

文章编号:1007-6735(2013)06-0603-04

平整机牌坊有限元分析

关瑞臣, 李郝林

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

摘要: 借助有限元分析软件 Ansys 对平整机牌坊进行弹塑性力学结构分析, 得出了在平整过程中牌坊的变形情况与载荷分布等分析结果. 通过工程力学的方法对平整机牌坊进行理论计算, 并与 Ansys 分析结果进行比较与分析, 完成了牌坊的优化设计.

关键词: 平整机; 牌坊; 载荷; 有限元分析

中图分类号: TG 333 **文献标志码:** A

Finite Element Analysis on Skin Pass Mill Housing

GUAN Rui-chen, LI Hao-lin

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

Abstract: The elastic structure analysis on a skin pass mill housing was carried out by means of finite element analysis software Ansys and the details about the deformation and load distribution during leveling process were obtained. The housing was analysed theoretically at the same time according to the theory of engineering mechanics and the results were compared with those by Ansys in order to complete the optimization design of the skin pass mill housing.

Key words: skin pass mill; housing; load; finite element analysis

牌坊作为平整机的主要承载零件, 承载着平整机所有零件的重力以及平整压力, 其尺寸和质量也都是最大的. 在平整过程中, 带钢作用在轧辊上产生垂直方向的压力和水平方向的张力以及轧辊平衡装置的作用力等都将由牌坊直接承受, 牌坊直接影响着带钢的平整精度, 因此, 为了保证正常的轧制, 牌坊任意位置的应力应小于屈服极限, 即满足强度要求; 牌坊的应变应控制在合理的范围内, 即满足刚度要求^[1].

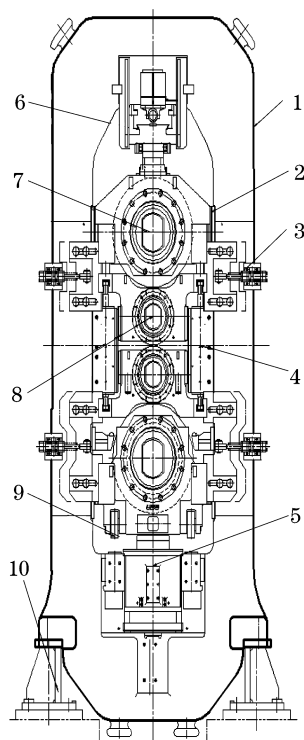
1 平整机简介

平整机的主要作用: a. 使带钢具有一定的机械性能; b. 消除带钢的屈服平台; c. 改善带钢的板型; d. 生产不同表面粗糙度的带钢^[2]. 平整机的结构如图 1 所示 (见下页). 平整机主要有由牌坊、支承辊系、工作辊系、换辊装置及压下装置等机构组成.

收稿日期: 2013-01-13

第一作者: 关瑞臣(1988-), 男, 硕士研究生. 研究方向: 机械工程. E-mail: guanruichen@163.com

通讯作者: 李郝林(1961-), 男, 教授. 研究方向: 精密测试技术、精密加工工艺. E-mail: haolin@usst.edu.cn



1.牌坊 2.上支承辊衬板 3.支承辊轴承座锁紧装置
4.工作辊弯辊装置 5.压下装置 6.轧线调整装置
7.上支承辊 8.工作辊 9.支承辊换辊轨道 10.底板

图1 平整机整体结构图

Fig.1 Structure of skin pass mill

某钢厂平整机基本参数:最大穿带速度为 30 m/min,平整速度为 160 m/min,带钢厚度为 0.2~1.2 mm,带钢宽度为 800~1 250 mm,工作辊 $\phi 390/\phi 440$,支承辊 $\phi 710/\phi 760$,平整压力为 4 000 kN.

2 牌坊力学结构分析

2.1 建立三维模型

利用有限元方法对机械部件进行力学分析的前提是要建立一个与零件实体相当的 1:1 的三维模型.由于牌坊实际结构较为复杂,在建立三维模型过程中应当进行合理的简化.在本平整机牌坊设计过程中,采用三维软件 SolidWorks 建模,牌坊材料为 ZG270-500,弹性模量 $E = 2.06 \times 10^{11}$ Pa,泊松比 $\gamma = 0.3$.

