

文章编号: 1005-0523(2005)04-0137-03

轴类零件自动压力校直压下量计算方法研究

陈 慧

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:提出一种用于轴类零件自动压力校直压下量计算的方法,编制了相应的 MATLAB 计算程序.通过对某实例的程序计算结果与 ANSYS 有限元分析结果的比较,表明该校直压下量计算方法具有很高的精度.

关键词:自动压力校直;校直压下量;有限元分析

中图分类号: TH123.1

文献标识码: A

1 自动压力校直机的基本工作过程

自动压力校直是对一批经历了相同加工过程的同种工件进行集中校直,通常工件初始挠度不超过 0.5 mm,校后要求挠度小于 0.05 mm.

目前只有少数发达国家开发出了自动压力校直机产品^[1].以日本东 ASP 系列自动精校机为例,其基本工作过程为:输入被校工件的材料、几何特性参数;系统自动检测工件的弯曲变形,根据检测信息调整工件压点和两支承位置;运行存储在系统中的程序对输入和检测信息进行运算,运算的结果向控制系统发出指令,控制主驱动油缸中滑块运行的行程即压点的压下量,完成第一次校直;然后进行二次检测、信息处理、并再次校直,如此循环下去直至工件达到要求的精度为止.

由上述过程可知,当压点和支点位置确定后自动压力校直工艺的关键问题是确定校直压下量的大小.

本文从校直过程零件的弯曲力学特性分析入手建立一种适合于自动压力校直工艺要求的压下量计算方法.

2 校直过程零件弹塑性弯曲的力学特性

以常用的大韧性中低强度金属为研究对象,作如下假设:①材料是连续、均匀和各向同性的;②变形过程工件横截面保持为平面;③卸载过程满足简单卸载定律.

分析校直过程力 F 与梁中点挠度 δ 之间的关系^[2]:加载的前一阶段 F 从零增至弹性极限荷载 F_t ,梁的变形为弹性变形, F 与 δ 之间呈线性弹性关系;加载的后一阶段 F 从 F_t 增至校直过程最大荷载 F_m ,此过程中梁在中截面附近处的上下表面进入塑性变形,其它部分仍为弹性变形, F 与 δ 之间不再是线性关系; F 达到 F_m 时开始卸载,设卸载满足简单卸载定律,则此过程 F 与 δ 之间为线性关系.

参看图 1,梁中点位置变化 $a \rightarrow b \rightarrow c$,若卸载后 c 点与 o 点重合则工件被校直,此时残留挠度 δ_c 应与初始挠度 δ_0 相等,有

$$\delta_0 = \delta_c = \delta_\Sigma - \delta_f \quad (1)$$

其中卸载回弹挠度可根据材料力学弹性挠度公式计算,有

$$\delta_f = l^3 F / (6EI) \quad (2)$$

收稿日期: 2004-09-02

作者简介: 陈 慧(1974-),女,江西上高人,讲师.

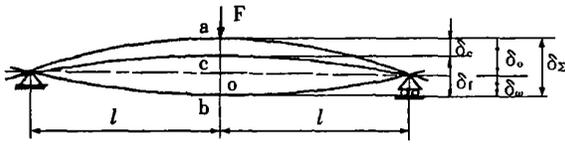


图1 压力校直过程梁弯曲变形情况示意

δ_0 — 初始挠度; δ_Σ — 总压下挠度; δ_w — 反弯挠度;
 δ_f — 卸载回弹挠度; δ_c — 塑性残留挠度.

校直压下量即图1中总压下挠度 δ_Σ , 有

$$\delta_\Sigma = \delta_0 + \delta_w \quad (3)$$

式中反弯挠度 δ_w 可由图2挠曲线积分求得.

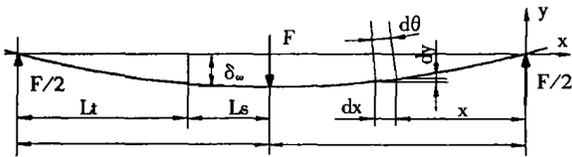


图2 简支梁塑性弯曲挠曲线示意

l_s — 塑性弯曲区长度; l_t — 弹性弯曲区长度

$$\delta_w = \int_0^{\delta} dy = \int_0^1 x C_{wx} dx = \int_0^1 x C_{\Sigma x} dx$$

$$- \int_0^1 C_{\alpha x} dx = Fl^3/(6EI) + \int_{l_t}^1 C_t \bar{C}_{\Sigma x} dx - \delta_0 \quad (4)$$

其中: E — 弹性模量; I — 工件截面惯性矩; F — 集中力荷载, $F_t < F < F_s$; l — F 用点至支点的距离;
 δ_t — 材料的屈服极限; $C_t = 2\sigma_t/(EH)$ 为弹性极限曲率, C_{wx} 、 $C_{\Sigma x}$ 、 $C_{\alpha x}$ 分别表示 x 坐标处的总弯曲率、反弯曲率和初始曲率. $\bar{C}_{\Sigma x} = C_{\Sigma x}/C_t$ 为总弯曲率比.

