

Y 形管内高压成形过程数值模拟与实验研究

冯莹莹, 孙晓倩, 贾 越, 骆宗安, 吴庆林

(东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 为解决 Y 形管在内高压成形过程中极易出现的起皱、胀破等缺陷, 采用与主管相平行的背向冲头, 结合 DYNAFORM 模拟软件以探究背向冲头端面角度对成形效果的影响。并对使用平行冲头时, 内压力、补料比等主要影响因素对 Y 形管的成形性能、壁厚分布及应力应变分布的影响开展研究, 分析不同影响因素的相关影响机理, 以寻求制备最佳性能的 Y 形管的工艺参数范围。结果表明: 整形应力为 55 MPa、补料比为 1.3 : 1 时, Y 形管的成形效果最佳, 且采用平行冲头可明显提高支管的有效成形高度, 减少支管顶端胀破的机率, 使 Y 形管壁厚分布更为均匀, 成形效果更为优异。

关键词: 内高压成形; Y 形管; 内压力; 补料比; 背向冲头

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.05.031

中图分类号: TG394

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 05-0236-09

Numerical simulation and experimental study on hydroforming process for Y-shaped tube

Feng Yingying, Sun Xiaoqian, Jia Yue, Luo Zong'an, Wu Qinglin

(The State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: In order to solve the defects such as wrinkle and bursting etc. that were prone to occur during the hydroforming process of Y-shaped tube, a back punch parallel to main tube was designed, and the influence of the end angle of back punch on the forming effect was explored by simulation software DYNAFORM. Furthermore, when parallel punch was used, the influences of internal pressure, feed ratio and other main influence factors on the formability, wall thickness distribution and stress-strain distribution of Y-shaped tube were studied, and the relevant influence mechanism of different influence factors was analyzed to seek the range of process parameters for preparing Y-shaped tube with the best performance. The results show that when the shaping stress is 55 MPa and the feed ratio is 1.3 : 1, the forming effect of Y-shaped tube is the best, and the parallel punch can obviously increase the effective forming height of branch tube, reduce the probability of branch tip bursting, and make the wall thickness distribution of Y-shaped tube more uniform and the forming effect better.

Key words: hydroforming; Y-shaped tube; internal pressure; feed ratio; back punch

内高压成形技术不仅能够减轻产品重量、实现产品轻量化, 更能提高产品的强度及刚度, 是一种接近净成形的先进塑性成形技术, 并已成为管材成形技术领域的研究热点^[1-4]。而 Y 形管由于自身结构的上下及左右的不对称性使得其成形工艺尤为复杂, 在内高压成形过程极易出现胀破、褶皱及壁厚分布不均匀等缺陷^[5-8]。

国内外很多学者对 Y 形管的内高压成形开展了相关的研究工作。美国俄亥俄州立大学的 Jiratheeranant S 等^[9]研究发现, 初始管材长度会影响 Y 形管

的成形性能, 在相同的轴向进给条件下, 初始管材越短, 可成形的支管高度越高; 哈尔滨工业大学的刘刚等^[10]研究发现, 内压力对 Y 形管的成形效果影响较大, 采用预成形方式可使壁厚减薄率由 44% 降至 33%; 南京航空航天大学的 Guo X Z 等^[11]发现, 支管角度及摩擦因数对 Y 形管的成形效果和支管高度均会造成影响; 西北工业大学的王鑫等^[12]指出, 在 Y 形管支管顶端均存在 V 型的壁厚不变线且位于支管中上部, 减薄主要发生在 V 型壁厚不变线的上部区域, 其余部位均增厚。但截至目前仍未能完全克服 Y 形管极易出现顶端破裂及壁厚减薄率严重等问题。

故本文对背向冲头进行了相应的改进, 采用了与主管相平行的背向冲头 (图 1), 可有效减少支管顶端出现胀破的机率, 利用 DYNAFORM

收稿日期: 2023-03-11; 修订日期: 2023-05-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52105322)

作者简介: 冯莹莹 (1982-), 女, 博士, 副研究员

E-mail: fengyy@ral.neu.edu.cn

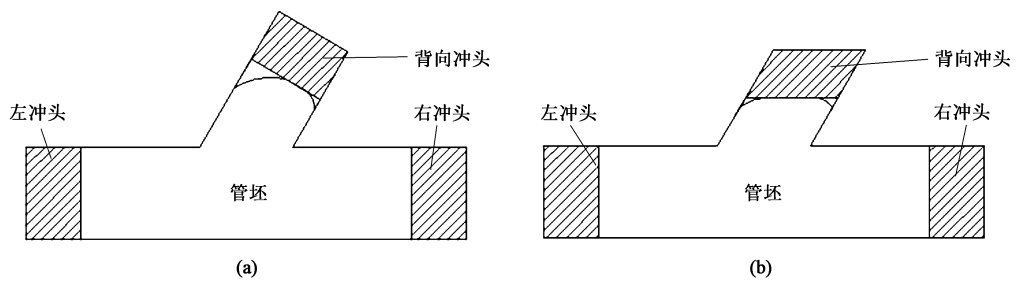


图 1 Y 形管内高压成形采用的背向冲头
(a) 传统背向冲头 (b) 改进后的与主管平行的背向冲头

Fig. 1 Back punch used in hydroforming of Y-shaped tube
(a) Traditional back punch (b) Improved back punch parallel to main pipe

有限元数值模拟软件研究内压力、补料比等影响因素对 Y 形管成形效果的影响。通过对比不同影响因素水平下的 Y 形管的壁厚减薄率、壁厚分布、应力应变分布等，研究不同影响因素的影响规律及机理，明确制备成形效果优异的 Y 形管的各影响因素的参考范围，并对相应的模拟结果进行实验验证。

