

文章编号:1672-0121(2007)04-0074-03

基于 FEM 的辗环工艺芯辊进给速度曲线优化

王双林¹, 初冠南², 王 红¹, 傅明冲³

(1.日照职业技术学院, 山东 日照 276826;

2.哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001;

3.武汉警官职业学院, 湖北 武汉 430040)

摘要:在基于有限元数值模拟的基础上提出了反向最小余量法,用以优化芯辊进给速度曲线。优化后的芯辊进给速度曲线能保证辗扩过程中始终有理想的每转压下量,从而降低缺陷的发生,提高零件质量。最后结合具体零件进行了数值模拟验证,验证结果理想。

关键词:机械制造;进给速度;芯辊;辗环;优化

中图分类号:TG335

文献标识码:B

1 引言

随着航空航天和石油天然气等工业的发展,大口径环形件的需求日趋增加、质量要求也日益严格。辗环工艺由于其自身的诸多优点现在已成为生产大型环形件的一个重要分支^[1]。但是辗环工艺又有其自身的复杂性和不确定性,如辗压过程复杂,控制变量多^[2,3,4,5],因此,辗扩过程中经常发生起偏、失稳和产生椭圆度等缺陷^[6,7]。

芯辊进给速度是辗扩工艺中一个很重要的参数,合理的芯辊进给速度能保证合理的每转压下量,从而提高零件的圆度,避免失稳的发生^[8,9]。但这需要芯辊速度在辗扩过程中随坯直径增大而不断调整,使每转压下量始终有一个稳定的理想值。因此,芯辊进给速度与瞬时坯直径存在耦合关系,不能事先求得^[9]。目前,生产中可通过伺服机构借助于计算机进行实时调整^[4],但大大提高了设备成本。为此,本文提出通过反向最小余量法,借助于有限元数值模拟来优化芯辊进给速度曲线。

2 芯辊进给速度与每转压下量 Δh 的关系

每转压下量 Δh 是辗扩工艺中一个非常重要的参数,稳定的每转压下量能保证坯料顺利咬入、工件锻透和直径稳定的扩大,从而避免抱死,失稳的发生,提高坯件的圆度。但实际生产中每转压下量主要是通过控制芯辊进给速度间接控制其大小的。合适的芯辊进给速度是辗扩成功与否的关键所在。

Δh 和芯辊进给速度关系如下:

$$\Delta h = VT(R) \quad (1)$$

$$T(R) = 2\pi R / v' \quad (2)$$

$$v' = v \quad (3)$$

式中: V ——瞬时芯辊进给速度;

$T(R)$ ——坯料瞬时每转周期;

R ——瞬时坯环外径;

v' ——坯料瞬时线速度;

v ——主动辊线速度。

辗扩过程中主辊转速 v 保持不变。由式(1)、(2)、(3)知,若辗扩过程中瞬时芯辊进给速度 V 也始终保持不变,则随着辗扩过程的进行瞬时坯环外径 R 不断增大,每转压下量 Δh 将随之增大。而辗扩过程中为了得到理想的辗扩件希望每转压下量 Δh 能保持一稳定值。

由上可知, Δh 由 V 、 R 、 v' 三个量决定,其中 v' 为定值(大小等于主辊外圆线速度),所以 Δh 、 V 、 R 三者存在耦合关系。特别是 R ,只有在辗扩结束后才能得到在该芯辊进给速度下其与时间的关系曲线,且由于耦合关系的存在使这一曲线不能用来指导修改其他两项,因为任一项的变化都会导致该项失去其作为参考依据的意义。因此,理想芯辊进给速度的确定需要反复的实验调试,造成人力、物力的浪费,延长了产品生产周期。

3 反向最小余量法

反向最小余量法是指据某一任意给定的芯辊进给速度曲线为反算参考依据,通过迫使指定时刻的每转压下量的余量(初始每转压下量减去目标拟合

收稿日期:2007-05-12

作者简介:王双林(1971-),男,讲师,从事数控技术的教学与研究

曲线值)为零来修正芯辊进给速度曲线的方法。具体计算方法:

设某一辗扩过程中采用恒定的芯辊进给速度(图 1a 中曲线①),则有式(1)、(2)知每转压下量曲线(图 1b 中曲线③)呈幂指数上升趋势,与目标曲线(图 1b 中④)有较大误差。

假设修正后 t_0 、 t_1 、 t_2 时刻处的芯辊进给速度分别为: V_0 、 V_1 、 V_2 , 则要保证 t_0 、 t_1 、 t_2 三个时刻的每转压下量等于理想值, V_0 、 V_1 、 V_2 应满足下面关系式:

$$2\pi R_0 V_0 / v = \Delta h$$

$$2\pi R_1 V_1 / v = \Delta h$$

$$2\pi R_2 V_2 / v = \Delta h$$

式中: v ——主动辊转速;

R_0 、 R_1 、 R_2 ——分别为 t_0 、 t_1 、 t_2 时刻的瞬时环坯外径。

由上 3 式可求得在 t_0 、 t_1 、 t_2 时刻的 V 为:

$$V_0 = \Delta h v / (2\pi R_0)$$

$$V_1 = \Delta h v / (2\pi R_1)$$

$$V_2 = \Delta h v / (2\pi R_2)$$

修正后的曲线如图 1a 中②所示。

现采用图 1a 中曲线②作为有限元模型中的芯辊进给速度曲线, 重新进行辗扩变形。辗扩后在 t_0 、 t_1 、 t_2 时刻处的即时半径分别为: R'_0 、 R'_1 、 R'_2 , 因为 $t_0 \sim t_2$ 芯辊进给速度降低, 所以有: $R'_0 = R_0$, $R'_1 \leq R_1$, $R'_2 \leq R_2$ 。则:

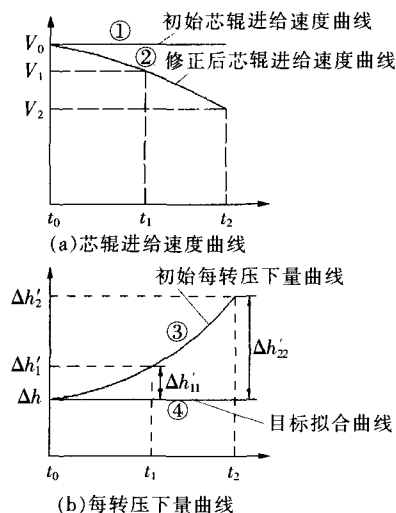


图 1 修正前后芯辊进给速度和每转压下量

$$\Delta h_0 = V_0 (2\pi R'_0 / v) = [\Delta h v / (2\pi R_0)] (2\pi R'_0 / v) = \Delta h (R'_0 / R_0)$$

$$\therefore R'_0 = R_0$$

$$\therefore \Delta h_0 = \Delta h$$

$$\Delta h_1 = V_1 (2\pi R'_1 / v) = [\Delta h v / (2\pi R_1)] (2\pi R'_1 / v) = \Delta h (R'_1 / R_1)$$

$$\therefore R'_1 \leq R_1$$

$$\therefore \Delta h_1 \leq \Delta h$$

$$\Delta h_2 = V_2 (2\pi R'_2 / v) = [\Delta h v / (2\pi R_2)] (2\pi R'_2 / v) = \Delta h (R'_2 / R_2)$$

$$\therefore R'_2 \leq R_2$$

$$\therefore \Delta h_2 \leq \Delta h$$

所以采用曲线②后得到的每转压下量曲线如图 2 中⑤所示:

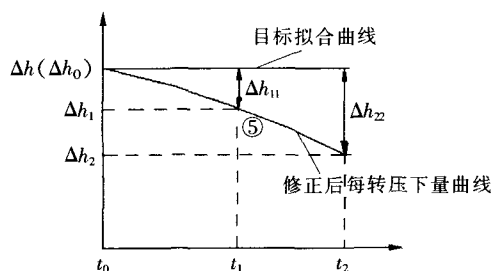


图 2 修正后每转压下量曲线

现比较修正前后的每转压下量偏差值的大小:

$$\Delta h_{11} = \Delta h_1 - \Delta h = 2\pi R'_1 V_0 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_0 R'_1 - V_0 R_0)$$

$$\Delta h_{22} = \Delta h_2 - \Delta h = 2\pi R'_2 V_0 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_0 R'_2 - V_0 R_0)$$

$$\Delta h'_{11} = \Delta h'_1 - \Delta h = 2\pi R'_1 V_1 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_1 R'_1 - V_0 R_0)$$

$$\Delta h'_{22} = \Delta h'_2 - \Delta h = 2\pi R'_2 V_2 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_2 R'_2 - V_0 R_0)$$

$$\therefore \Delta h'_{11} = \Delta h'_1 - \Delta h = 2\pi R'_1 V_0 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_0 R'_1 - V_0 R_0)$$

$$\Delta h'_{22} = \Delta h'_2 - \Delta h = 2\pi R'_2 V_0 / v - 2\pi R_0 V_0 / v = 2\pi (V_0 R'_2 - V_0 R_0)$$

$$\therefore R_1 > R'_1, R_2 > R'_2$$

$$V_0 > V_1, V_0 > V_2 \quad (4)$$

$$\therefore \Delta h'_{11} > \Delta h_{11}, \Delta h'_{22} > \Delta h_{22}$$

由式(4)可看出采用反向最小余量法修正芯辊进给速度曲线后, 每转压下量已得到明显的改善。但由于计算中对 t_2 时刻的修正没有把 t_1 时刻的调整给 t_2 带来的影响考虑进去, 使修正值出现正偏差, 使得改进的每转压下量曲线与目标拟合曲线并不完全吻合。因此, 若初始芯辊进给速度选取的不理想, 用该方法进行修正时, 有可能需要经过多次修正计算。

4 数值模拟分析

4.1 有限元模型

选择台阶式长颈对焊法兰零件 (国标 JB/T4700-2000, 图 3) 为模拟验证对象, 模拟参数见表 1。此外考虑到固体单元在处理径向应力应变的优

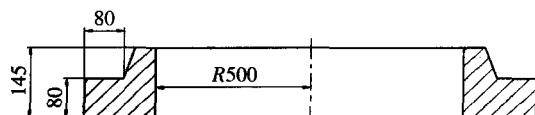


图3 长颈对焊法兰

表1 模拟参数

材料	16Mn
温度/℃	1100
摩擦因子 m	0.8
单元数	15000

势, 选用 DEFORM3D 作为模拟平台。

模拟中不考虑模具的变形, 其材料属性为刚性体; 同时忽略坯料的弹性变形, 其材料属性为刚塑性体。

4.2 模拟结果分析

模拟中先任意定义一条芯辊进给速度曲线(图4)。模拟得到的每转

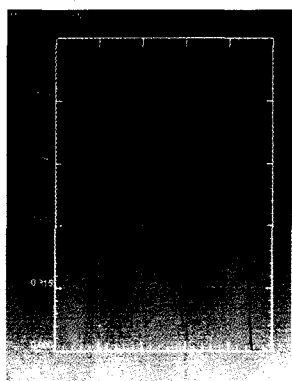


图4 初始芯辊进给速度曲线

压下量曲线如图5所示。由图5看出辗扩过程中每转压下量并不稳定, 后期呈指数趋势上升, 尤其是后期远远大于初始设定值, 接近初始设定值的2倍, 导致辗扩变形不平稳, 圆度降低(图6a), 并有失稳发生(图6b)。

