

双金属复合三通管液压胀形技术数值模拟

王会凤, 韩静涛, 刘博纶

(北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要:双金属复合管由两种不同的金属材料构成,与单一金属管相比,复合管充分利用基管和覆管的最佳性能,可被广泛应用于石油、化工、核工业、医疗、食品等领域。目前研究多集中在双金属直管成形中。本文提出一种采用液压成形工艺套接成形双金属复合异形管的方法,重点考虑加载路径、加载方式、材料的变形程度、摩擦力对变形的影响等问题。通过数值模拟方法,获得双金属异形管成形中的关键技术参数,初步探讨了多金属异形管的成形问题。

关键词:双金属;管件;液压胀形;数值分析

中图分类号:TG394

文献标志码:A

文章编号:2095-2783(2014)02-0137-03

Numerical simulation study on bimetal T-tube hydraulic bulging technology

Wang Huifeng, Han Jingtao, Liu Bolun

(School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Bimetal composited tube is constituted by two different metals. Compared with single metal tube, composited tube can make the best of optimum performance of based tube and clad tube, and could be widely applied in the petrochemical, nuke, medical appliance and food fields. In the present research, straight bimetal tubes are taken as the objectives and studied deeply. A new hydroform process is introduced, which can be used to form bimetal composited special tubes. Loading path, loading method, deformation of material, effect of frictional force, etc. are studied fully using numerical simulation and the key technique and specialty of this technology are gained. The multi-metal special tube is discussed preliminarily.

Key words: bimetal; tubes; hydraulic bulging; numerical analysis

双金属复合管是由内外两层不同金属管材,通过不同的变形和连接方式实现层间结合的复合管材^[1]。复合管材在受到外力作用时需保证内外层材料紧密连接不分离。复合管在设计时通常使基材满足管材设计应力^[2]、覆材抵抗腐蚀或磨损等^[3]。由于复合管内外层的材料种类不同,通过复合加工可以在减少贵金属使用量的前提下充分发挥两种材料的特性,并且使管材的力学性能、耐磨性和耐腐蚀性能得到明显改善,具有良好的经济效益和发展前景。

但目前文献中尚无双金属(多金属)三通管(异形管)的相关报道,结合现有研究,笔者提出采用液压胀形的方法成形异形管的工艺方案。该工艺不但可以提高生产零件质量,而且可缩短产品生产周期,进而减少生产成本,应用前景十分广阔。

1 双金属三通管液压成形技术简介

在实际生产中,最早使用的制备复合管的方法是轧制和堆焊,之后出现了爆炸焊,现在可以使用的方法有轧制、铸造、挤压、钎焊、焊接和电磁压接等^[1]。这些方法大部分利用金属的局部或整体塑性成形进行复合,也有方法采用非塑性成形方式^[2]。这些成形方法使得复合管内外层之间实现机械连接

或者冶金连接。液压胀形法是将内外管套装在一起,对管内加压,随内部压力升高,内层管由弹性变形状态进入塑性变形状态,贴紧外管,外管发生弹性变形,两管紧密贴合在一起,当内管压力卸载后,外层回复能力大于内层,实现紧密的机械连接^[2]。

对于相关复合管制备方法主要研究有:赵为民^[1]对已有的双金属复合管制造方法进行了总结和比较;陈海云和徐长林^[3]研究了双金属复合管的塑性成形机理;王学生等^[4]又进行了复合管液压成形压力计算方法的研究,并通过实验进行了比较验证。

三通管是管路系统中不可缺少的管件之一,广泛应用于电力、化工、石油、船舶以及机械行业中。由于经济技术条件的限制,我国的液压胀形工艺研究起步较晚,但发展速度很快。目前研究主要集中在单金属三通管件的成形研究,且研究主题只要集中在成形的工艺参数、成形设备、成形过程中的应力应变分析和管材成形的模拟分析。如燕山大学的王连东等^[5]研制了普通液压机超高压液压胀形集成装置,获得了一种较为节能高效的液压加工设备;余心宏等^[6]对三通管复合胀形过程进行了模拟,指出了有限元分析方法在异型管液压成形产品参数预测中的可行性;韩英淳等^[7]就汽车用部件的液压成形工艺进行了研究。采用液压胀形成形双金属复合管件

收稿日期:2013-10-29

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110006120003);中央高校基本科研业务费资助项目(FRF-TP-12-040A)

