0.0184H_r - 0.457 \quad (2)$$

其中,  $H_r$ 为国际硬度单位IRHD。根据现有的经验法,可知:  $C_1 = \frac{2}{15}E$ ,  $C_2 = \frac{1}{30}E^{[8]}$ 。

本文在有限元仿真分析过程中选用丁腈橡胶的力学指标作为计算参数,常用的丁腈橡胶材料NBR的硬度为70,经过计算可以得到其杨氏模量为6.78 MPa,  $C_1 = 0.904$ ,  $C_2 = 0.226$ 。

### 1.3 单元类型设置及接触对建立

借助ANSYS12.0对有限元模型进行求解,钢芯、包胶层及带钢选用Plane182四边形平面单元,接触副采用Contact172单元和Target169单元定义,定义摩擦系数为0.6。ANSYS使用一些实常数来控制面与面的接触,实常数设置如下,法向接触刚度因子FKN=0、允许穿透系数FTOLN=0.005、初始闭合因子ICONT=0、初始穿透的容许值PMIN、PMAX=0。

### 1.4 载荷及边界条件

有限元模型如图2所示。钢芯添加约束,带钢张紧力换算为x方向和y方向的力施加于带钢两端,并施加一定的逆时针旋转角度。

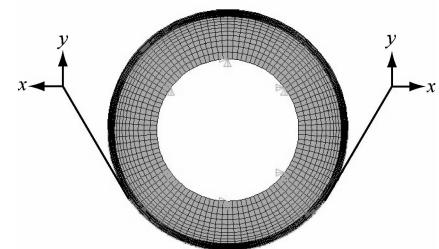


图2 胶辊与带钢的有限元模型

Fig. 2 Finite element model of rubber roller and stripe steel

## 2 结果分析及讨论

### 2.1 胶辊接触应力分布

由于各种工况下的有限元计算结果具有相似性,为避免重复,仅取其中一种工况的结果。图3为当带钢与胶辊的接触包角为140°、包胶层厚度为15 mm、张紧力为30 MPa时胶辊的应力分布情况。

由有限元计算结果分析得到,在不同工况下,胶辊所受最大Von-mises应力总是出现在胶辊即将与带钢接触的位置。原因在于带钢与胶辊的接触状态

发生了变化,胶辊逐渐被带钢包覆,导致受载的包胶层在相切点受到带钢挤压,出现应力增大的现象。

图4给出了以包胶层与带钢接触一侧的下半周为路径所显示的Von-mises应力分布曲线。由图可以看出,Von-mises应力分布具有不对称性,但峰值的位置与包角值相对应。