1 Y 形管有限元建模

本文利用 UG 软件对不同部件进行相关建模，转为 IGES 格式导入 DYNAFORM 软件中。有限元模型包括 5 个部分：管坯、模具、左冲头、右冲头和背向冲头。本文所设计的 Y 形管为等径管，即支管直径与主管直径相同，均为 $\Phi 42\text{ mm}$ ，管坯采用 SUS304 不锈钢。Y 形管的有限元模型如图 2 所示，几何参数如表 1 所示。模拟时间设定为 0.01 s 。管坯定义为变形体，模具及冲头均定义为刚体，并采用四边形网格划分单元体，模型各部件的单元类型如表 2 所示。

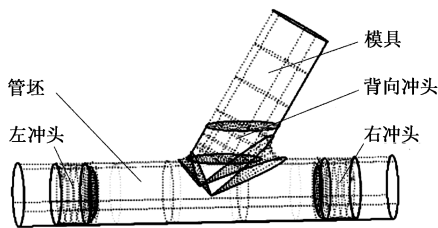


图 2 Y 形管内高压成形有限元模型
Fig. 2 Finite element model of hydroforming for Y-shaped tube

表 1 Y 形管几何参数

Table 1 Geometric parameters of Y-shaped tube

参数	模具圆角 半径/mm	支管倾斜 角度/(°)	管坯外 径/mm	管坯壁 厚/mm	管坯原始 长度/mm
数值	10	60	$\Phi 42$	1	200

表 2 模型的单元类型

Table 2 Component types of model

部件名称	网格类型	单元类型	单元数量
管坯	可变形壳体	四边形	6400
模具	刚体-壳单元	四边形	11808
左、右冲头	刚体-壳单元	四边形	1392
背向冲头	刚体-壳单元	四边形	1744

本文选用的实验材料为 304 不锈钢，按照 GB/T 228.1—2021^[13] 的规定，制备 304 不锈钢管的拉伸样品，并在室温下测试其力学性能，采用 INSTRON4206 电子万能材料实验机开展拉伸实验，得到的性能参数如表 3 所示。由于材料厚向系数 R 值为 1.02，该材料可视为各向同性。

表 3 304 不锈钢的力学性能参数

Table 3 Mechanical property parameters of 304 stainless steel

参数	屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	伸长率 $A/\%$	硬化模量 F/MPa	材料厚向 系数 R
数值	356.6	638.74	51	2028	1.02

2 Y 形管内高压成形过程

在 Y 形管的内高压成形过程中有诸多的影响因素，模具的圆角设计、内压力、摩擦因数、补料比、背向冲头端面角度及背向冲头的后退位移量均会影响 Y 形管的成形效果，如果这些因素不合适，均会导致 Y 形管起皱或破裂失效。在诸多的影响因素中，内压力及补料比对 Y 形管的壁厚减薄率及成形效果的影响较为显著^[14-15]。

2.1 内压力对 Y 形管内高压成形的影响

内高压成形过程中，管坯发生初始屈服的压力

即坯料发生变形的最小压力,可根据式(1)计算获得^[16]。

$$P_y = R_{eL} \cdot \frac{2t}{D-t} \quad (1)$$

式中: D 为管坯外径, mm; P_y 为初始屈服压力, MPa; t 为管材壁厚, mm。

成形结束时的最大内压力——整形应力 P_b 可以通过式(2)获得^[15]。

$$P_b = R_m \cdot \frac{4t}{D-t} \quad (2)$$

相关参数代入式(1)可计算得到管材的初始屈服压力为 17.39 MPa, 即内压达到 17.39 MPa 时, 管坯开始发生塑性变形。为研究成形结束时的最大内压力较低对 Y 形管成形效果的影响, 先模拟整形应力为 25 MPa 时的成形情况, 如图 3 中加载路径 1 所示。

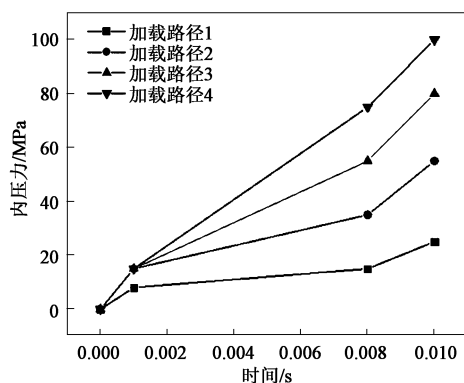


图 3 不同内压力下的加载路径

Fig. 3 Loading paths under different internal pressures

相关参数代入式(2)可计算得到管材的整形应力为 62.31 MPa。由于式(2)对 Y 形管整形应力的估算有一定误差, 且相对于不同支管角度其整形应力也会有一定差别, 所以, 为了探究 Y 形管合适的内压力加载范围, 设置整形应力为 25、55、80 和 100 MPa, 具体内压力加载路径如图 3 所示。根据相关实际经验设计总补料量为 60 mm, 按左、右补料比例为 1.5 : 1 分配, 即左冲头补料量为 36 mm, 右冲头补料量为 24 mm。而由于在同一内压力下, 背向冲头的后退位移量较小, 会阻碍轴向的变形区金属流向支管, 易导致过渡区圆角出现内凹或起皱等缺陷, 此时则需要更大的内压力去避免内凹或起皱等失稳情况的产生。故将整形应力为 25 和 55 MPa 时的背向冲头的后退位移量设计为 20 mm, 整形应力为 80 和 100 MPa 时的背向冲头的后退位移量设计为 25 mm, 具体的模拟方案如表 4 所示。

表 4 不同内压力下的模拟方案

Table 4 Simulation schemes under different internal pressures

模拟方案	1	2	3	4
内压力加载路径	1	2	3	4
整形应力/MPa	25	55	80	100
背向冲头后退位移量/mm	20	20	25	25
左冲头补料量/mm	36	36	36	36
右冲头补料量/mm	24	24	24	24