2.2 牌坊的有限元分析

a. 牌坊模型的输入.将平整机牌坊的三维模型导入到 Ansys 软件中.因牌坊结构较复杂,为了简化 Ansys 分析计算的工作量,应当合理地省略一些对

分析无影响的结构,如倒圆、倒角等^[2].通过 SolidWorks 软件将其另存为 .x_t 格式的文件.

b. 网格划分.为了确保 Ansys 分析结果的正确性,在进行划分网格时应当保证牌坊模型与实际结构尽可能相同,牌坊的几何尺寸与实际尺寸应相同;应力幅度变化较大的地方或容易发生应力集中的部位如几何尺寸突变处、拐角处等应当对网格进行加密,即采用更小尺寸的单元格.为了更好地揭示牌坊的应力分布和变形程度,在进行网格划分时采用 solid45 单元,使用自由网格对牌坊进行划分,自动实现对孔及拐角连接处等边界网格的加密,如图 2 所示.也可以根据需要控制单元格的尺寸^[3].

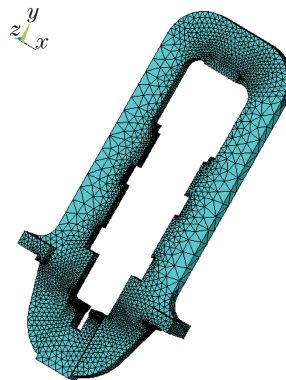


图2 划分网格后的模型

Fig.2 Gridded model of housing

c. 约束条件.根据牌坊实际结构形式和平整机现场的安装情况以及在轧制过程中的实际受力情况,选取地脚螺栓处的基础面为刚性约束^[4],牌坊中心面处的水平方向位移为 0.

d. 载荷施加.在正常轧制过程中,牌坊的受力较为复杂,包括制止力、惯性力、附加力及冲击力等,其它力与轧制力相比较,数值都很小,因此,在计算过程中往往可以忽略其它力对牌坊造成的影响,故只取轧制力为外载荷.该平整机的轧制力为 4 000 kN,每片牌坊需要承载的轧制力为 2 000 kN,牌坊上窗口的受力面积为 0.182 m²,下窗口的受力面积为 0.209 m²,分别承载的压力为 11.02 MPa 和 9.57 MPa.载荷分布情况如图 3 所示.

2.3 有限元计算结果与分析

通过有限元方法可求得在轧制过程中牌坊各个部位等效应力的分布情况及其大小,由图 4 可见,牌坊立柱外侧的等效应力沿 Y 轴正向逐渐减小,而立柱内侧的等效应力沿 Y 轴正向逐渐增大,并且牌坊的外侧应力要小于内侧应力.立柱与横梁的拐角处应力集中较严重,其中,立柱与下横梁连接处应力值

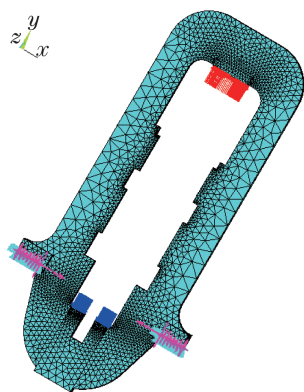


图 3 牌坊约束及加载情况

Fig.3 The constrained and loaded condition of housing

最大,为 76.8 MPa. 虽然此位置处于安全状态,但仍是危险点.

在平整过程中,牌坊在垂直方向(Y 轴)的变形将导致工作辊的轴心线发生偏移,导致辊缝加大,影响轧制的精度;牌坊在水平方向的变形,表现为立柱向内侧弯曲,使立柱内侧与轴承座之间的配合间隙减少. 在正常情况下,此间隙应大于牌坊在水平方向的变形量,否则将会影响轴承座的正常移动.