作者简介:王会凤(1977—),女,讲师,主要研究方向为材料加工工程, wanghuifeng@126.com

则集中在直管复合中,曾德智等^[8]进行了双金属复合管液压成形的有限元模拟和实验研究,指出了双金属共同变形的力学特性关系。

考虑到双金属管的优势(如碳钢-黄铜双金属复合管:采用碳钢管作为基层,具有较高强度和刚性,工艺性能好且价格便宜,而黄铜作为覆层具有高导热,抗环境介质的腐蚀和抗磨损能力强,材料成本低),参考单金属管成形工艺,提出采用胀形法一次成形双金属异形管的方法(本文主要研究零件为三通管件)。成形初始的管材非双金属复合管如图1所示。

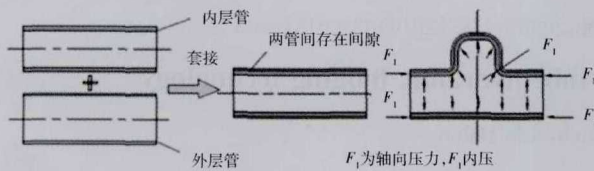


图1 双金属复合三通管胀形工艺过程
Fig. 1 Hydraulic bulging processing of bimetal composited T-tubes

该项技术中关键问题包括:确定液压成形加载路径和载荷大小,分析双金属结合面处(特别是主管和支管结合面处)金属的流动方式,研制和开发专用试验设备成形出产品零件,研究所生产异形管件的微观组织,检验成形界面是否符合要求,若未达到使用要求,考虑后续的热处理工艺。

2 双金属复合异形管的成形机理数值模拟

有限元数值模拟能够准确地反映液压胀形过程,预报成形缺陷,显示成形情况,给出壁厚的分布情况;并且可以方便地调整各项参数,研究其对成形缺陷和壁厚分布的影响,以获得最佳的成形参数。

2.1 坯料尺寸及载荷大小的理论计算

图2为拟成形的T型三通管件模型。该模型尺寸为:支管高度10 mm,直径18 mm,长度60 mm,采用inventor建模。

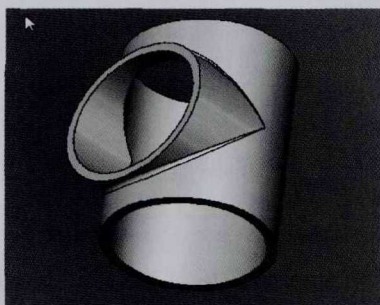


图2 T型三通管模型
Fig. 2 Model of the T-tube

根据成品可设计成形后的三通管模型。由于所采用液压胀形管的内部应处于封闭状态,故支管部分顶端封闭。该模型为采用复合胀形时获得的最佳

成形件,如图3所示。

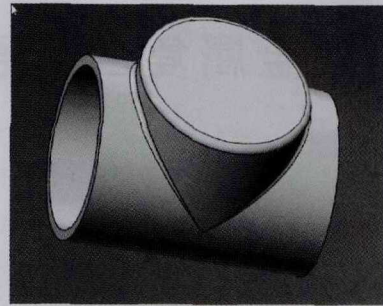


图3 成形后T型三通管
Fig. 3 Model of the T-tube after bluing

运用 inventor 软件自带功能计算该工件的体积得到 $V=3\ 996.842\ \text{mm}^3$,同时已知等径三通管外径 $D=18\ \text{mm}$,内径 $d=16\ \text{mm}$,并且事先设定所需要的加工余量 $\Delta L=15\ \text{mm}$,得到:

$L_{\text{pmax}}=74.84+15=89.84\ \text{mm}$,包含加工余量;

$L_{\text{pmin}}=74.84\ \text{mm}$,不包含加工余量。

进而对成形压力进行计算获得如下载荷数据。

液体压力:纯铜 90 MPa,纯铝 30 MPa,铜铝复合管 60 MPa;

轴向压力:纯铜 200 MPa,纯铝 70 MPa,铜铝复合管 135 MPa;

平衡力:纯铜 80 MPa,纯铝 20 MPa,铜铝复合管 50 MPa;

左右进给量:7.5 mm;