2.1.1 不同内压力对 Y 形管成形效果的影响

4 种不同内压力加载路径的 Y 形管成形效果如图 4 所示。图 4a 中, 当整形应力为 25 MPa 时, 会由于内压力过低, Y 形管的变形区金属来不及流入支管而出现轴向起皱及过渡区内凹的现象, 这是成形内压力过低的典型缺陷, 其相应的实验结果如图 4b 所示。随着内压力的增大, 起皱等成形缺陷会得到缓解, 当内压力过大时, Y 形管的金属流动受阻, 左、右过渡区材料出现堆积, 而支管顶端壁厚减薄严重, 故内压力较大时, 支管顶端容易出现胀破等缺陷。

2.1.2 不同内压力对 Y 形管壁厚分布的影响

图 5 及图 6 为通过 DYNAFORM 有限元模拟导出的不同内压力下的 Y 形管壁厚分布及应变分布。由图 5 可以发现相关壁厚的分布规律。

(1) 壁厚值最小处位于支管顶端的右侧圆角处。一是因为支管变形区处于双向拉应力状态使得支管处壁厚减薄, 且支管顶端右侧圆角处所受拉应力最大, 因此, 减薄效果最为显著; 二是因为金属流动方向在模具圆角处发生改变, 流动受阻, 右侧圆角处得不到补充, 故减薄严重; 三是因为本文所采用的平行冲头与传统冲头相比, 支管顶端左右两侧的胀形高度一致, 支管左右两侧倾角却大不相同, 左侧倾角为 120°, 右侧倾角为 60°, 右侧倾角较小, 金属流动受阻使得右侧向支管顶端材料补给困难, 故支管右侧减薄严重, 易发生破裂。

(2) 模具的过渡圆角区域壁厚突然增厚, 随后壁厚明显减薄。其原因在于过渡圆角区处于压应变状态转变为拉应变状态的区域, 受力情况相对复杂, 故壁厚呈现先增大后减少的趋势, 且过渡区的壁厚增厚效果和壁厚减薄效果均与内压力大小有关。内压力过大, 会使得金属流动受阻, 过渡区圆角处金属堆积严重; 而支管顶端材料补给不足, 支管顶端壁厚减薄严重, 使得 Y 形管壁厚分布不均, 成形效果不佳。

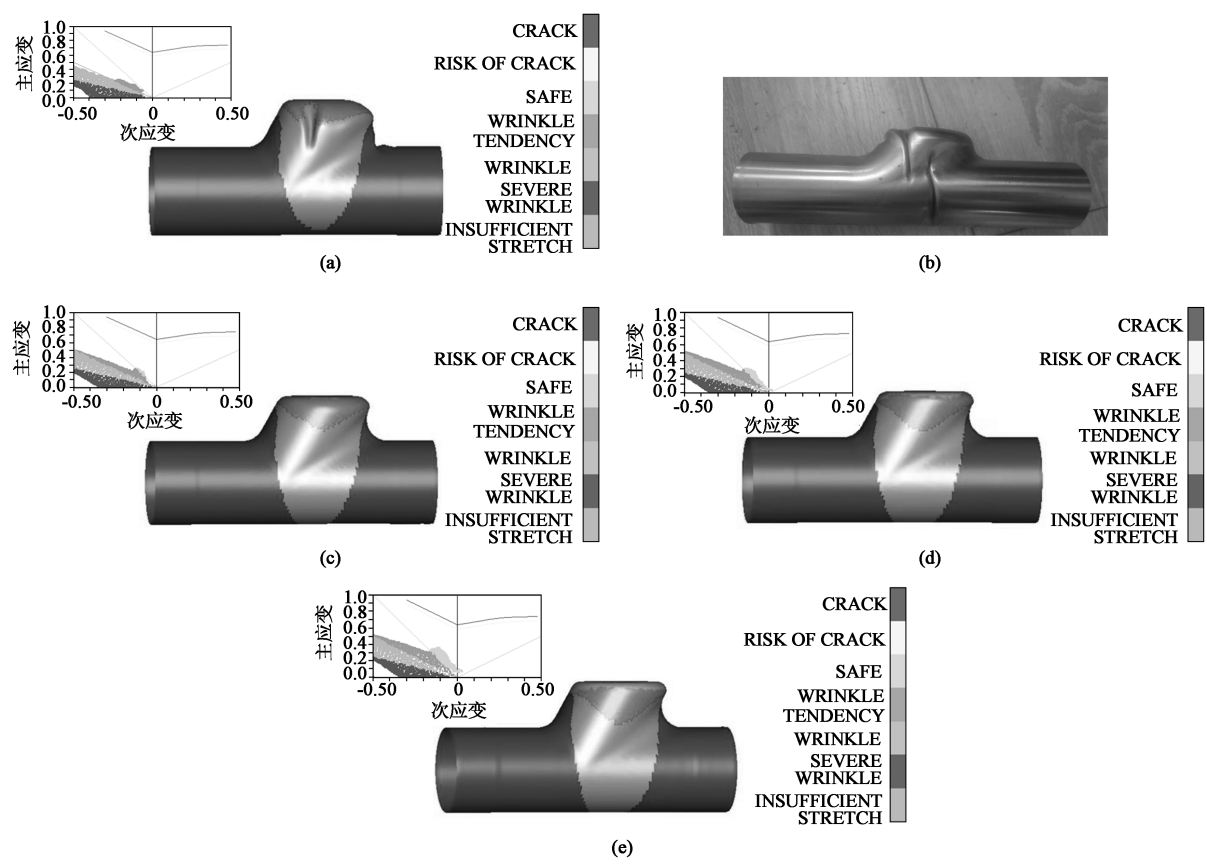


图 4 不同内压力下的 Y 形管成形效果图

(a) 整形应力为 25 MPa (b) 整形应力为 25 MPa 时的实验结果 (c) 整形应力为 55 MPa
(d) 整形应力为 80 MPa (e) 整形应力为 100 MPa