牌坊的变形情况用其位移量分布图来表述,图 5 为牌坊 X 方向的变形图. 牌坊在水平方向的最大变形出现在左右立柱的偏上方,其中,左右立柱的最大变形量约为 0.122 mm,则水平方向总变形量

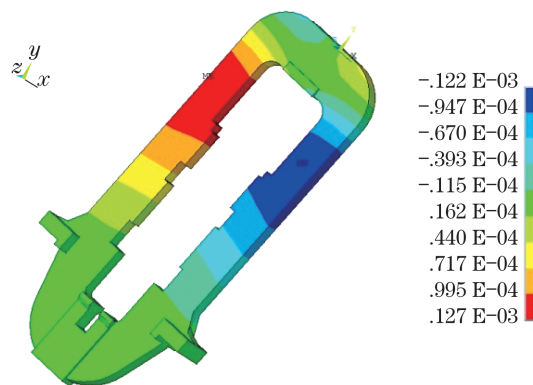


图 5 牌坊 X 方向变形图

Fig.5 X-deforming diagram of housing

移后,轴承座仍然可以沿着窗口自由地移动,满足平整机的使用要求.

牌坊在垂直方向(Y 轴)的最大变形出现在上下梁,如图 6 所示,上梁变形最大,变形量最大值约为 0.309 mm,下梁的最大变形量约为 0.084 mm,牌坊在垂直方向总变形量的最大值约为 0.393 mm. 牌坊在垂直方向的变形使牌坊窗口在高度方向增大,轧制时会使工作辊之间的缝隙发生变化,影响板形厚差. 本平整机的压上缸采用的是液压自动控制系统(AGC),可以对辊缝进行自动调节^[5],因此,牌坊在垂直方向的变形不会对平整产品的质量造成影响.

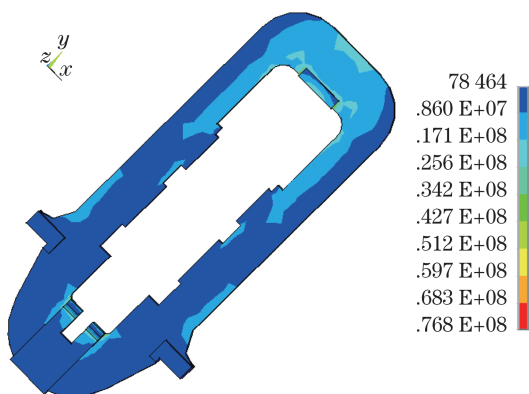


图 4 牌坊等效应力图

Fig.4 Equivalent stress diagram of housing

的最大值约为 0.244 mm.

根据牌坊、衬板和支承辊轴承座的装配图可知,牌坊窗口加滑板后的尺寸为 $1\,070^{+0.805}_{-0.600}$ mm,支承辊轴承座的宽度为 $1\,070^{0}_{-0.11}$ mm. 通过计算可知,牌坊窗口加衬板后与支承辊轴承座宽度方向的最小间隙为 0.6 mm,大于牌坊在水平方向的最大变形量 0.244 mm,因此,牌坊受力并产生 X 方向的位

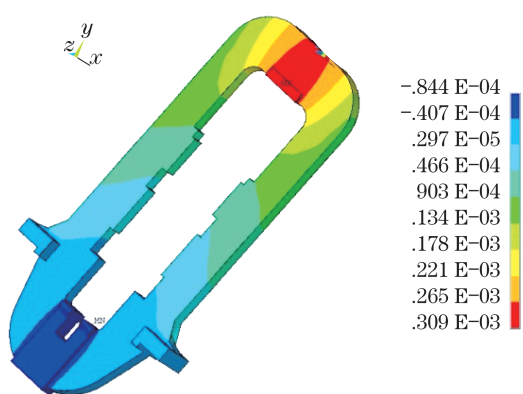


图 6 牌坊 Y 方向变形图

Fig.6 Y-deforming diagram of housing

3 材料力学计算

牌坊强度采用工程力学的方法计算,选取较大的安全系数,以保证牌坊强度. 采用文献[6]中轧钢机械的卡氏定理算法进行计算,以验证 Ansys 分析的正确性.