将上式代入式(3), 得总压下挠度的计算式:

$$\delta_\Sigma = Fl^3/(6EI) + C_t \int_{l_t}^1 \bar{C}_{\Sigma x} dx \quad (5)$$

其中 $F_t < F < F_s$, 下面讨论积分 $\int_{l_t}^1 \bar{C}_{\Sigma x} dx$ 的求解:

1) 参看图3弯矩可由横截面上应力积分求得:

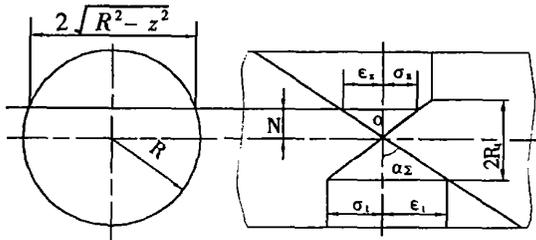


图3 轴类零件弹塑性弯曲应力应变图

R — 截面半径; $2R_t$ — 弹性变形区厚度; ϵ_t — 弹性极限应变; δ_z 、 ϵ_z — 距中性层任意厚度 z 处的应力和应变; α_Σ — 总弯曲率角, $\alpha_\Sigma = \arctan C_{\Sigma}$.

$$M = 4 \int_0^{R_t} z \sigma_z \sqrt{R^2 - z^2} dz + 4 \int_{R_t}^R z \sigma_t \sqrt{R^2 - z^2} dz$$

$$= R^3 \alpha_t \left[\left(\frac{5}{6} - \frac{R_t^2}{3R^2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{R_t}{R} \right)^2} + \frac{R}{2R_t} \arcsin \left(\frac{R_t}{R} \right) \right] \quad (6)$$

定义 M_t 、 M_s 分别为截面弹性极限弯矩和塑性极限弯矩, 将 $R_t = R$ 、 $R_t \Rightarrow 0$ 分别代入上式得

$$M_t = \pi R^3 \sigma_t / 4, M_s = 17\pi R^3 \sigma_t / 40 \quad (7)$$

$$\text{又} \quad \bar{C}_\Sigma = (\tan \alpha_\Sigma) / C = R / R_t \quad (8)$$

将式(7)(8)代入式(6)得

$$M = \frac{4M_t}{\pi} \left[\left(\frac{5}{6} - \frac{1}{3\bar{C}_\Sigma} \right) \sqrt{1 - \frac{1}{\bar{C}_\Sigma^2}} + \frac{\bar{C}_\Sigma}{2} \arcsin \left(\frac{1}{\bar{C}_\Sigma} \right) \right] \quad (9)$$

2) 由图2距支点 x 处截面的弯矩为

$$M_x = Fx/2 \quad (10)$$

则在截面处于弹性极限状态的 $x = l_t$ 处有:

$$l_t = 2M_t / F \quad (11)$$

由前述 F_t 、 F_s 定义:

$$F_t = 2M_t / l, F_s = 2M_s / l \quad (12)$$

由内外力矩平衡条件, 式(9)(10)相等, 可得

$$x = l - \frac{8m_t}{\pi F} \left[\left(\frac{5}{6} - \frac{1}{3\bar{C}_{\Sigma x}^2} \right) \sqrt{1 - \frac{1}{\bar{C}_{\Sigma x}^2}} + \frac{\bar{C}_{\Sigma x}}{2} \arcsin \left(\frac{1}{\bar{C}_{\Sigma x}} \right) \right] \quad (13)$$

但上式无法显式地表达为 $\bar{C}_{\Sigma x} = \varphi(x, F)$ 的形式, 即式(5)不能直接积分而须采用如下的数值积分方法求解:

本文引入变量 k , 定义:

$$F = 2kM_t / l, k \in [1, M_s / M_t) \quad (14)$$

将积分区间 $l_t \rightarrow l$ 分成 n 段, 每段长度 Δx , 第 i 段的坐标为 x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, 有:

$$x_i = l_t + i\Delta x = (l/k)[1 + i(k-1)/n] \quad (15)$$

联立式(13)(14)(15)可解出各 x_i 对应的总弯曲率比 $\bar{C}_{\Sigma x_i}$. 则有总压下挠度 δ_Σ 及卸载回弹挠度 δ_f 的数值积分计算式为:

$$\begin{cases} \delta_\Sigma = \frac{M_t l^2}{3k^2 EI} + \left[\frac{(k-1)l^2 C_t}{nk^2} \right] \sum_{i=0}^n \bar{C}_{\Sigma x_i} [1 + \frac{i(k-1)}{n}] \\ \delta_f = kM_t l^2 / (3EI) \end{cases} \quad (16)$$