Fig. 4 Forming effect diagrams of Y-shaped tube under different internal pressures

(a) Shaping stress of 25 MPa (b) Experimental result at shaping stress of 25 MPa (c) Shaping stress of 55 MPa
(d) Shaping stress of 80 MPa (e) Shaping stress of 100 MPa

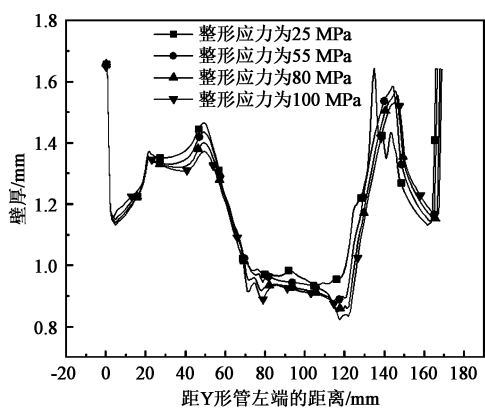


图 5 不同内压力下的 Y 形管上部壁厚分布

Fig. 5 Upper wall thickness distributions for Y-shaped tube under different internal pressures

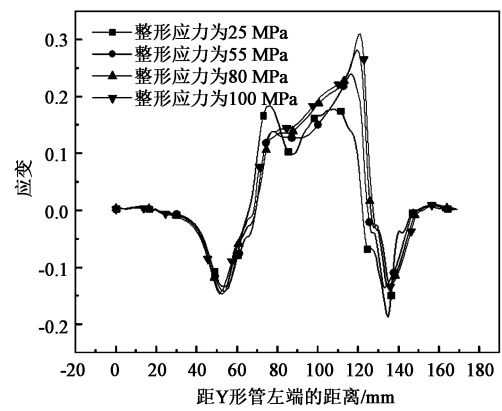


图 6 不同内压力下的 Y 形管上部应变分布

Fig. 6 Upper strain distributions for Y-shaped tube under different internal pressures

当整形应力为 55 MPa 时，Y 形管的成形效果最佳，应变分布最为均匀，壁厚减薄率最小。如图 7 所示，Y 形管的最薄壁厚为 0.882 mm，壁厚减薄率为 11.829%。

2.2 补料比对 Y 形管内高压成形的影响

Y 形管对于不同的支管角度、不同的背向冲头角度均有相应合适的左右补料比范围与之相匹配，使其成形的 Y 形管壁厚分布更为均匀，支管成形高

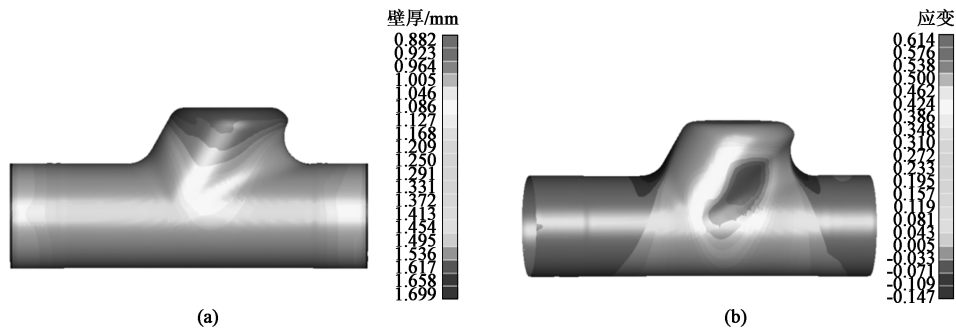


图 7 整形应力为 55 MPa 时的 Y 形管模拟结果

(a) 壁厚分布 (b) 应变分布

Fig. 7 Simulation results of Y-shaped tube with shaping stress of 55 MPa

(a) Wall thickness distribution (b) Strain distribution

度更高。为找到与支管角度为 60°、背向冲头与主管相平行的 Y 形管匹配的补料比范围,设计补料比分别为 1 : 1、1.3 : 1、1.5 : 1、2 : 1。不同补料比的模拟方案如表 5 所示。

表 5 不同补料比的模拟方案

Table 5 Simulation schemes under different feed ratios

模拟方案	1	2	3	4
补料比	1 : 1	1.3 : 1	1.5 : 1	2 : 1
左冲头补料量/mm	30	34	36	40
右冲头补料量/mm	30	26	24	20
背向冲头后退位移量/mm	20	20	20	20
整形应力/MPa	55	55	55	55

2. 2. 1 不同补料比对 Y 形管成形效果的影响

补料比对 Y 形管的成形效果具有重要影响,补料比不合适极易造成过渡区圆角内凹或起皱等缺陷。如图 8a 所示,当补料比为 1 : 1 时,由于 Y 形管的左右不对称,右侧金属补给较多,即会产生右侧过渡区的起皱缺陷(图 8a 中圈示部分)。通过调整补料比,减少右侧金属补给,则缺陷可以得到缓解,如图 8b~图 8d 所示。

2. 2. 2 不同补料比对 Y 形管壁厚分布的影响

图 9 及图 10 为通过 DYNAFORM 有限元模拟导出的不同补料比下的 Y 形管的壁厚分布及应变分布,可以发现相关分布规律。(1) 不同补料比下的壁厚分布规律与不同内压力下的壁厚分布规律大体