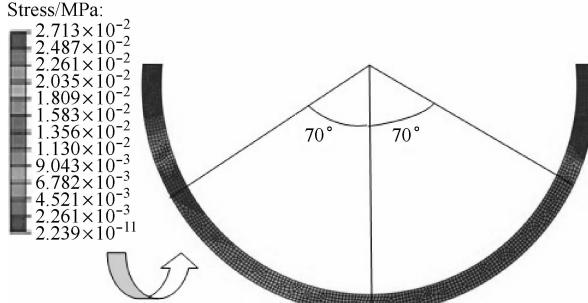


图3 胶辊的 Von-mises 应力云图

Fig. 3 Von-mises stress on rubber roller

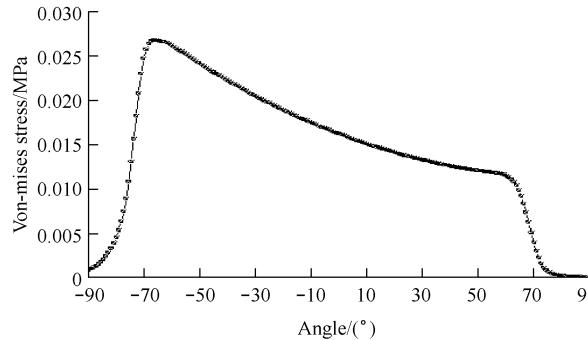


图4 包胶层 Von-mises 应力分布

Fig. 4 Von-mises stress distribution on rubber roller

## 2.2 包角对最大 Von-mises 接触应力的影响

图5显示了包胶层厚15 mm、带钢张紧力30 MPa时,胶辊上最大Von-mises应力值随包角尺寸变化的有限元计算曲线和拟合曲线。

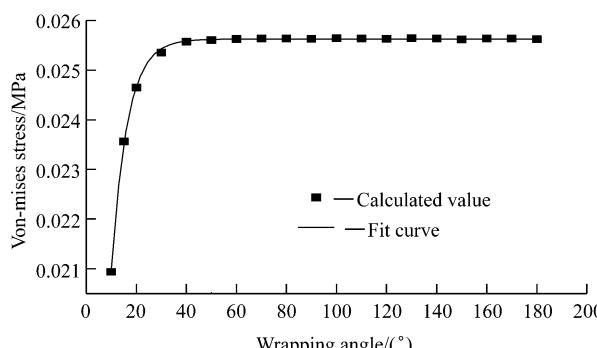


图5 不同包角产生的最大 Von-mises 应力结果

Fig. 5 Maximum Von-mises stress value on rubber roller under different wrapping angle

从曲线可以看出,当包角为10°~40°时,最大

Von-mises应力对应为0.020 9~0.025 6 MPa,近似呈线性变化;当包角为40°~180°时,最大Von-mises应力几乎不受包角影响。根据数据拟合曲线可以看出,包角与最大Von-mises应力成指数关系。

## 2.3 包胶层的厚度对最大 Von-mises 接触应力的影响

图6显示了当包角为120°、带钢张紧力为30 MPa时,胶辊上最大Von-mises应力值随包胶层厚度变化的曲线。

从图6可以得出,最大应力值与包胶层厚度几乎成线性关系。当包胶层厚度从10 mm增大到30 mm时,应力由0.024 1 MPa增大为0.029 6 MPa。

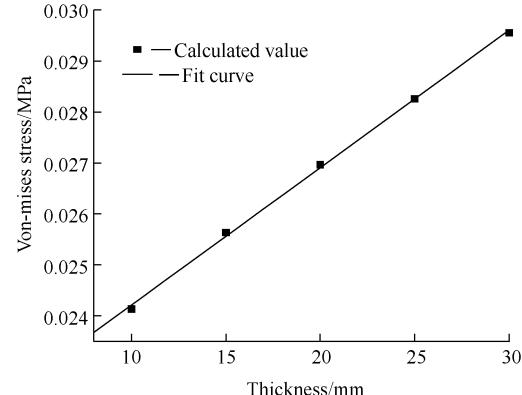


图6 不同包胶层厚度产生的最大 Von-mises 应力

Fig. 6 Maximum Von-mises stress on rubber roller under different rubber thickness

## 2.4 张紧力对最大 Von-mises 接触应力的影响

图7显示了当包角为120°,包胶层厚度为15 mm时,胶辊上最大Von-mises应力值随带钢张紧力变化的曲线。

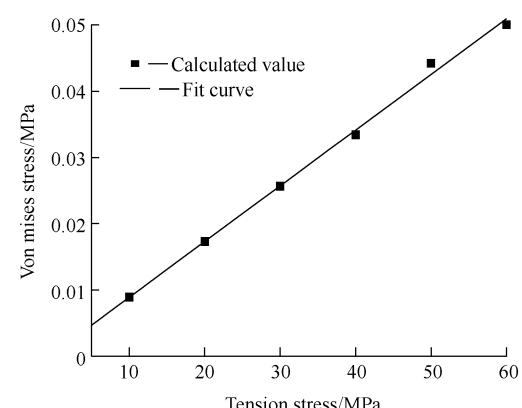


图7 不同带钢张紧力产生的最大 Von-mises 应力

Fig. 7 Maximum Von-mises stress on rubber roller under different tension stress

从图7可以得出,胶辊所受最大应力值与带钢张紧力成正比关系。在张紧力从10 MPa变化到60

MPa 的过程中, 应力由 0.008 9 MPa 增大到 0.050 0 MPa。

### 3 最大 Von-mises 接触应力拟合模型

由图 5 可以看出, 最大 Von-mises 应力  $\sigma_{\max}$  与接触包角  $\theta$  近似呈指数函数关系:

