

液压成形制备双金属复合三通管新技术研究

王会凤, 韩静涛, 张永军, 刘 靖

(北京科技大学 材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要: 为了方便获得双金属异形复合管, 提出一种采用液压成形直接制备双金属复合三通管的新型工艺方法. 研究中应用自行设计的简单成形设备, 制备出具有一定高度的铜/铝双金属复合管, 探讨了不同工艺条件对成形结果的影响, 获得了双金属液压胀形的成形规律, 采用扫描电镜等方法对复合界面微观组织进行观察. 实验结果及分析表明, 该方法避免了现有先复合再胀形的成形工艺的复杂性, 有利于节约生产成本, 缩短成形周期, 制备得到的双金属成形零件结合界面紧密, 同时也验证了该技术的可行性.

关键词: 双金属管; 三通管; 液压胀形; 界面结合性

中图分类号: TG306

文献标志码: A

文章编号: 1005-0299(2013)06-0007-05

Study on preparation of bimetal composited T-tube with new hydraulic bulging technology

WANG Hui-feng, HAN Jing-tao, ZHANG Yong-jun, LIU Jing

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

Abstract: To get bimetal composited T-shaped conveniently, a new hydroforming process is introduced in this paper. A simple forming equipment is developed and Al/Cu bimetal composite T-shaped tubes are formed by it. The influence of different process conditions on forming results is studied and the bimetal hydraulic bulge forming rule is obtained on analysis. Using scanning electron microscopy (SEM) and other equipment, the microstructure of the bimetal interface is observed. Experimental results and analysis show that this processing is simple, the forming cycle is shortened, the forming cost is saved to a certain extent and the bonding quality of the interface is good enough. The feasibility and reliability of this new technology are verified simultaneously.

Key words: bimetal tube; T-shaped tube; hydraulic bulging; bonding property of the interface

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, 即要求有一定强度的界面结合性能. 复合管在设计时通常要求基材满足管材设计应力要求, 覆材用以抵抗腐蚀或磨损等^[2]. 复合管兼具了内外两种金属的优点, 既能有效降低成本, 又能提高具有应力腐蚀开裂敏感性的管材在氯化物和酸性环境中的安全性^[3].

目前查阅到的文献中尚无直接成形双金属三

通管的研究报道, 仅有张立伍等^[4]提出先焊接成形复合直管, 再通过胀形成形获得三通管件的工艺方法, 该方法可获得满足使用性能要求的三通管, 但焊接+胀形工艺增加了整个工艺的复杂性, 需采用的设备也较多.

结合已有研究及具体使用需求, 本文提出一种采用液压胀形直接成形双金属复合三通管的新工艺, 不但可一次性成形双金属三通管, 同时可保证管件的成形质量. 该工艺能够缩短产品生产周期, 减少设备投入, 从而降低生产成本, 具有十分广阔的应用前景.

1 成形新技术简介

复合管在实际生产中, 最早使用的制备方法

收稿日期: 2012-09-04.

基金项目: 教育部博士学科点专项科研基金(20110006120003).

作者简介: 王会凤(1977-)女, 博士, 讲师.

通信作者: 王会凤, E-mail: wanghui Feng@ustb.edu.cn.

是轧制、堆焊,之后出现了爆炸焊,现在可以使用的方有轧制、铸造、挤压、钎焊、焊接、胀形和电磁压接等^[1],其中液压胀形法利用内外层金属变形后,回复力不同实现紧密的机械连接^[2].在采用液压胀形制备复合管的研究方面,王学生^[5]对已有的双金属复合管制造方法进行了总结和比较,并详细分析了液压成形双金属管技术特点;李春强等^[6]对复合双金属管界面力学性能及测试方法展开了研究;曾德智等^[7]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,李凯等^[8]对进行了弹性中间冲头液压成形 T 型三通管的实验研究,获得了加载路径的优化结果.