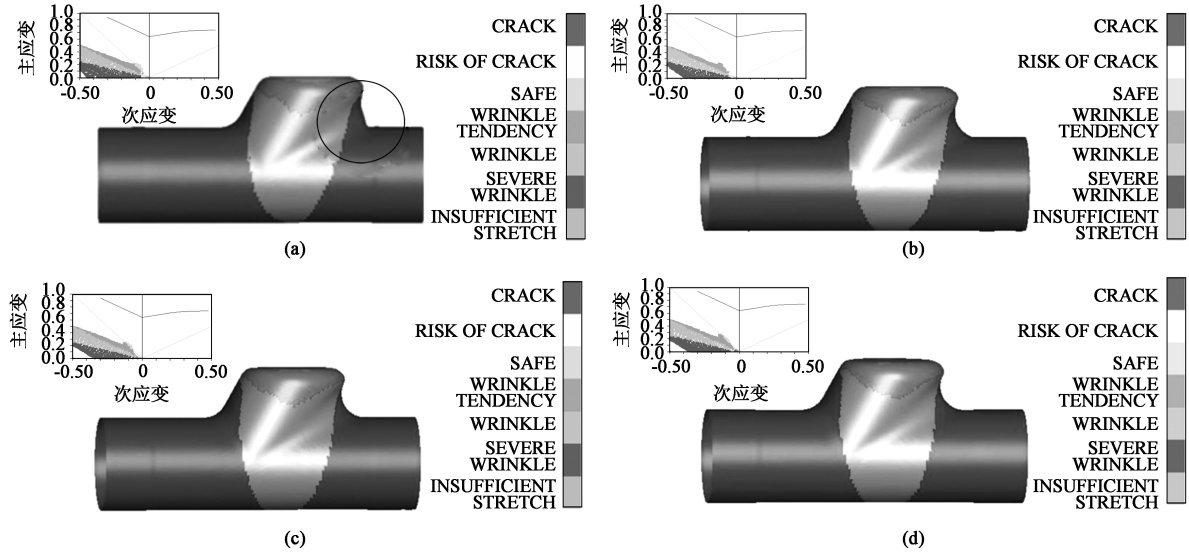


图 8 不同补料比下的 Y 形管成形效果图

(a) 1 : 1 (b) 1.3 : 1 (c) 1.5 : 1 (d) 2 : 1

Fig. 8 Forming effect diagrams of Y-shaped tube under different feed ratios

相似,壁厚分布规律均受相关应力应变状态的影响。(2) 不同的补料比主要影响 Y 形管的壁厚分布,对

于过渡区圆角处尤为明显。随着左右补料比的减小,右侧的变形区金属补给增多,使右侧过渡区圆

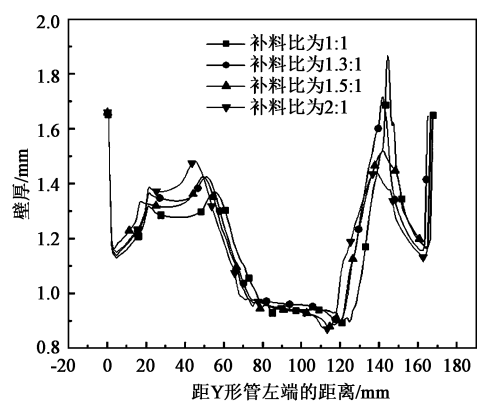


图 9 不同补料比下的 Y 形管上部壁厚分布

Fig. 9 Upper wall thickness distributions for Y- shaped tube under different feed ratios

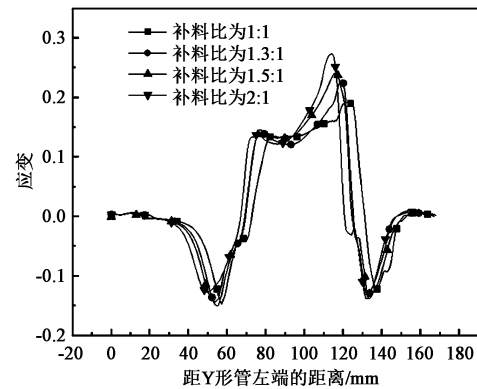


图 10 不同补料比下的 Y 形管上部应变分布

Fig. 10 Upper strain distributions for Y- shaped tube under different feed ratios

角壁厚增厚。当补料比为 2 : 1 时, 左侧过渡区壁厚

增厚严重, 其原因在于: 左侧金属补给较多, 材料无法全部流至支管, 故堆积在左侧过渡区圆角; 过渡区圆角处于压应变状态, 转变为拉应变状态, 且补料比为 2 : 1 时所受压应力较小, 壁厚相对减薄较小。(3) 随着补料比的增大, 壁厚分布及相关应变分布规律整体相对左移。当补料比为 1.3 : 1 时, 左右两侧过渡区圆角壁厚增厚较不明显, 且补料比为 1.3 : 1 时的右侧支管圆角处的应力集中得到了缓解, 壁厚分布更为均匀, 壁厚增厚率最小, Y 形管的成形效果最佳。如图 11 所示, Y 形管的最薄壁厚为 0.902 mm, 壁厚减薄率降至 9.785%。

综合考虑确定, 当整形应力为 55 MPa、左右两端补料比为 1.3 : 1、总进给量为 60 mm、平行冲头后退位移量为 20 mm 时, Y 形管的成形性能最佳。

2.3 模拟结果验证实验

相关实验验证在东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室自主研发的 200 MPa 内高压成形机上进行, 如图 12 所示。对模拟结果最优的工艺参数进行实验验证。

对成形后的管坯进行轴向线切割, 并在剖面的不同位置取 11 个点测量管壁壁厚, 与模拟结果进行比较, 如图 13 和表 6 所示。实验结果与有限元模拟结果吻合, 误差在±5%以内, 准确度较高。