上冲头位移:10 mm。

2.2 双金属管与单金属管成形比较

为了比较单金属和双金属的成形特点,按照表1进行数值模拟,同时 STEP 步骤设置 Time=0.05。

表1 单金属与双金属管成形比较实验设计表
Table 1 Experimental design table for the comparison between single-metal and bimetal pipe forming

材料	外径/ mm	壁厚/ mm	液体压力/ MPa	轴向压力/ MPa
Cu	18	1	30	70
Al	18	1	60	100
Cu/Al	18/17	0.5/0.5	40	80

在采用轴向加载的情况下,得到了以下结果。其中铜、铝和复合管的应变云图如图4所示,其支管高度如表2所示。

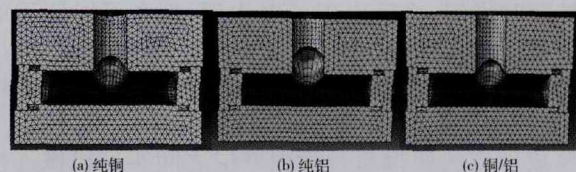


图4 单金属与双金属成形的应变云图
Fig. 4 Strain contours of single-metal and bimetal pipe forming

表 2 单金属与双金属管成形的支管高度

Table 2 Branch pipe height of single-metal and bimetal pipe forming

材料	支管高度/mm
纯铜	8.285 4
纯铝	15.896 7
铜/铝	7.630 2

对单金属管和双金属管轴向加载胀形形成结果进行分析,可知双金属复合管的成形较单金属复合管成形所需加载的载荷更大。分析原因是由于在成形过程中需要克服双金属管间的摩擦力。表 2 所示的支管高度也说明了双金属管比单金属管变形需要更大的载荷。但从变形云图分析可知双金属管成形过程中的变形分布较均匀,二者变形最大处都是集中在支管顶部。

2.3 载荷大小对成形结果的影响规律

2.3.1 内压对复合金属成形的影响

将铜铝复合管在 40、50、60、70 和 80 MPa 的液体压力下进行变形,得到不同液体压力下复合管的应变云图如图 5 所示,支管高度数据见表 3,壁厚减薄量见表 4。

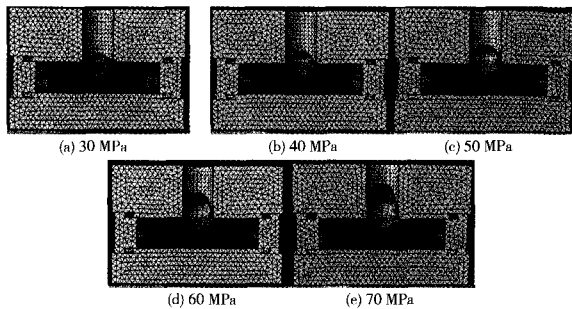


图 5 不同液体压力下双金属管坯的应变云图

Fig. 5 Strain contours of bimetal tubes under different pressures

表 3 不同液体压力下双金属管坯支管高度

Table 3 Bimetal branch height under different pressures

液体压力/MPa	30	40	50	60	70
支管高度/mm	4.693 1	7.628 4	11.155 5	15.417 5	20.467 9

表 4 不同液体压力下双金属管壁厚减薄量

Table 4 Wall thinning of bimetal tubes under different pressures

液体压力/MPa	30	40	50	60	70
壁厚减薄量/mm	0.430 2	0.621 6	0.751 4	0.771 1	0.756 2

可以发现,复合管的支管高度会随着液体压力的增大而增高,但是不如单层管的增高明显。主要原因可能如前面所述,是管间摩擦导致的。对于壁厚减薄,液体压力也是其重要的影响因素。由表 4 可以看出液体压力对壁厚减薄的影响也不是完全的线性关系,随着液体压力的增加,减薄量会先增加后减小,并且在理论计算的的压力值附近达到最大的壁

厚减薄量,这验证了理论计算的正确性。

2.3.2 轴向压力对双金属管成形的影响

对于复合管,在液体压力为 50 MPa,轴向压力分别设定为 115、125、135、145 和 155 MPa,可以得到复合管轴向压力的情况下支管高度的变化,如图 6 所示。对数据进行分析可知,在一定内压力作用下,轴向压力对于支管高度的影响结果较复杂。随着轴向压力的增加,支管高度呈上升趋势,在 125 MPa 左右出现支管最大值,继续增加轴向压力支管高度反而出现下降趋势,在轴压 135~145 MPa 支管高度不变,而后一段又出现上升情况,此时容易造成金属堆积出现皱褶。