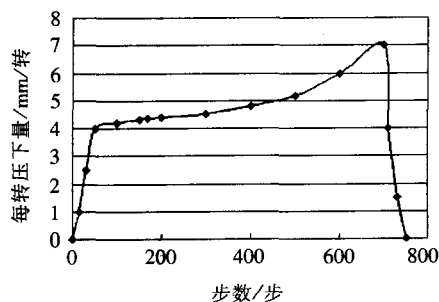


图5 每转压下量曲线

采用反向最小余量法经两次修正后得到芯辊进给速度曲线如图7所示, 每转压下量曲线如图8所示。

整个模拟过程变形平稳, 辗扩出的零件圆度大

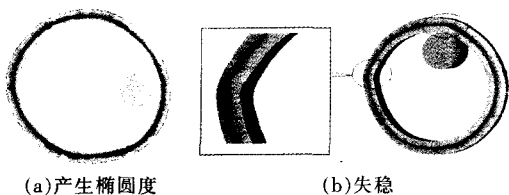


图6 辗扩中出现椭圆、失稳

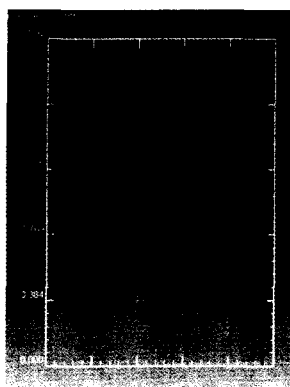


图7 修正后芯辊进给速度曲线

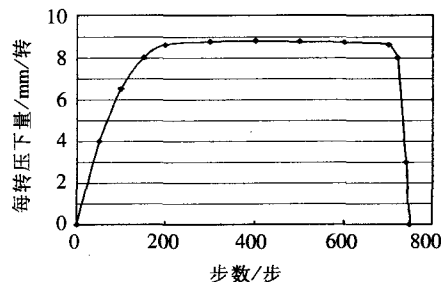


图8 修正后每转压下量率曲线

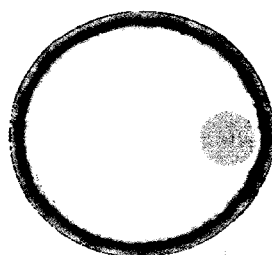


图9 修正后辗扩出的零件

大提高且没有失稳发生(图9)。

5 结论

(1) 利用反向最小余量法优化得到的芯辊进给速度曲线, 能保证辗扩过程中始终有稳定的每转压下量。

(2) 采用优化后的芯辊进给速度曲线, 大大减

轻了辗扩过程中椭圆度和失稳的发生。

(3) 采用反向最小余量法, 经过两次优化, 即得到了较为理想的芯辊进给速度曲线。因此, 该方法在数学计算上并不复杂。

【参考文献】

- [1] 华林, 赵仲治. 环件辗扩成形及其在汽车工业中的应用. 汽车工程, 1993, 15(4).
- [2] 谢谈, 贾德伟, 蒋鹏, 尉哲. 精密塑性成形技术在中国的应用与发展. 机械工程学报, 2001, 37(7): 100-104.
- [3] 初冠南. 长径对焊法兰精密辗扩坯料截面形状的优化. 山东机械, 2005(1): 18-21.
- [4] 张高萍. 摆辗技术在火车轮制造中的应用. 锻压机械, 2000, 35(1): 24-26.
- [5] 王广春, 黄晓慧, 赵国群. 圆柱形坯料摆辗接触区域压力分布的有限元分析. 锻压机械, 2001, 36(3): 24-26.
- [6] Mamalis A G, Hawkyard J B, Johnson W. Spread and flow patterns in ring rolling. Int. J. Mech. Sci. 1976, 18.
- [7] Doege E, Aboutour M. Simulation of ring rolling process. Advanced Technology of Plasticity, Srugart, 1987, (2).
- [8] Lugroa C F, Bramley A N. Analysis of spread in ring rolling. Int. J. Mech. Sci. 1987, (29).
- [9] Shivpuri R, Eruc E. Planning and Simulation of ring rolling process for improved productivity. Int. J. Mach. Tools Manufact. 1993, 33(2).

