

椭圆封头旋压控制参数确定的研究

刘兴家¹, 王佐民¹, 孙明琦¹, 贾薇²

(1. 哈尔滨理工大学 热动力系, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 沈阳工业学院, 辽宁 沈阳 110023)

摘要: 椭圆封头仿形旋压法的技术难点是工艺控制参数的确定。文中分析了椭圆封头仿形旋压成形机理, 建立了旋压轨迹方程, 较系统地提出了控制封头旋压的渐开线仿形模板参数及旋压道次间距序列的确定方法, 并成功地进行了工艺试验, 为回转体的仿形(或数控)旋压控制参数的确定提供参考。

关键词: 封头; 旋压; 控制参数; 仿形模板

中图分类号: TK225 文献标识码: A

1 前言

封头是锅炉、压力容器和热交换器等设备上的重要受压元件之一。随着应用领域的不断扩大, 其规格正向大型化方向发展。采用旋压工艺加工大、中型封头具有所需设备吨位小、节省模具, 一套模具可加工同内径不等厚的一系列封头, 更换工装时间短、薄壁起皱趋势小等一系列其它加工方法不可比拟的优越性^[1-2]。

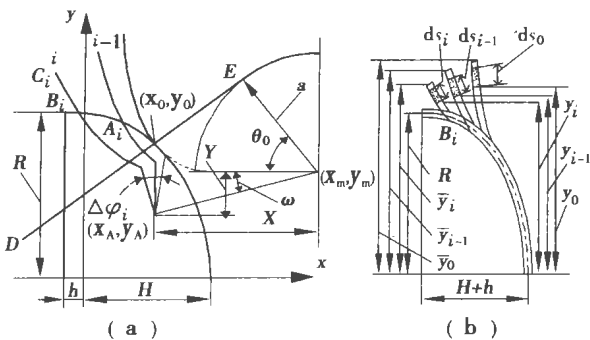


图1 封头仿形旋压过程及变形示意图

我们将摆动仿形模板控制的旋轮轨迹确定为渐开线形式。渐开线参数及道次间距的确定是旋压成败的关键, 具有重要的工程实用价值。我国在封头旋压方面的研究起步较晚, 关于封头旋压成形过程中控制参数的确定问题的系统研究尚属不多。本文

以 $\Phi 2000 \times 16$ 封头旋压为例, 对封头冷态旋压成形过程中控制参数的确定方法进行了研究和探索。

2 旋压变形过程分析及其方程的建立^[3]

旋压道次可分为首道次和后续道次(见图1(a))。首道次($i=0$)从底部尾顶边缘起旋。任意道次(第 i 道次)旋压轨迹为 $A_i \rightarrow B_i \rightarrow C_i$ 。其中 $A_i \rightarrow B_i$ 为毛坯的封头轮廓线段的旋压轨迹, 由固定模板控制; $B_i \rightarrow C_i$ 为毛坯的渐开线段旋压轨迹, 由摆动模板控制。

封头纵截面轮廓方程为

$$y = \begin{cases} R \sqrt{1 - m^2 x^2} & 0 \leq x \leq H \\ R & -h < x \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: m —椭圆长半轴与短半轴尺寸之比。

当摆动模板转动 $\Delta\varphi_i$ (首道次时 $\Delta\varphi_0=0$)时, 模板渐开线的方程为

$$\begin{cases} x = \sqrt{X^2 + Y^2} \cos(\omega + \Delta\varphi_i) + x_A - \\ a[\cos(\theta - \Delta\varphi_i) + \theta \sin(\theta - \Delta\varphi_i)] \\ y = \sqrt{X^2 + Y^2} \sin(\omega + \Delta\varphi_i) + y_A + \\ a[\sin(\theta - \Delta\varphi_i) - \theta \cos(\theta - \Delta\varphi_i)] \end{cases} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得

$$\Delta\varphi_i = \arccos \frac{X^2 + Y^2 + F_i^2 - a^2(1 + \theta_i^2)}{2F_i \sqrt{X^2 + Y^2}} -$$

$$\omega + \arccos(x_i - x_A) / F_i \quad (3)$$

式中: $F_i = \sqrt{(x_{(i)} - x_A)^2 + (y_{(i)} - y_A)^2}$

$x_{(i)}, y_{(i)}$, 一分别为后续第 i 道次时毛坯封头轮廓段和渐开线段交点处的横坐标和纵坐标。

渐开线仰角可由下式求出:

$$\theta_y = \theta - \Delta\varphi_i \quad (4)$$

任意道次(如第 i 道次)必须满足体积不变条件

(见图 1(b))。即毛坯的周向、径向和厚度应变之和为零,亦即

$$\ln \frac{t_i}{t_{i-1}} + \ln \frac{y_i}{y_{i-1}} + \ln \frac{ds_i}{ds_{i-1}} = 0$$