2.4 不同端面角度的背向冲头对 Y 形管成形的影响

Y 形管内高压成形过程较复杂, 影响因素较多, 不同影响因素之间也会相互影响。其中背向冲头的端面角度也会对 Y 形管成形效果产生较大影响。当

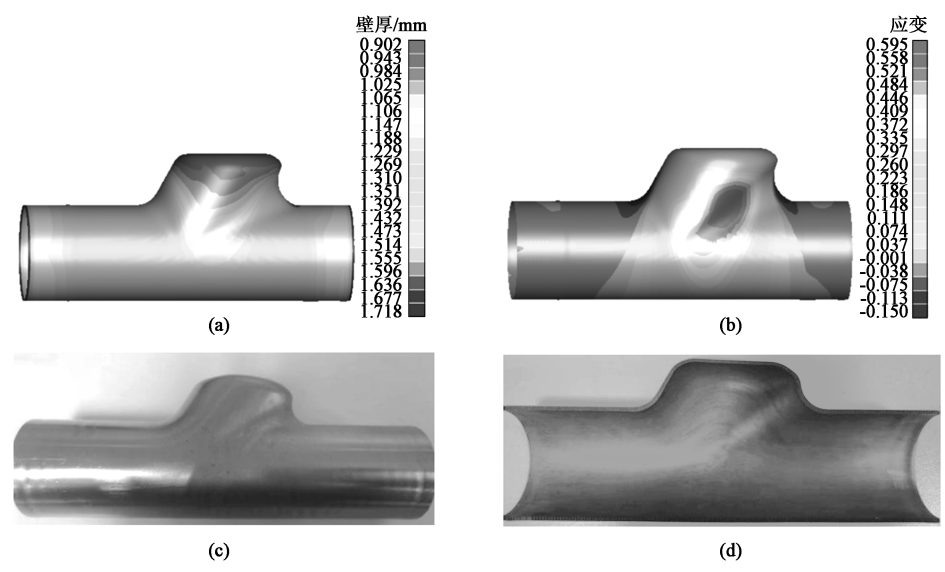


图 11 补料比 1.3 : 1 时的 Y 形管模拟结果

(a) 壁厚分布 (b) 应变分布 (c) 实验试样 (d) 实验试样剖面图

Fig. 11 Simulation results of Y- shaped tube with feed ratio of 1.3 : 1

(a) Wall thickness distribution (b) Strain distribution (c) Experimental specimen (d) Cross-section diagram of experimental specimen

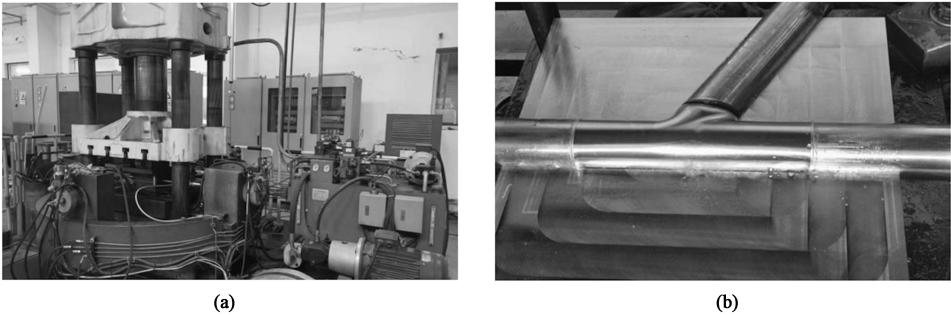


图 12 200 MPa 内高压成形机 (a) 和模具及试样 (b)

Fig. 12 200 MPa hydroforming machine (a) and die and specimen (b)

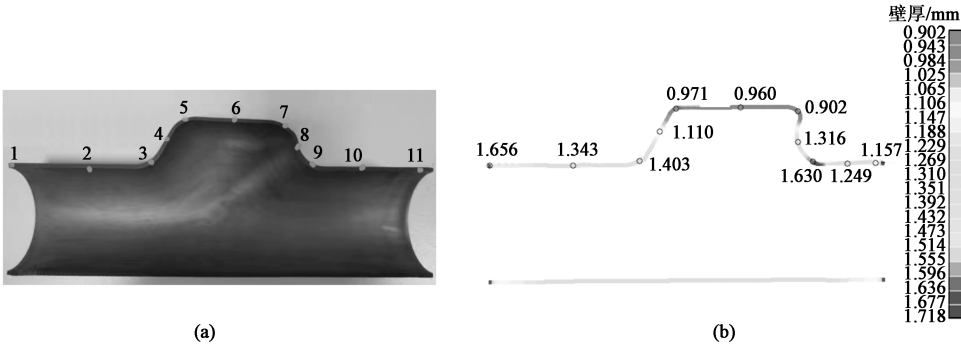


图 13 壁厚测量点取样位置 (a) 和模拟结果 (b)

Fig. 13 Sampling positions of wall thickness measurement points (a) and simulation results (b)

表 6 管坯轴向剖面 11 个典型位置的模拟和实验所得壁厚值 (mm)

Table 6 Wall thickness values of simulation and experiment at eleven typical locations on axial profile of tube blank (mm)

取点位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
模拟值	1.656	1.343	1.403	1.110	0.971	0.960	0.902	1.316	1.630	1.249	1.157
实际值	1.605	1.405	1.424	1.175	0.965	0.934	0.887	1.257	1.684	1.302	1.231

采用传统的背向冲头成形时，由于背向冲头与主管之间存在夹角，在内高压成形的第 1 阶段，背向冲头对支管起不到完全的约束作用，支管处于自由胀形状态，由于背向冲头对支管顶端无反推力作用，导致 Y 形管在过渡区圆角处容易产生内凹或褶皱等缺陷。如图 14 所示，由于背向冲头对支管成形未起到约束作用且模具右侧圆角半径过大，使其支管顶端在后续背向冲头的反推力作用下形成褶皱，影响 Y 形管的成形效果，且褶皱后续无法得到消除。通过改变背向冲头的端面角度，采用平行冲头即可避免该缺陷产生，使得 Y 形管的壁厚分布更均匀，成形效果更佳。

采用传统的背向冲头成形时，支管顶端左侧的拉应力集中严重，壁厚减薄最为严重。通过改变背向冲头的端面角度可使支管顶管左侧的拉应力集中得到缓解，使支管顶端的壁厚减薄率下降，以减少其出现胀破的可能，使支管的有效成形高度大大提