3.1 牌坊的应力计算

牌坊横梁内侧应力

$$\sigma_{n1} = -\frac{M_1}{W_{n1}} = -66.5 \text{ MPa}$$

牌坊横梁外侧应力

$$\sigma_{a1} = -\frac{M_1}{W_{a1}} = 35 \text{ MPa}$$

牌坊立柱内侧应力

$$\sigma_{n2} = \frac{R}{2F_2} + \frac{M_2}{W_{n2}} = 12.1 \text{ MPa}$$

牌坊立柱外侧应力

$$\sigma_{a2} = \frac{R}{2F_2} - \frac{M_2}{W_{a2}} = 7 \text{ MPa}$$

式中, M_1, M_2 分别为牌坊横梁的力矩和立柱的弯矩; W_{n1}, W_{a1} 分别为牌坊横梁内侧和外侧的断面系数; W_{n2}, W_{a2} 分别为牌坊立柱内侧和外侧的断面系数; F_1, F_2 分别为牌坊横梁和立柱的断面积; R 为作用于牌坊上的垂直力, 为轧制力的一半。

3.2 牌坊的变形计算

牌坊的弹性变形是由横梁的弯曲变形和立柱的拉伸变形组成的, 由于横梁的断面尺寸较横梁的长度来说是较大的, 在计算横梁的弯曲变形 f 时, 应考虑横向切力的影响, 即

$$f = f_1 + f_2 + f_3$$

由弯矩产生的横梁的弯曲变形

$$f_1 = \frac{L_1^2}{2EI_1} \left(\frac{RL_1}{24} - \frac{M_2}{4} \right) = 0.026 \text{ mm}$$

由剪切力产生的横梁的弯曲变形

$$f_2 = K \frac{RL_1}{2GF_1} = 0.135 \text{ mm}$$

由拉力产生的立柱拉伸变形

$$f_3 = \frac{RL_2}{2GF_2} = 0.203 \text{ mm}$$

式中, L_1, L_2 分别为牌坊横梁和立柱的中性线长度;

I_1 为牌坊横梁的惯性矩; K 为横梁断面系数的形状系数, 对于矩形断面, 系数 $K = 1.2$; E, G 分别为牌坊材料的弹性模量和剪切弹性模量。

牌坊的弹性变形为

$$f = f_1 + f_2 + f_3 = 0.364 \text{ mm}$$

由此可见, 通过材料力学的方法计算出来的应力值、变形量与 Ansys 软件分析的结果基本一致。

4 结束语

利用 SolidWorks 软件建立了平整机牌坊的实体模型, 利用 Ansys 软件建立了牌坊的有限元模型, 对牌坊在正常轧制情况下的应力和应变进行了分析, 获取了在平整过程中的牌坊变形、位移及应力分布等数据, 由此不仅找到了牌坊结构的薄弱环节, 还为以后的进一步优化设计提供了更可靠的科学依据。并通过材料力学计算, 与 Ansys 分析的数据进行对比, 使结果更加真实可靠。同时利用 Ansys 软件可以方便地优化零件的结构形式, 改善其应力分布, 从而提高了零件的安全系数, 具有很强的实用性。

参考文献:

- [1] 查德根, 郭守春, 汪顺兴. 卧式钢卷吊具钳腿的有限元分析[J]. 起重运输机械, 2005(8): 48-50.
- [2] 苏文献, 马嫔情, 刘海刚. 复杂载荷作用下带夹套管箱的静强度和疲劳强度分析[J]. 上海理工大学学报, 2012, 34(4): 404-408.
- [3] 丁文红. 平整机的板形改善机制及其应用[J]. 轧钢, 2012, 29(1): 26-28.
- [4] 孙建召, 刘德华. 1 150 mm 六辊可逆冷轧机架有限元分析[J]. 中国重型装备, 2012(4): 11-12.
- [5] 李雷. 1500 平整机轧制力系统建模与控制研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
- [6] 邹家祥. 轧钢机械[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.

(编辑: 石 瑛)