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,目前研究主要集中在单层三通管件的成形研究,研究内容则集中于成形工艺参数、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^[9-12],在管材胀形微成形技术、材料性能对胀形结果模拟、成形路径优化工艺性能分析等方面展开了研究^[13-16].

参考单金属管成形工艺,本文提出了一种采用非双金属复合管坯,通过胀形工艺一次成形双金属三通管件的新方法,其技术路线如图 1 所示.本文介绍该技术的成形特点及成形过程、不同工艺条件对成形结果的影响,成形中金属流动规律及所制备零件界面结合性等,试验结果验证了该工艺的可行性.

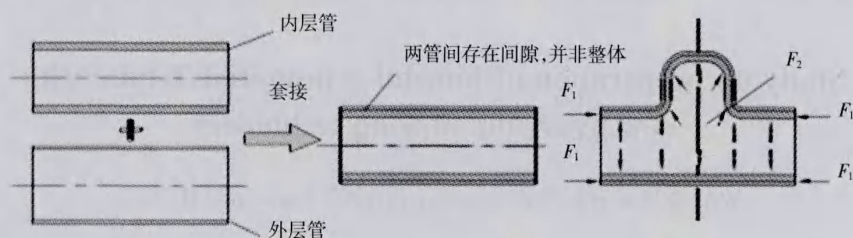


图1 双金属复合三通管胀形工艺过程

2 双金属复合三通管的制备

2.1 试验设备开发

为降低所需载荷,研究选用了尺寸较小、但塑性好的管材.其中紫铜管外径 19 mm,壁厚 1 mm,铝管外径 16.5 mm,壁厚 1 mm.针对以上材料,本着简单、实用的原则,设计开发了一套成形装置,并采用该装置制备了双金属复合三通管.图 2 所示为以千斤顶作为动力的加载设备.考虑胀形压力和轴向压力,计算出需由千斤顶提供的载荷约为 39.12 kN,因此选用了 5 t 千斤顶.

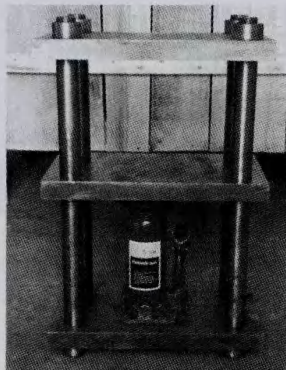


图2 试验用加载设备

为了成形得到三通管件,需要定尺寸的模具对变形过程进行约束,模具设计较简单,这里不再赘述,重点介绍一下成形过程中密封系统的设计.密封系统在复合管胀形实验中起着至关重要的作用,良好的密封是实验成功的保证.一旦实验中出现密封系统失效,胀形实验很有可能因为内部液压不足而产生褶皱和失稳.通过如图 3 所示结构可解决密封问题,图中结构将密封圈密封与生料带密封有机结合,解决了压头与管材周向结合面的密封问题和压头与管材轴向结合面的密封问题.试验证明这种密封结构可满足成形过程中的密封要求,无液体渗出现象.

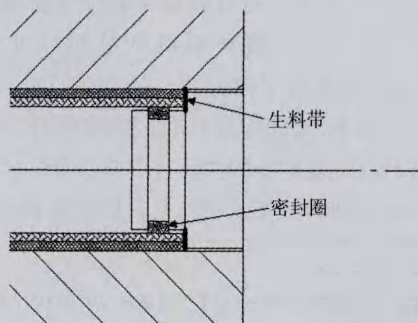


图3 液压胀形密封系统

2.2 试验零件的制备

图4所示为制备得到的三通管件,图4(a)为未去除直管顶端零件,图4(b)为切割后零件,该零件已具有一定直管高度,可用于后续管件连接.实验制得的内径14.5 mm,外径19.0 mm,内外层连接紧密,内壁光滑,外壁无明显划痕,可以满足正常使用.



