

加载路径对变径管内高压成形影响的模拟研究

王鸿基, 徐迎强, 周结魁

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 基于 Dynaform 有限元模拟软件, 在获得合适总轴向进给量以及最大内压力的基础上, 重点探讨了轴向进给路径以及内压力加载路径对变径管内高压成形的影响。结果表明: 按照前段进给速度大于后段进给速度的双线性轴向进给方式进给能得到一条最优的轴向进给路径; 梯形内压加载方式的成形结果要明显优于线性内压加载方式, 且当内压区间为 40~60 MPa 时, 梯形内压加载方式的成形结果达到最优化。

关键词: 变径管; 内高压成形; 加载路径; 数值模拟

中图分类号: TG302 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)03-0047-04

Simulation Study of the Impact of Loading Paths on Hydroforming of Tubes with Variable Cross Sections

WANG Hong-ji, XU Ying-qiang, ZHOU Jie-kui

(School of Material Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: By using Dynaform software, the impact of loading paths of axial feeding and internal pressure on hydroforming of tubes with variable cross sections is discussed based on the appropriate amount of the total axial feed and the maximum internal pressure. Results indicate that the double linear loading pattern in which the feeding speed in anterior stage is larger than that in the posterior is the best loading path, and the step-loading pattern excels the linear loading pattern a lot, and the step-loading pattern reaches its optimization when the feeding pressure falls into 40~60 MPa.

Key words: tube with variable cross sections; hydroforming; loading path; numerical simulation

管材液压胀形成形是通过内部加压和轴向加力补料将管坯压入到模具型腔使其成形^[1]。此项技术在德国、美国等发达国家已有不少研究, 并且成功地应用于航空、航天、汽车、化工、机械、建筑等领域^[2]。

内高压成形影响因素众多, 成形过程复杂, 要使管坯在胀形过程中不产生屈曲、褶皱和破裂等缺陷, 必须有效控制胀形的加载路径。数值模拟技术能较准确地仿真内高压成形过程, 预报成形缺陷, 显示制件的成形情况, 给出壁厚分布, 并且可以方便地调整各工艺参数的匹配关系, 研究其成形情况, 获得最优

的加载路径^[3]。文中通过 Dynaform 软件对变径管进行内高压成形过程仿真, 以壁厚分布为目标, 探讨加载路径对成形质量的影响, 从而提出最优的加载路径, 为后续研究提供了依据。

1 有限元模型

变径管零件如图 1 所示, 壁厚为 0.8 mm, 最大变形量为 38.76%, 管坯材料为不锈钢 SS304, 材料的本构关系为 $\sigma = K\epsilon^n$, $K = 1\ 426\ \text{MPa}$, $n = 0.502$,

收稿日期: 2011-06-15

作者简介: 王鸿基(1986—), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要研究方向为模具 CAD/CAM。

密度为 7.85 g/cm^3 , 弹性模量为 207 GPa , 泊松比为 0.28 。

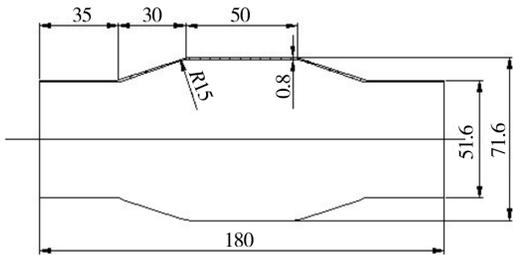


图1 变径管零件

Fig. 1 The drawing of tube with variable cross sections

有限元分析模型如图2所示,其中管坯划分为BT壳单元,单元总数为2040个,模具划分为刚性单元,单元总数为3416个。数值模拟时考虑板料各向异性,选用材料库中36号材料模型。摩擦采用库仑摩擦公式,摩擦因子为0.125。

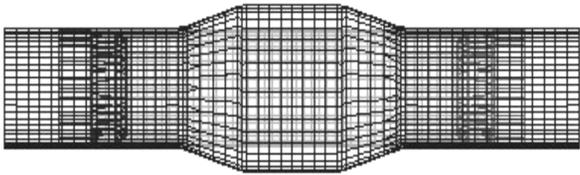


图2 有限元分析模型

Fig. 2 Finite element model

2 工艺参数值的选取

在内高压成形过程中,如果内压力增加过快或轴向进给量(轴向推力)过慢,会因为材料无法及时流入变形区而导致管材过度减薄,甚至发生破裂;相反,如果内压力增加过慢或轴向进给量(轴向推力)过快,管坯会因为轴向力过大而产生起皱并可能出现折叠缺陷,同时由于内压力过小,管坯会出现不完全贴模现象^[4]。此外,实际成形中管件起皱后轴向推力在保持不变甚至减小的情况下,管件仍然会推进产生轴向进给量,且施加的轴向推力由于受复杂摩擦条件的影响而使实际用于变形的推力无法准确计算,因此,通过理论计算轴向推力往往与实际不符,实际管件液压成形中,一般是通过控制轴向进给量 S 来控制成形过程的^[5]。