3 轴类零件自动压力校直压下量计算方法

本文通过建立高精度的初始挠度与校直压下量对应数值(“ $\delta_0 - \delta_\Sigma$ ”)插值表的方法解决自动精

密校直机压下量确定的问题。

“ $\delta_0 - \delta_\Sigma$ ”插值表的计算:首先,在一批工件校直前取几根作试验,由试验修正 σ_t 和 E ;其次,根据初测工件情况选定可能的几种支距.对每一支距 l ,定义系列值 $\{k_j | 1 \leq k_j \leq M_s / M_t\}$,由式(15)计算校直压下量系列值 $\{\delta_{\Sigma_j}\}$ 及卸载弹复挠度系列值 $\{\delta_{0j}\}$,再由式(1)求得对应的初始挠度系列值 $\{\delta_{0j}\}$.上述 $\{\delta_{0j}\}$ 和 $\{\delta_{\Sigma_j}\}$ 对应系列值形成“ $\delta_0 - \delta_\Sigma$ ”插值表.工件校直时由测得的挠度对应于插值表中的初始挠度插值得所需的校直压下量,按此压下量值控制压头行程进行校直.

本文运用 MATLAB 语言编制了用于轴类零件自动压力校直的压下量计算的程序.按提示输入工件的截面形式及相应的材料、尺寸参数,并按需要的数据密度输入力参量矩阵 k 后,程序自动完成所有的运算并最终输出 $\{\delta_{\Sigma_j}\}$ 、 $\{\delta_{0j}\}$ 及直观的“ $\delta_0 - \delta_\Sigma$ ”关系曲线.

4 计算与有限元分析结果的比较及结论

运用上述圆截面试件若干,尺寸 $\varphi 40 \times 640$ mm,材料 45# 钢正火,初始单弧度弯曲且其最大弯曲位于中点附近,两支承间距 600 mm,压点位于两支点正中.其 MATLAB 程序计算结果与 ANSYS 有限元^[3] 分析结果的比较见表 1 及图 4.

表 1 试件 MATLAB 程序计算与 ANSYS 有限元模拟分析结果的比较表(mm)

| 序号项目 | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|---------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| δ_0 | 0.08 | 0.13 | 0.359 | 0.53 | 0.767 | 0.95 | 1.05 | 1.15 |
| $\delta_{\Sigma 1}$ | 4.249 | 4.436 | 5.039 | 5.37 | 5.746 | 6.01 | 6.141 | 6.271 |
| $\delta_{\Sigma 2}$ | 4.292 | 4.498 | 5.161 | 5.49 | 5.84 | 6.098 | 6.219 | 6.331 |
| Δ | 1.0% | 1.4% | 2.4% | 1.2% | 1.4% | 1.6% | 1.3% | 0.9% |

注:1) δ_0 —初始挠度; $\delta_{\Sigma 1}$ —MATLAB 程序计算的校直压下量; $\delta_{\Sigma 2}$ —ANSYS 有限元计算的校直压下量; $\Delta = \delta_{\Sigma 1}$ 相对于 $\delta_{\Sigma 2}$ 的误差.2)MATLAB 程序计算及 ANSYS 有限元分析用到的工件材料参数:弹性模量 1.85×10^{11} Pa,屈服极限 3.85×10^8 Pa.

从上述图表可见:本文提出的校直压下量计算方法及程序其计算结果与有限元模拟分析的结果非常吻合,两者之差在 1% 左右,说明本方法的求解精度颇高.同时该 MATLAB 程序输入简单,操作方便灵活、输出直观、计算速度快,更适用于自动精校机的校直压下量计算.

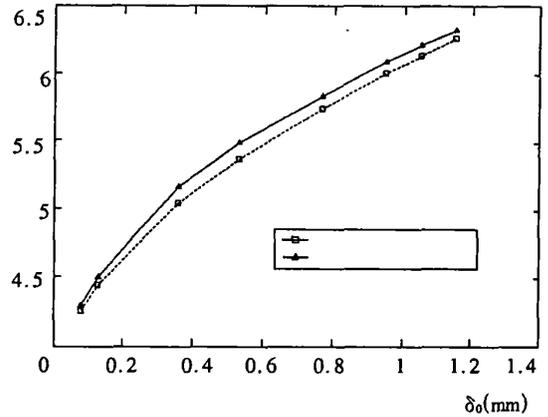


图 4 试件 MATLAB 程序计算与 ANSYS 有限元模拟分析结果的比较图线

5 结束语

本文建立了一种适合于轴类零件自动压力校直工艺要求的压下量计算方法,实例分析表明该方法的计算精度颇高.本研究对于自动压力校直机的研制及其工艺制定具有一定的理论指导意义.

参考文献:

- [1] 崔甫.校直原理与校直机械[M].北京:冶金工业出版社,2002.
- [2] 朱伯馥.弹塑性力学[M].北京:科学出版社,1990.
- [3] 刘涛,等.精通 ANSYS [M].北京:清华大学出版社,2002.

Study on Calculation Method of Straightening Stroke for the Automatic Pressure Straightening of Axis

CHEN Hui

(School of Mechanical and Electrical Eng., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: In this paper a calculation method of the straightening stroke is proposed for the automatic pressure straightening of axis, and a corresponding MATLAB program is designed. By comparing the calculation results of this program of some examples with those of the FEA, it is indicated that the precise of this method is high.

Key words: automatic pressure straightening; straightening stroke; finite element analysis