(a) 胀形后的工件



(b) 去除头部后的零件

图4 制备的双金属复合三通管

3 双金属复合管成形性分析

3.1 成形过程中工艺条件对零件成形的影响

多次实验结果表明润滑条件、密封条件和实验材料性能等试验条件对零件成形过程有明显影响,分别对4个试样在不同成形条件下的胀起高度进行分析,总结出各个工艺条件对成形的影响规律.所给工艺条件包括:是否有润滑、密封形式(文中改进密封条件是指O型圈与生料带复合结构密封,见图3,未改进是指仅采用O型圈进行密封)、材料是否退火处理.结果见表1.

表1 不同工艺条件下复合管制备结果

试件号	润滑	密封	材料	表面质量	试件形状	胀起高度/mm
1	无	改进	退火	粗糙	三通管	7.06
2	有	未改进	退火	平整	褶皱破坏	—
3	有	改进	未退火	平整	三通管	8.09
4	有	改进	退火	平整	三通管	10.08

通过表1中结果分析对比可知,工艺条件对胀形成形影响较大,为了保证支管高度和管材表面质量需要在成形过程中适当进行润滑对材料进行热处理且采取双重密封结构.试样3和试样4的胀起高度差异主要由材料塑性不同引起.管坯经过热处理后,消除了其前期生产过程产生的加

工硬化,提高了塑性,有利于增加支管胀形高度.

在试验过程中通过改变坯料长度可间接改变轴向进给量,增加轴向载荷.在上表所述4号试样的基础上将坯料长度从70 mm增加到80 mm,获得的管件胀起高度为12.61 mm,比4号样增加了2.53 mm,说明增加轴向载荷有助于获得更高的支管长度.

在试验过程中虽然不能定量的记录加载速度,但是定性的分析了加载速度“快”与“慢”对成形结果的影响,通过多次试验研究可知,较小加载速率更有利于双金属复合三通管零件的成形.

3.2 成形过程中材料流动规律

在轴向压力和内部液压作用下,复合管金属沿模具边界流动,发生塑性变形.加载过程中,在轴向压力作用下,管坯金属沿轴向流动,非胀形区的金属完全补充或者部分补充了变形区的金属材料.胀形区的金属在内压力作用下向模具支管方向流动,此区域的金属依赖金属的轴向流动补充.

如果轴向压缩变形补充给胀形变形区的金属与胀形区变形所需的金属量相同时,理论上复合管的壁厚不会发生变化.但实际上,由于实验条件和变形情况的复杂性,很难在胀形实验中实现壁厚的均匀分布,通过对如图5所示零件剖面进行测量,可获得成形过程中壁厚分布情况,具体测量数据如表2所列.

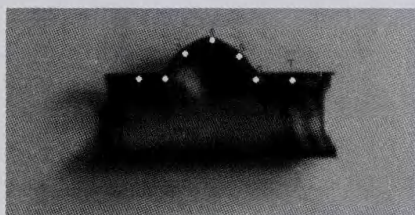


图5 壁厚观测点分布

表2 加载后的壁厚分布情况

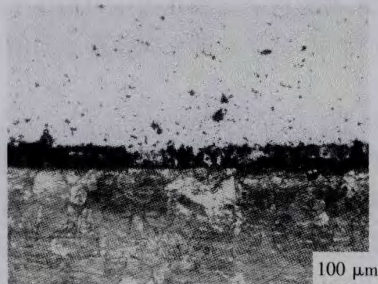
测量点	内层厚度/mm	外层厚度/mm	总厚度/mm
1	1.13	1.14	2.27
2	1.07	1.08	2.15
3	0.89	0.89	1.78
4	0.22	0.23	0.45
5	0.90	0.91	1.81
6	1.06	1.06	2.12
7	1.15	1.16	2.31