$$\sigma_{\max} = A_1 \exp(\theta/t_1) + y_0 \quad (3)$$

通过数据分析软件拟合, 得出拟合参数  $A_1 = 0.022\ 92, t_1 = -6.29, y_0 = -0.025\ 63$ 。

由图 6 可以得到, 最大 Von-mises 应力  $\sigma_{\max}$  与包胶层厚度  $h$  近似呈线性函数关系:

$$\sigma_{\max} = 0.021\ 52 + 2.695\ 6 \times 10^{-4} h \quad (4)$$

由图 7 可以得到, 最大 Von-mises 应力  $\sigma_{\max}$  与带钢张紧力  $P$  呈正比关系:

$$\sigma_{\max} = -8.405\ 17 \times 10^{-4} P \quad (5)$$

将所有计算值拟合成曲线后, 可以分别得到应力及各个影响因素的关系, 建立以下形式的表达式:

$$\sigma_{\max} = -8.405\ 17 \times 10^{-4} P (0.021\ 52 + 2.695\ 6 \times 10^{-4} h) \times [0.022\ 92 \exp(-\theta/6.29) - 0.025\ 63] \quad (6)$$

此表达式可用于预测以不同包胶层厚度的胶辊在不同包角、不同载荷下所承受的最大应力值。

### 4 结 论

本文建立了胶辊在带钢传递过程中的有限元力学分析模型, 对胶辊的受力进行整体有限元力学分析, 经过计算及分析后得到以下结论:

(1) 胶辊所受应力的最大值总是处于带钢进入

与胶辊接触的位置。

(2) 当胶辊和带钢接触包角小于 40°时, 最大应力值随包角的增大而增大; 当包角大于 40°时, 包角大小对最大应力值几乎没有影响。

(3) 最大接触应力随包胶层厚度的增加而呈线性增长、与张紧力成正比。这是因为增加包胶层橡胶的厚度可能影响胶层内的应力集中程度, 并可能导致包胶层内的应力分布不均。

### 参 考 文 献:

- [1] Saintier N, Cailletaud G, Piques R. Crack initiation and propagation under multiaxial fatigue in a natural rubber[J]. International Journal of Fatigue, 2006, **28**(1): 61-72.
- [2] Xia Zhigang, Wang Xin, Huang Juan, et al. A study of influence of the delivery rubber roller on yarn properties[J]. Textile Research Journal, 2011, **81**(14): 1477-1483.
- [3] Adachi K, Kato K, Shibuya H. Evaluation of handling property of the rubber roller for flexible media handling[J]. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 2003, **69**(3): 448-452.
- [4] Wang Qiqing, Wu Youping. Preparation, structure, and properties of a novel rectorite/nitrile butadiene rubber (NBR) nanocomposites[J]. Polymer Journal, 2005, **37**(3): 154-161.
- [5] 于立彪, 郑慕侨, 张英. 负重轮多体接触问题有限元分析[J]. 北京理工大学学报, 2002, **22**(5): 573-575.
- [6] 王伟, 邓涛. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型中材料常数的确定[J]. 特种橡胶制品, 2004, **25**(4): 8-10.
- [7] 左亮, 肖维雄. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型材料系数的一种确定方法[J]. 机械制造, 2008, **46**(7): 38-40.
- [8] 王丹, 张彦廷. 橡胶模型参数的确定及对有限元计算的影响[J]. 现代橡胶技术, 2011, **37**(5): 26-28.

欢迎订阅

《华东理工大学学报(自然科学版)》

地址: 上海市梅陇路 130 号 436 信箱 邮编: 200237

邮发代号: 4-382