上面的微分方程积分整理后,得

$$\left\{ m \sqrt{m^2 - 1} \frac{x}{2} f(x) + \frac{H^2}{2} \ln [x + f(x)] \right\}_{x_{i-1}}^{\bar{x}_i} + (x_i - \bar{x}_i) + [K_i \alpha \theta^2 - \theta^2 \alpha^2 \sin(\theta - \Delta\varphi_i)]_{\theta_i}^{\bar{\theta}_i} + 3 \alpha^2 [\sin(\theta - \Delta\varphi_i) + \theta \cos(\theta - \Delta\varphi_i)]_{\theta_i}^{\bar{\theta}_i} = \quad (5)$$

$$\frac{t_i}{t_{i-1}} \{ [K_{i-1} \alpha \theta^2 - \alpha^2 \theta^2 \sin(\theta - \Delta\varphi_i)]_{\theta_{i-1}}^{\bar{\theta}_{i-1}} + 3 \alpha^2 [\sin(\theta - \Delta\varphi_{i-1}) + \theta \cos(\theta - \Delta\varphi_{i-1})] \}_{\theta_{i-1}}^{\bar{\theta}_{i-1}}$$

式中: $\theta_i, \bar{\theta}_i$ 分别为第 i 道次时, 渐开线的初始参数角和终了参数角;

$$\bar{x}_i = \begin{cases} x_{i-1} & x_i < 0 \\ x_i & x_i \geq 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \sqrt{x^2 + H^2 (m^2 - 1)}$$

$$K_i = [\sqrt{X^2 + Y^2} \sin(\Delta\varphi_i + \omega) + y_A] / b$$

3 摆动模板参数的确定

3.1 渐开线起始参数角和终了参数角的确定

首道次时模板渐开线工作段起始参数角 θ_0 对旋压成形性能影响极大。如果 θ_0 选择过小, 首道次时毛坯容易起皱, 如果 θ_0 选择过大, 后续道次工件会严重变薄, 甚至开裂。参考文献[3] 结合封头的特点, 经实验得到最佳取值范围为

$$0.255 \pi \leq \theta_0 \leq 0.287 \pi \quad (\text{rad}) \quad (6)$$

旋压过程决定首道次时模板渐开线工作段终了参数角 θ_z 的选择范围应在 $0 \sim \pi / 2$ 之间。若 θ_z 选择过小, 则渐开线曲率小, 易使毛坯起皱; 若 θ_z 选择过大, 则后续道次毛坯变薄趋势增加。因封头壁厚相对其半径较小, 旋压成败往往取决于首道次能否起皱, 而后续道次可以通过道次间距的调整解决变薄问题。因此可取

$$\theta_z = k \cdot \pi \quad (\text{rad}) \quad (7)$$

式中: k 为小于且接近或等于 0.5 的系数。

3.2 渐开线基圆半径的确定

由封头的变形过程可知(见图 1(b)), 首道次渐开线工作段的长度应能满足封头从旋压开始到旋压结束材料转移的需要, 即需满足体积不变条件。将

$\Delta\varphi_i = 0; \theta_{i-1} = \theta_0; \bar{\theta}_{i-1} = \theta_z; \theta_i = \bar{\theta}_i; x_{i-1} = x_0; x_i = -h$ 代入式(5)后, 可推导出渐开线基圆半径的表达式为

$$\alpha = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (\text{取正值}) \quad (8)$$

式中: $A = [3 \sin \theta - \theta^2 \sin \theta - 3 \theta \cos \theta]_{\theta_0}^{\theta} - 0.5(\sin \theta_0 - \theta_0 \cos \theta_0)(\theta_z^2 - \theta_0^2)$

$$B = R^2 \sqrt{1 - m^2 x_0^2} \cdot \frac{\theta_z^2 - \theta_0^2}{2}$$

$$C = -(1 + \epsilon_i) R^2 \left[1 + \frac{\ln(m + \sqrt{m^2 - 1})}{m \sqrt{m^2 - 1}} \right] + Rh$$

3.3 摆动模板摆动中心的确定^[4]

摆动模板摆动中心的位置是控制旋压轨迹重要参数之一, 现分析如下。

为研究方便, 令

$$x_0 = x_0 / a; y_0 = y_0 / a; x_m = x_m / a;$$

$$x_A = x_A / a; y_A = y_A / a; R = R / a$$

在 $x = 0; x = x_m; y = 0; y = y_m$ 的区域内取不同的点, 见图 1(a), 分别以每个点为摆动中心, 由式(1)~式(5)联立并上机进行数值计算和数据处理, 得出同一水平线上渐开线仰角随 x 的变化规律, 如图 2(a) 所示。