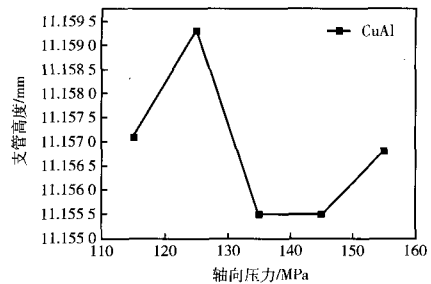


图 6 双金属支管高度随轴向压力变化

Fig. 6 Change of branch height with axial pressure

壁厚减薄的变化如图 7 所示。对数据进行分析可知,在一定内压力作用下,轴向压力对于壁厚减薄量的影响也较复杂。首先,随着轴向压力的增加,壁厚减薄量呈下降趋势,在 125 MPa 左右出现壁厚减薄量最小;在 125~135 MPa 出现壁厚减薄量增加的情况,这主要是由于变形量增加造成;而 135 MPa 之后部分的壁厚减薄量降低,是由轴压增加造成金属积累所引起。

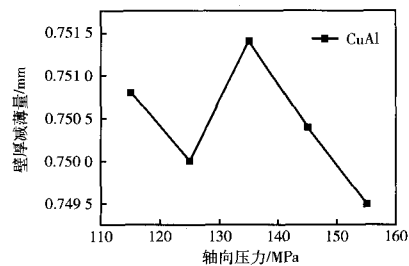


图 7 金属壁厚减薄量随轴向压力变化

Fig. 7 Changes of wall thickness thinning with axial pressure

综合分析轴压对支管高度和壁厚减薄量的影响,可得出在内压 50 MPa 的情况下,125 MPa 的轴向载荷,可获得较为理想的成形结果。

3 结论

1) 由于在成形过程中需要克服双金属管间的摩擦,致使双金属复合管的成形较单金属复合管成形所需加载的载荷更大。 (下转第 144 页)

- thermal synthesis and characterization of spherical SnO₂ microcrystals [J]. *J Anhui Sci Technol Univ*, 2010, 24(2): 48-51. (in Chinese)
- [11] Dong Wensheng, Li Mengyuan, Liu Chunling, et al. Novel ionic liquid assisted synthesis of SnO₂ microspheres [J]. *J Colloid Interface Sci*, 2008, 319(1): 115-122.
- [12] Shi Liang, Lin Hailin. Facile fabrication and optical property of hollow SnO₂ spheres and their application in water treatment [J]. *Langmuir*, 2010, 26(24): 18718-18722.
- [13] Yang Huaming, Du Chunfang, Jin Shengming, et al. Enhanced photoluminescence property of SnO₂ nanoparticles contained in mesoporous silica synthesized with leached talc as Si source [J]. *Microporous Mesoporous Mater*, 2007, 102(1/2/3): 204-211.
- [14] Kar A, Kundu S, Patra A. Surface defect-related luminescence properties of SnO₂ nanorods and nanoparticles [J]. *J Phys Chem C*, 2011, 115(1): 118-124.
- [15] Shi Liang, Lin Hailin. Preparation of band gap tunable SnO₂ nanotubes and their ethanol sensing properties [J]. *Langmuir*, 2011, 27(7): 3977-3981.
- [16] 顾锋, 王淑芬, 吕孟凯. 氧化锡纳米粉的制备与发光性质的研究[J]. *功能材料*, 2004, 35: 3301-3303.
- Gu Feng, Wang Shufen, Lü Mengkai. Preparation and photoluminescence characteristics of SnO₂ nanoparticles [J]. *J Funct Mater*, 2004, 35: 3301-3303. (in Chinese)
- [17] Wang B, Yang Y H, Wang C X, et al. Field emission and photoluminescence of SnO₂ nanograss [J]. *J Appl Phys*, 2005, 98(12): article No. 124303.
- [18] Her Y C, Wu J Y, Lin Y R, et al. Low-temperature growth and blue luminescence of SnO₂ nanoblades [J]. *Appl Phys Lett*, 2006, 89(4): article No. 043115.
- [19] Jean S T, Her Y C. Synthesis of Sb-additivated SnO₂ nanostructures and dependence of photoluminescence properties on Sb additivation concentration [J]. *J Appl Phys*, 2009, 105(2): article No. 024310.
- [20] Wu J M. Sn-doped starfish-like nanostructures from TiO₂-SiO₂ Core-Shell nanocables and SiO₂ nanowires: processing, properties and characterization [J]. *J Phys Chem C*, 2008, 112(34): 13192-13199.
- [21] Gaidi M, Hajjaji A, Smirani R, et al. Structure and photoluminescence of ultrathin films of SnO₂ nanoparticles synthesized by means of pulsed laser deposition [J]. *J Appl Phys*, 2010, 108(6): article No. 063537.