合理控制总进给量和最大整形内压是后续优化

加载路径的前提和保证。为此选择单线性进给方式和合理的工艺参数。通过模拟,确定总进给量为 $2 \times 5 \text{ mm}$,最大整形内压力为 140 MPa 是一组比较理想的参数组合,成形所得管件贴模性良好,未出现破裂和起皱等缺陷。此工艺参数条件下的壁厚分布如图3所示,可以看出,最小壁厚为 0.6106 mm ,最大壁厚为 0.8062 mm ,壁厚差为 0.1956 mm 。



图3 合理参数下的壁厚分布

Fig. 3 The thickness distribution under reasonable parameters

3 加载路径的影响

对于一定的轴向总进给量和最大整形内压力,选择不同的加载路径对成形结果的影响也很大,下面以壁厚分布(壁厚差)为目标函数,通过选择合理的加载路径来优化内高压成形。采用单因素优化方法,在其他因素保持不变的情况下,设定其中一个因素为变量,考察这个变量对成形结果的影响^[6]。

3.1 轴向进给量的优化

在内压力以单线性方式由 0 增长至 140 MPa 的条件下,改变轴向进给量的加载方式,研究轴向进给量对成形结果的影响^[7]。在此设计3种不同轴向进给量的加载路径,如图4所示,路径1为单线性加载,路径2,3为双线性加载,路径2为前段的进给速度小于后段的进给速度,路径3为前段的进给速度大于后段的进给速度。

以不同轴向进给路径的加载成形结果见表1。可以看出,当前段的进给速度大于后段的进给速度时,壁厚差最小,成形效果最好。对于给定的总进给量,不同的加载方式会产生不同的结果。在变径管内高压成形过程中,随着内压力逐渐增加,壁厚与模具之间的摩擦力也增加,材料流动困难。同时在成形后期,管坯已经紧贴模具,不需过多的材料流入,

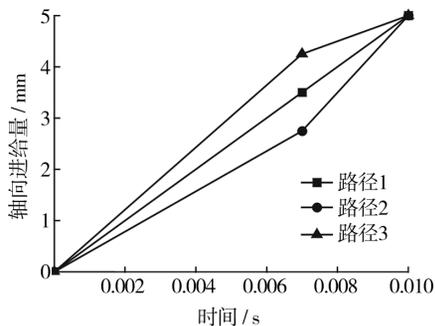


图4 不同的轴向进给路径

Fig. 4 Different axial feeding paths

此时施加过大的进给量只会增加管坯的壁厚差,因此,为前段分配较大的进给速度有助于材料快速向所需的方向流动;为后端分配较小的进给速度可以有效减轻壁厚分布不均匀的缺陷。

表1 不同轴向进给路径的加载成形结果

Table 1 The forming results under different axial feeding paths

加载路径	最小壁厚/mm	最大壁厚/mm	壁厚差/mm
路径1	0.610 6	0.806 2	0.195 6
路径2	0.595 8	0.799 5	0.203 7
路径3	0.615 8	0.799 4	0.183 6

3.2 内压力的优化

在进给量为单线性由0增长至140 MPa的条件下,改变内压力的加载方式,研究内压力对成形结果的影响。在内高压加载路径选择上,一般采用线性及梯性加载方式,可获得良好的成形结果^[8]。为此设计2种加载方式,分别为线性加载方式和梯形加载方式,同时在各自的加载方式基础上采用3种不同的加载路径。

3种不同加载路径的线性加载方式如图5所

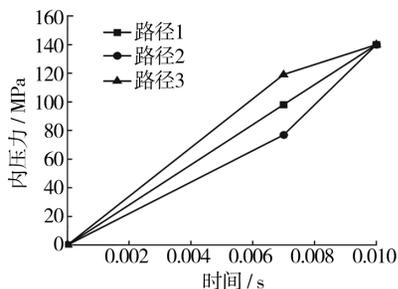


图5 不同的的线性加载路径

Fig. 5 Different linear loading paths

示,其中间过渡内压力分别为77,98和119 MPa。3种不同加载路径的梯性加载方式如图6所示,其中间过渡内压力分别为60,70和80 MPa。

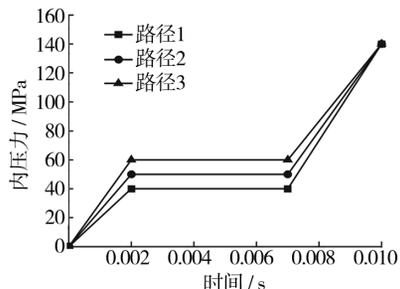


图6 不同的梯性加载路径

Fig. 6 Different step-loading paths

不同内压力线性加载方式的成形结果见表2,不同内压力梯性加载方式的成形结果见表3。

表2 不同内压力线性加载方式的成形结果

Table 2 The forming results under different linear loading paths of internal pressure