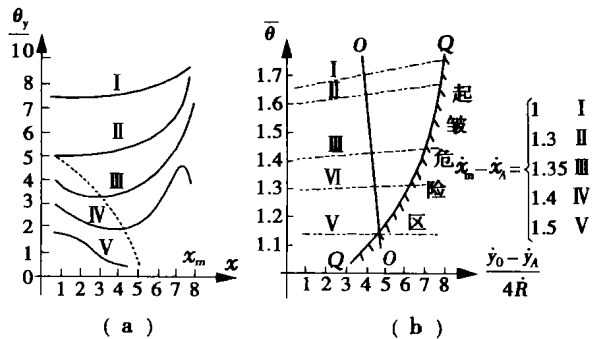


图 2 模板摆动中心位置与渐开线参数的关系

从图 2(a) 中可以看出, $\theta_y - x$ 曲线的极小点(如图中虚线所示)随 x_A 的取值的增大向左移。当 x_A 过大(如曲线 IV、V) 时, 较前道次渐开线与封头轮廓线无交点。根据旋压变形随道次的增加而逐渐增加的要求, 较后道次渐开线仰角应不少于较前道次, $\theta_y - x$ 曲线应单调上升, 满足 $x_A \geq x_0$ (如图中的曲线 I); 另一方面, θ_y 均随 x_A 的增加而减小。由于后续道次毛坯的变薄是主要矛盾^[3], 较小的仰角有利于减小变薄, 从这个意义上讲, 取 x_A 接近 x_0 为宜(如

图中的曲线 II)。综上所述, 我们建议取 x_A 为封头首道次 θ_0 处的横坐标为宜。

与封头直边端点相交处的渐开线参数角 $\bar{\theta}$ 对摆动中心纵坐标也有重要影响。在文献[3~4] 研究的基础上, 结合封头旋压变形特点, 经理论分析和实验, 得到 $\bar{\theta}$ 随 $(y_0 - y_A)/4R$ 变化的规律, 如图 2(b) 中双点划曲线所示。图中的 I、II、III、IV、V 分别表示 $x_m - x_A$ 取不同值时, $\bar{\theta}$ 随 $(y_0 - y_A)/4R$ 变化的曲线。如前所述, 为有利于工件成形, 较后道次毛坯外缘处曲率以小于较前道次为宜, 为此应取图 2(b) 中 O—O 线右侧的数值; 另一方面, y_A 的选择也不宜过小, 否则旋压过程中的渐开线的仰角较小, 且较前道次仰角的变化较大, 有可能导致后续第一、第二道次时起皱。为此, y_A 的取值应在 Q—Q 线的左侧。为减小首道次时, 毛坯起皱的趋势, R 的取值也不宜过小^[3], 我们建议取为

$$1.3125 \leq R \leq 2.4375$$

考虑到仰角对变薄的影响大于渐开线参数角的性质, 并综合上述各种因素, 我们推荐摆动中心的坐标取值为^[4]

$$\begin{cases} x_A = \frac{H(\operatorname{tg} \theta_0 - 1)}{m \sqrt{m^2 + \operatorname{tg}^2 \theta_0}} \\ y_0 - \frac{1}{4}R \leq y_A \leq y_0 - \frac{1}{20}R \end{cases} \quad (9)$$

4 旋压道次间距序列的确定

为了防止旋压过程起皱和开裂, 旋压过程需要若干道次完成, 并且需要使各道次旋压的变形量均匀合理, 呈最佳状态。为此, 我们提出各道次最大变形均等原则。经对各道次变形的分析^[4], 并考虑厚度方向应变变化较小, 可推得第 i 道次时, 有

$$\frac{y_i}{y_{i-1}} = \left(\frac{R}{y_0} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

由于首道次最容易发生起皱, 是旋压成败的关键, 因此, 首道次最大变形量可与后续道次不同, 应根据本文所给出的方法确定。后续道次间距序列的确定方法和步骤如下:

(1) 首先选择道次 n , 然后由式(10) 递推得后续道中第 i 道次完成后毛坯外缘的半径 y_i ;

(2) 由式(1)~式(4) 联立, 经数值计算求出第 i 道次时封头轮廓段与渐开线段交点处坐标值 $(x_{(i)}, y_{(i)})$ 及该处渐开线参数角 θ_i ; 继而得到毛坯