文章编号:1672-0121(2007)04-0077-03

喷丸成形技术在民航领域的应用

程秀全, 张建荣

(广州民航职业技术学院 机务工程系, 广东 广州 510403)

摘要: 本文概述了民用航空领域的喷丸成形技术的工作原理、所使用的喷丸设备、常用的喷丸成形方式; 阐述了喷丸强化技术的强化机理及应用; 介绍了喷丸技术在除漆、清理及跑道维护等方面的应用情况; 并根据喷丸技术的最新研究动态, 简要叙述了喷丸技术用于实现材料表面纳米化的进展。

关键词: 机械制造; 喷丸成形; 喷丸强化; 表面纳米; 民用航空

中图分类号: TG306

文献标识码: A

1 前言

喷丸工艺是利用高速喷射的弹丸流撞击零件的表面, 使坯料产生变形、零件表面强化、进行表面清理及材料表面自身纳米化的一项技术。

自从 20 世纪 40 年代美国洛克希德公司首先在“星座号”飞机的机翼整体壁板加工中开发出喷丸技术以来, 这一技术已在发达国家得到了广泛应用, 如 F-15、F-5E、A6A、S-3A、B-52、B-1、波音、麦道、空中客车等很多机种都采用了喷丸工艺技术, 它已成为衡量一个国家掌握先进航空制造技术的重要标志之一^[1]。

几十年来, 喷丸技术已经得到了长足的发展。喷丸设备按弹丸流的推进形式分已有: 气动式喷丸设备、离心式抛丸设备、自重式落丸设备和液体喷丸设备等, 但习惯上人们常统称它们为喷丸设备, 同样统称利用这些设备进行的加工工艺为喷丸工艺; 喷丸

工艺有: 喷丸成形、喷丸强化、喷丸清理和表面纳米化等具体形式。这些工艺技术的应用, 极大地提高了航空制造技术的水平, 方便了机场维护, 并在飞机维修中发挥着重要作用。这里主要介绍喷丸成形技术及其应用。

2 喷丸成形工艺

2.1 喷丸成形机理

喷丸成形一般是指对金属板料的成形。高速弹丸撞击到零件表面产生凹坑, 类似于硬度试验中的钢球压入金属物体表面, 产生局部塑性变形, 从而形成压痕, 使局部表面积增加(图 1), 于是在零件表面的切线方向便产生了压应力。当大量弹丸在平整表面上产生无数凹坑, 压痕之间相互重叠。若板料厚度较薄(一般小于 15mm), 便可以使一定深度的表层材料产生延伸, 从而引起受喷表层的面积加大, 金属板料产生弯曲变形。弯曲变形后, 板料的内应力重新分布, 最后, 零件的受喷表层和未喷表层具有残余压应力, 形成如图 2 所示的应力分布及板料弯曲形状。

2.2 自由喷丸成形

收稿日期: 2007-05-12

作者简介: 程秀全(1964—), 男, 硕士, 高工, 从事塑性加工与设备、模具 CAD 及民航机务工程教学与研究

The Optimization of Spindle Speed Curve during Ring Rolling Based on FEM

WANG Shuanglin¹, CHU Guannan², WANG Hong¹, FU Mingchong³

(1. Rizhao Polytechnic College, Rizhao 276826, Shandong China;

2. Harbin institute of technology, Harbin 150001, Heilongjiang China;

3. Wuhan Police Vocation College, Wuhan 430040, Hubei China)

Abstract: A new method, which named reverse shrinking surplus method, has been pointed out based on the FEM in order to optimize the speed curve of the spindle. The optimized speed curve can bring a steady press-down dimension in the process of the ring rolling which could assure high quality products. At last a specified product has been selected to validate the method, which implies that the method is advisable.

Keywords: Feeding speed; Spindle roller; Ring rolling; Shape optimization