升，使 Y 形管的成形效果更佳。

评价 Y 形管成形效果有两个标准，壁厚分布的均匀性和支管的有效成形高度。如图 15 所示，均采用与图 11 相同的加载路径，在相同的补料比和内压力的条件下，调整背向冲头位置，得到 Y 形管所能成形的极限高度。可以观察到，采用传统背向冲头成形的 Y 形管的壁厚减薄率和壁厚增厚率均较大。通过改变背向冲头的端面角度，采用平行冲头，可使 Y 形管的壁厚减薄率和壁厚增厚率下降，改善其壁厚分布，使其壁厚分布更为均匀。

而传统背向冲头成形的 Y 形管的支管高度最大，为 37 mm，但在实际应用中支管顶端的壁厚最薄处要经过切削加工，因此，实际有效的成形高度较小，仅为 19 mm，如图 15a 所示。通过改变背向冲头的端面角度使支管的有效成形高度由 19 mm 提高至 35 mm (图 15b)，使支管的极限有效成形高度由轴向总进给的 31% 左右提升至 58% 左右。

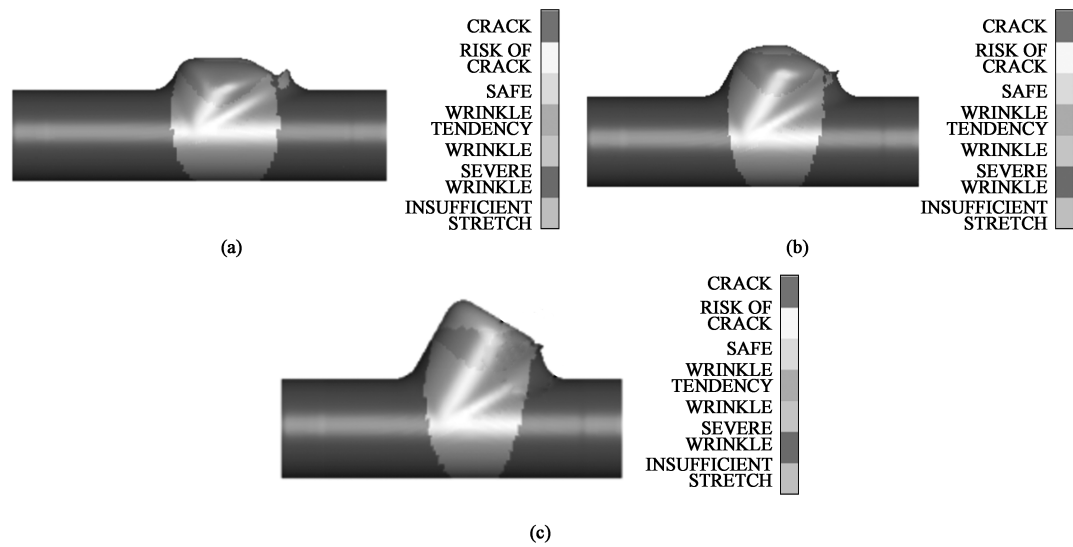


图 14 传统背向冲头在不同后退位移量下的 Y 形管成形效果
(a) 30% (b) 80% (c) 100%

Fig. 14 Forming effects of Y-shaped tube for traditional back punch under different receding displacements

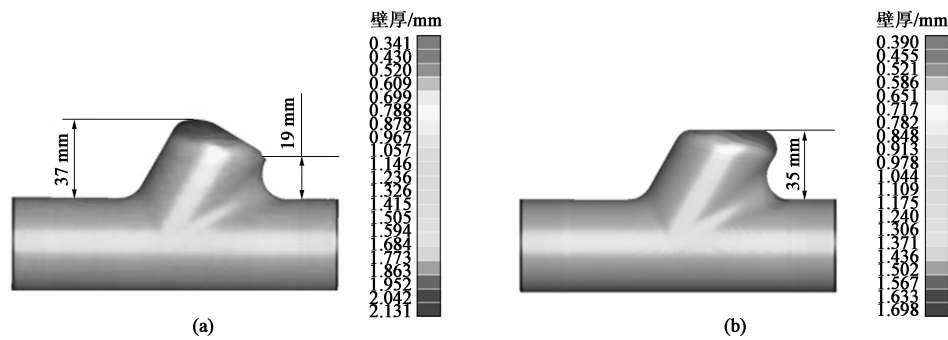


图 15 不同背向冲头的 Y 形管支管的成形高度
(a) 传统的背向冲头 (b) 与主管平行的背向冲头

Fig. 15 Forming heights of Y-shaped tube branch with different back punches
(a) Traditional back punch (b) Back punch parallel to main pipe

3 结论

- (1) 内压力过低会使 Y 形管轴向起皱，且后期无法展开；在成形的后期，内压力不合适仍会使 Y 形管出现过渡区内凹或胀破等缺陷。
- (2) 补料比主要对 Y 形管的壁厚分布造成影响，补料比不合适会使过渡区出现内凹等缺陷，且由于右侧过渡圆角小，金属流动阻力大，使得右侧过渡圆角更易出现内凹的缺陷。
- (3) 采用改进后的平行冲头可以大大增加支管的有效成形高度，减少支管顶端出现胀破的机率，平行冲头的支管的有效成形高度最大可达到轴向总进给的 58%。
- (4) Y 形管成形的不同影响因素之间也会产生

影响，采用平行冲头后可以很大程度缓解由于其他影响因素造成的过渡区内凹或褶皱。

参考文献：

[1] 韩聪,苑世剑. 汽车轻量化结构件内高压成形技术与装备最新进展 [J]. 汽车工艺师, 2017, 21 (4): 24-26.
Han C, Yuan S J. The latest development of internal high pressure forming technology and equipment for automotive lightweight structural parts [J]. Auto Manufacturing Engineer, 2017, 21 (4): 24-26.