(上接第 139 页)

2) 成形过程中支管高度会随着液体压力增大而增加,壁厚减薄量会随着液体压力增加而增加;复合管支管高度介于两种不同金属管之间,同时由于受到摩擦的影响,更偏向于难变形的金属;而壁厚减薄量在理论计算的液体压力值附近达到最大值,复合管的壁厚减薄最大值基本是两种单金属管的平均值。

3) 当内压一定的情况下,存在可使支管高度和壁厚减薄量较理想的轴向压力,并且不同内压对应的理想轴向压力值会有变化,该轴向压力的选取对成形胀形结果有一定程度影响。

[参考文献] (References)

- [1] 赵为民. 金属复合管生产技术综述[J]. *焊管*, 2003, 26(3): 10-14.
Zhao Weimin. Production techniques of metal composite pipe [J]. *Welded Pipe Tube*, 2003, 26(3): 10-14. (in Chinese)
- [2] 巢鹏飞, 杨连发, 于强, 等. 塑性成形技术在金属复合管制备中的应用及展望[J]. *塑性工程学报*, 2005, 12(2): 42-47.
Chao Pengfei, Yang Lianfa, Yu Qiang, et al. Application and forecast of plastic forming technology in fabricating metal composite tube [J]. *J Plast Eng*, 2005, 12(2): 42-47. (in Chinese)
- [3] 陈海云, 徐长林. 双金属复合管塑性成形机理及应用[J]. *给水排水*, 2005(4): 16-18.
Chen Yunhai, Xu Changlin. Double metal composite tube plastic forming mechanism and application [J]. *Water Wastewater Eng*, 2005(4): 16-18. (in Chinese)
- [4] 王学生, 李培宁, 王如竹, 等. 双金属复合双金属复合管液压成形压力的计算[J]. *机械强度*, 2002, 24(3): 439-442.
Wang Xuesheng, Li Peining, Wang Ruzhu, et al. Calculation of hydro-forming pressure for bi-metal clad pipe [J]. *J Mech Strength*, 2002, 24(3): 439-442. (in Chinese)
- [5] 王连东, 张伟, 程嘉, 等. 普通液压机超高液胀形集成装置的研制[J]. *中国机械工程*, 2007, 18(21): 2624-2627.
Wang Liandong, Zhang Wei, Cheng Jia, et al. Development of a kind of ultrahigh pressure integration device for hydro-bulging in the common press [J]. *China Mech Eng*, 2007, 18(21): 2624-2627. (in Chinese)
- [6] 余心宏, 王会凤, 郑艳丽. 三通管复合胀形过程模拟[J]. *航空精密制造技术*, 2005, 41(5): 48-50.
Yu Xinhong, Wang Huifeng, Zheng Yanli. Simulation of hydraulic compound bulge forming of tee-tube [J]. *Aviat Precis Manuf Technol*, 2005, 41(5): 48-50. (in Chinese)
- [7] 韩英淳, 于多年, 马若丁. 汽车轻量化中的管材液压成形技术[J]. *汽车工艺和材料*, 2003(8): 23-27.
Han Yingchun, Yu Duonian, Ma Ruoding. Chnology of tube hydroforming in lightweight of automobile [J]. *Automob Technol Mater*, 2003(8): 23-27. (in Chinese)
- [8] 曾德智, 杨斌, 孙永兴, 等. 双金属复合管液压成型有限元模拟与试验研究[J]. *钻采工艺*, 2010, 33(6): 78-79.
Zeng Dezhi, Yang Bin, Sun Yongxing, et al. Finite element simulation and experimental study on hydro-forming of lined steel pipe [J]. *Drill Prod Technol*, 2010, 33(6): 78-79. (in Chinese)