外缘处的渐开线参数角 $\bar{\theta}_i$; 上述过程可采用本程序上机运算获得(本程序略);

(3) 由式(3) 得到 $\Delta\varphi_i$ 。

由以上步骤即可递推得到旋压间距序列如表 1 所示(本文例所确定的道次间距略)

表 1 道次间距序列表

道次	首道次	后续道次			
		1	2	i	n
间距	0	$\Delta\varphi_1$	$\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1$	$\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{i-1}$	$\Delta\varphi_n - \Delta\varphi_{n-1}$

5 工艺试验结果

利用本文方法设计出了仿形模板和旋压道次间距序列, 并进行了如下工艺试验:

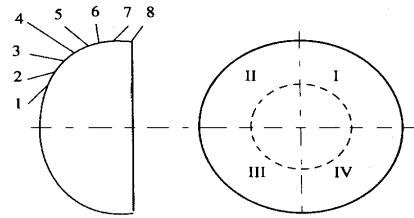


图 3 封头旋压工艺试验厚度测试图

取试件为 $\Phi 2000 \times 16$ 标准椭圆封头(如图 3 所示)。沿经线取 8 个测试位置, 将圆周分为 4 区, 每区每个测试位置沿纬线取 3—10 个测试点, 测得封头壁厚并取其平均值(如表 2 所示)。

表 2 封头旋压工艺试验厚度测试汇总表

测点	I 区	II 区	III 区	IV 区	各区总平均值
	平均值	平均值	平均值	平均值	
1	15.5	15.6	15.8	15.5	15.60
2	15.2	15.3	15.3	15.4	15.30
3	14.8	15.0	14.8	14.8	14.85
4	15.0	15.0	15.1	15.1	15.05
5	15.2	15.2	15.3	15.3	15.25
6	15.5	15.7	15.8	15.7	15.70
7	15.8	16.0	16.0	15.9	15.93
8	17.1	17.2	17.0	16.8	17.03

工艺试验表明, 旋压没有起皱, 最大壁厚减薄率为 9.3%, 完全符合国家标准。

6 结 论

(1) 首道次旋压对旋压成败影响极大。渐开线旋压轨迹最有利于封头的旋压成形。文中给出了渐开线参数的确定方法;

柴油机注汽涡轮增压系统

闻雪友¹, 陆 犇¹, 夏军宏¹, 张玉龙²

(1. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036;

2. 哈尔滨汽轮机有限责任公司军代表室, 黑龙江 哈尔滨 150041)

摘要: 针对涡轮增压柴油机在低工况运行时, 出现增压压力不足、燃烧过量空气系数小和废气排温较高等固有特性, 提出了一种利用增压器废气余热产生水蒸气, 并注入涡轮来提高增压器的压比和空气量新方法, 以改善涡轮增压器与柴油机的匹配, 提高柴油机性能。

关键词: 涡轮增压; 注蒸汽

中图分类号: TK442

文献标识码: A

1 前言

由于涡轮增压技术的进展, 柴油机的功率、经济性、重量和体积等各项性能指标都获得了明显的改善。现代大功率柴油机几乎全部采用了涡轮增压装置, 而其中应用最广泛的是废气涡轮增压装置。

涡轮增压柴油机是柴油机与涡轮增压器所组成的复合式发动机, 在各种工况下, 涡轮增压装置应该向柴油机提供足够的空气量, 如果涡轮增压器的供气量不足, 就会引起工作过程的恶化。然而, 当柴油机工况变化时, 废气流量和参数也都发生变化, 往复式的柴油机与回转式涡轮增压器两者特性匹配的结果通常是涡轮增压柴油机在低工况运行时会出现增

压压力不足, 燃烧过量空气系数小和废气排温较高等固有特性, 其直接表现就是涡轮增压器不能提供运行条件所要求的压比, 以满足对空气量的要求。

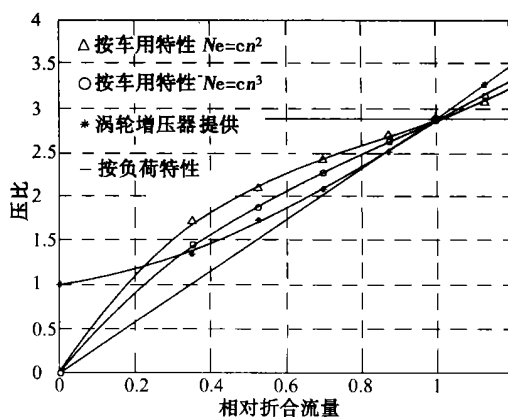


图 1 涡轮增压器配合性能

图 1 表示涡轮增压柴油机在不同运行条件下的涡轮增压器的运行特性(一个特定的涡轮增压器的运行特性), 即在不同的涡轮进口折合流量下所能提供的压比。由图可见, 在标定工况(即设计点), 增压器提供的压比与柴油机要求的相符; 在低工况时, 运