[2] 朱书建. T 型三通管内高压成形的仿真与优化研究 [D]. 柳州: 广西科技大学, 2018.
Zhu S J. Simulation and Optimization of High Pressure Forming in T-shape Tube [D]. Liuzhou: Guangxi University of Science and Technology, 2018.

[3] Zhang Z C, Kang Y J, Furushima T, et al. Deformation behaviour of metal micro tube during hydroforming process [J]. Procedia Manufacturing, 2020, 50: 328-331.

- [4] Bell C, Corney J R, Zuelli N, et al. A state of the art review of hydroforming technology: Its applications, research areas, history, and future in manufacturing [J]. International Journal of Material-Forming, 2020, 13 (5): 789-828.
- [5] 续迎萍, 崔岸, 马浩通, 等. 基于模糊控制的 Y 形管内高压成形加载路径优化 [J]. 机床与液压, 2022, 50 (10): 19-25.
Xu Y P, Cui A, Ma H T, et al. Optimization of loading path for internal high pressure forming in Y-shaped tube based on fuzzy control [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2022, 50 (10): 19-25.
- [6] Zhou B J, Xu Y C. Wrinkle behavior of hydroforming of aluminum alloy double-layer sheets [J]. JOM, 2016, 68 (12): 3201-3207.
- [7] 彭俊阳, 罗德高, 滕步刚, 等. 薄壁 Y 型三通管内高压成形起皱与开裂分析 [J]. 材料科学与工艺, 2017, 25 (4): 11-16.
Peng J Y, Luo D G, Teng B G, et al. Analysis on wrinkling and cracking initiation in hydroforming thin-walled Y-shaped tubes [J]. Materials Science and Technology, 2017, 25 (4): 11-16.
- [8] 张举, 徐雪峰, 肖尧, 等. 基于区域润滑的 Y 型管内高压成形壁厚分布优化 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (9): 73-79.
Zhang J, Xu X F, Xiao Y, et al. Optimization of wall thickness distribution of Y-shaped tube in hydroforming based on area lubrication [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (9): 73-79.
- [9] Jiratharanat S, Hartl C, Altan T. Hydroforming of Y-shapes-product and process design using FEA simulation and experiments [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014, 146 (1): 124-129.
- [10] Liu G, Peng J Y, Wang X S, et al. Effects of preform on thickness distribution of hydroformed Y-shaped tube [J]. Advanced Materials Research, 2011, 189-193: 2796-2800.
- [11] Guo X Z, Tao J, Yuan Z, et al. Hydroforming simulation and preparation of low activation martensitic steel Y-shapes [J]. Nuclear Engineering & Design, 2011, 241 (8): 2802-2806.
- [12] 王鑫, 余心宏. Y 型三通管内高压成形机理及补料比的影响研究 [J]. 材料工程, 2013, (1): 35-39, 72.
Wang X, Yu X H. Hydroforming mechanism of Y-shaped tube and influence of axial feed ratio on forming [J]. Journal of Materials Engineering, 2013, (1): 35-39, 72.
- [13] GB/T 228.1—2021, 金属材料 拉伸试验 第 1 部分: 室温试验方法 [S].
GB/T 228.1—2021, Metallic materials—Tensile testing—Part 1: Method of test at room temperature [S].
- [14] 徐佳俊, 徐雪峰, 范玉斌, 等. 基于响应面法的 Y 型管内高压成形加载路径优化 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (6): 67-75.
Xu J J, Xu X F, Fan Y B, et al. Loading path optimization for internal high-pressure forming of Y-shaped tube based on response surface method [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (6): 67-75.
- [15] Siano D. Three-dimensional/one-dimensional numerical correlation study of a three-pass perforated tube [J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2011, 19 (4): 1143-1153.
- [16] 肖尧. Y 型管内高压成形影响因素研究及壁厚分布优化 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2019.
Xiao Y. Study on the Influencing Factors of Hydroforming of Y-shaped Tube and Thickness Distribution Optimization [D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2019.

中国机械工程学会塑性工程分会关于邀请参加 “2023 上海锻压技术与装备展”的通知

各有关单位:

目前, 中国的先进制造业蓬勃发展, 航空航天、汽车、核电、轨道交通等基础工业得到了国家的大力支持, 对关键零部件的需求逐年攀升, 要求不断提高, 为我国锻压产业提供了广阔的市场, 也带来了良好的机会。同时, 中国经济已转向高质量发展阶段, 中国锻压行业在开拓市场、扩大贸易往来等方面需求迫切。“上海锻压技术与装备展”是中国机械工程学会塑性工程分会、中国机械总院集团北京机电研究所有限公司主办, 《锻压技术》、《塑性工程学报》为支持媒体的集设备工艺产品展示、主题论坛、专业培训、“科创中国”成果展示等为主的专业性展览。该展会与“中国国际模具技术与装备展览会”、“上海热处理装备与技术展览会”同期举办, 近五年该系列展会累计展出面积超 37 万平方米。

“2023 上海锻压技术与装备展”将于 2023 年 6 月 11-14 日在上海国家会展中心举办, 作为系列展会的重要组成部分, 本展自 2020 年举办以来得到了锻压行业广大企业、科研院所的支持, 展示范围包括: 下料、加热、成形设备、自动化生产线、模具、检测、产品、工艺设计和模拟软件等锻造生产全产业链。展会同期举办“锻压技术与装备高质量发展论坛”、“全国锻压技术与装备高级研修班”、“科创中国”成果展示等重点活动, 并将组织和吸引更多专业观众前来观展。

展会的组织筹备工作已全面展开, 主办单位正在接受中外企业的参展报名。我们诚挚的邀请贵企业参加本次展览会, 我们将为您的参展提供一切便利和良好的服务。

有关参展事宜, 请直接与中国机械工程学会塑性工程分会联系。

联系人: 林玉彤 (18811346037, 微信同号), 秦思晓 (15201461873, 微信同号)

中国机械工程学会塑性工程分会
中国机械总院集团北京机电研究所有限公司