加载路径	最小壁厚/mm	最大壁厚/mm	壁厚差/mm
路径1	0.610 6	0.806 2	0.195 6
路径2	0.601 2	0.803 4	0.202 2
路径3	0.606 3	0.804 3	0.198 0

表3 不同内压力梯性加载方式的成形结果

Table 3 The forming results under different step-loading paths of internal pressure

加载路径	最小壁厚/mm	最大壁厚/mm	壁厚差/mm
路径1	0.609 4	0.806 1	0.196 7
路径2	0.611 2	0.805 9	0.194 7
路径3	0.605 4	0.807 3	0.201 9

比较表2、表3可以看出,梯形加载方式的成形结果明显优于线性加载方式。这是因为线性加载时,进给初期的内压力过小,导致成形件的贴模性下降,壁厚分布不均匀;而进给后期内压力过大,导致工件外表面与模具内腔的摩擦力增大,金属流动阻力变大。从表3中可以看出,存在一个内压区间范围,此时进给量和内压力这2个因素作用的效果最好,此内压区间为40~60 MPa。

4 模拟验证

运用优化的加载路径组合进行模拟验证,其中

进给量采用前段进给速度大于后段进给速度的加载方式,内压力采用梯形加载路径,过渡区间的内压力大小为 50 MPa,加载方式如图 7 所示。

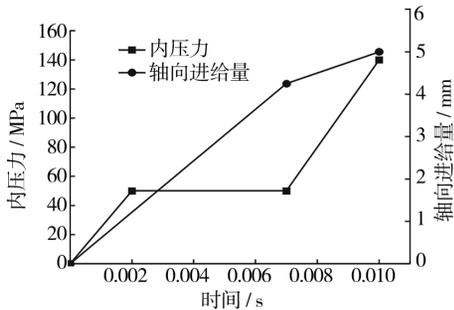


图 7 优化的加载路径

Fig. 7 The loading path after optimization

优化加载路径条件下的成形结果见表 4,可以看出,壁厚差为 0.189 2,明显优于其他加载方式,其壁厚分布均匀,贴模性良好,成形结果较好。优化加载路径条件下的成形极限如图 8 所示,可以看出,破裂和起皱缺陷产生的趋势较小,满足设计要求。由分析结果可知,优化的加载路径使变径管内高压成形质量得到显著提高。

表 4 优化加载路径条件下的成形结果

Table 4 The forming results under loading path after optimization

加载路径	最小壁厚/mm	最大壁厚/mm	壁厚差/mm
优化路径	0.613 2	0.802 4	0.189 2



图 8 优化加载路径条件下的成形极限

Fig. 8 FLD under loading path after optimization

5 结语

1) 通过对变径管进行内高压成形过程仿真,以壁厚分布为目标,探讨加载路径对成形质量的影响,可获得最优的加载路径。

2) 采用单因素优化方法,分别对进给量和内压力 2 工艺参数进行了优化,获得了最优的加载路径,通过数值模拟验证了优化方法的准确性。

3) 按照前段进给速度大于后段进给速度的双线性轴向进给方式进给能得到一条最优的轴向进给路径。

4) 梯形内压加载方式的成形结果明显优于线性内压加载方式。

参考文献:

- [1] 赵长财,周磊,张庆.薄壁管液压胀形加载路径研究[J].中国机械工程,2003,14(13):1087-1089.
- [2] 郎利辉,苑世剑,王仲仁,等.管件内高压成形及其在汽车工业中的应用现状[J].中国机械工程,2004,15(3):268-272.
- [3] 郎利辉,苑世剑,王仲仁,等.防锈铝变径管内高压成形过程数值模拟[J].中国有色金属学报,2001,11(2):211-216.
- [4] 藤宏春.管材内高压成形工艺参数优化设计[J].农业机械学报,2008,39(6):193-197.
- [5] 杨兵,张卫刚,林忠钦,等.管件液压成形中加载路径的优化设计方法研究[J].塑性工程学报,2006,13(4):10-14.
- [6] DOHMANN F, PRANGE T, SANDER M. Hydroforming, Need, Developments and Perspective[C]// Proceedings of the 6 th ICTP, Sept19-24, 1999:1197-1210.
- [7] 吴从强,杨连发,何玉林,等.加载路径对液压胀形管材成形性能的影响[J].现代机械,2008(3):6-8.
- [8] 黄灿彰,薛克敏,周林,等.加载路径对 T 型管内高压成形的影响[J].合肥工业大学学报,2008,31(4):544-547.