收稿日期: 2002-10-08

作者简介: 闻雪友(1940-), 男, 浙江慈溪人, 哈尔滨·第七〇三研究所研究员。

(2) 旋压道次间距对起皱和壁厚变薄的影响很大, 文中给出了选择道次序列来合理分配变形量的方法(计算程序略);

(3) 本文所阐述的仿形控制参数的确定方法也可用于复杂形状回转体旋压件的工艺制定、仿形模板设计以及数控旋压轨迹的确定提供参考。

参考文献:

[1] WANG Z R, KANG DACHANG, WANG TAO. Classification and de-

veloping tendency of the rotary forming technology [J]. ICRP, 1989 (10): 1-5.

[2] 刘兴家. 承压椭圆封头旋压轮三目标优化的研究[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(3): 80-84.

[3] 叶山益次郎. 数值制御フビニシタ机械にすローベスプラミコタ[J]. 塑性と加工, 1986, 27(9): 34-38.

[4] 刘兴家. 封头旋压成形旋压运动轨迹的研究[J]. 塑性工程学报, 1997, 4(4): 84-89.

optimum range of variable offset functions being eventually identified. **Key words:** marine main boiler, variable offset, double-crisscross amplitude limit, control system

椭圆封头旋压控制参数确定的研究 = **An Investigation Concerning the Determination of Spinning Control Parameters for an Elliptical Boiler Head** [刊, 汉] / LIU Xing-jia, WANG Zuo-min, SUN Ming-qi, et al (Thermal Energy Engineering Department, Harbin University of Science & Technology, Harbin, China, Post Code: 150080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 187—189

The technical difficulty of a profile spinning method for making elliptical boiler heads consists in the determination of relevant technological control parameters. On the basis of analyzing the forming mechanism of elliptical-head profile spinning a locus equation for the spinning process has been worked out. Then, proposed in a relatively systematic way is a method for the determination of the following: the parameters of the involute profile form-plate for the control of a boiler head spinning, and the spacing and sequence of the spinning process. This was followed by a successful technological test. The above information can serve as a guide during the determination of profile (or numerical control) spinning control parameters for other similar rotating bodies. **Key words:** boiler head, spinning, control parameters, profile form plate

柴油机注汽涡轮增压系统 = **Steam-injected Turbocharged System of a Diesel Engine** [刊, 汉] / WEN Xue-you, LU Ben, XIA Jun-hong (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 190—193

During the low load operation of a turbocharged diesel engine there may emerge a series of inherent characteristics, such as insufficient supercharged pressure, a small excess air factor for combustion and high exhaust-gas temperature, etc. To deal with the above deficiencies, a new method has been proposed. It involves the use of exhaust waste heat of a supercharger to produce water steam, which is to be injected into a turbine to enhance the pressure ratio and airflow rate of the supercharger. This will result in an improved matching of the turbocharger and diesel and a better diesel performance. **Key words:** turbocharging, steam injection

废旧含氯塑料热解及其能源利用研究 = **A Study of the Pyrolysis of Chlorine-containing Scrap Plastics and Their Waste Energy Utilization** [刊, 汉] / XIAO Rui, JIN Bao-sheng, ZHANG Ming-yao (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Combustion and Power Generation under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 194—196

Chlorine-containing plastics (polyvinyl chloride) in municipal waste are a major source of corrosion and secondary pollution in municipal solid-waste incinerators. With the use of a thermogravimetric-differential analyzer the pyrolytic characteristics are studied of PVC (polyvinyl chloride) and HDPE (high density polyethylene) both with a chlorine content of 53.8%, and CPE (chlorinated polyethylene) with a chlorine content varying from 10% to 46%. Based on the test results of the graded pyrolysis of chlorine-containing plastics the authors have proposed a technological process for the pyrolysis of the chlorine-containing plastics and the combustion of their residue. Furthermore, the performance of a power plant based on the above-cited process is calculated and analyzed. **Key words:** chlorine-containing plastics waste, pyrolysis, combustion, waste-energy recovery

一种新颖的高温高压静电除尘技术 = **An Innovative Technology of High-temperature and High-pressure Electrostatic Precipitation** [刊, 汉] / GU Zhong-zhu (College of Power Engineering under the Nanjing Normal University, Nanjing, China, Post Code: 210092), CAI Song, WEI Qi-dong (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 197—199