通过上述测量发现,双金属复合管在胀形变形区均出现了厚度减薄的现象,其中减薄最明显

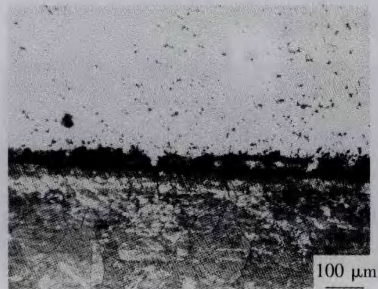
的区域正是复合管的起胀部位. 由于变形是非对称变形,起胀区域变形量最大,而且金属难以得到有效补充,因此在液压力作用下,金属的变形主要由厚度减小提供. 另外在复合管无胀形区的直线段,在较大的轴向压力作用下出现金属堆积的现象,在此区域内壁厚有所增加. 由于是非对称变形,这种厚度分布不均的现象非常明显.

3.3 金属界面微观组织分析

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,即要求有一定的界面结合强度. 分别取主管和支管处结合面进行微观组织分析,得到图 6 所示的界面金相图,观察两处晶相组织可知,该工艺制备的双金属复合三通管主管和支管处的组织结构基本相同,界面结合良好,且部分区域出现扩散层,可保证使用中金属管件层间不会脱离.



(a) 主管部分界面层



(b) 支管部分界面层

图 6 复合界面微观组织

4 结 论

1) 采用液压胀形形成双金属复合三通管件的工艺方法,可直接成形得到具有一定高度的双金属复合三通管件,工艺条件对成形结果影响较大,良好的润滑能提高胀形零件表面质量、减小胀形力,双重密封及良好的材料塑性有利于增加胀形高度.

2) 增加轴向载荷有利于支管高度增加,当坯料长度由 70 mm 增至 80 mm,由于有效位移及载

荷增加支管高度由 8.09 mm 增至 10.08 mm;采用较小的加载速率,有利于获得较优良的表面质量,增加胀形高度.

3) 通过对界面组织性能的分析,可知通过该工艺获得的三通管件界面结合已较致密,能够满足一般应用要求而不会层间分离,验证了该新工艺的可行性.

参考文献:

- [1] 赵卫民. 金属复合管生产技术综述 [J]. 焊管, 2003, 26(3): 10-14.
ZHAO Wei-min. Production techniques of metal composite pipe [J]. Welded Pipe and Tube, 2003, 26(3): 10-14
- [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 Peng-fei, YANG Lian-fa, YU Qiang, et al. Application and forecast of plastic forming technology in fabricating metal composite tube [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2005, 12(2): 42-47.
- [3] 刘建彬, 韩静涛, 解国良, 等. 离心浇铸挤压复合钢管界面组织与性能 [J]. 北京科技大学学报, 2008, 30(11): 1255-1259.
LIU Jian-bin, HAN Jing-tao, XIE Guo-liang, et al. Interfacial microstructure and properties of clad steel pipes by centrifugal casting and extruding [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2008, 30(11): 1255-1259.
- [4] 张立伍, 陶杰, 郭训忠, 等. Ti/Al 双金属三通管件冷成形及热处理工艺 [J]. 金属热处理, 2010, 35(8): 65-68.
ZHANG Li-wu, TAO Jie, GUO Xun-zhong, et al. Cold deformation and heat treatment process of Ti/Al bimetallic tee pipe fitting [J]. Heat Treatment of Metals, 2010, 35(8): 65-68.
- [5] 王学生, 李培宁, 王如竹, 等. 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 Xue-sheng, LI Pei-ning, WANG Ru-zhu, et al. Calculation of hydro-forming pressure for bi-metal clad pipe [J]. Journal of Mechanical Strength, 2002, 24(3): 439-442.
- [6] 李春强. 冶金复合双金属管界面力学性能研究 [D]. 河北工程大学, 2012.
- [7] 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 De-zhi, YANG Bin, SUN Yong-xing, et al. Finite element simulation and experimental study on hydro-forming of lined steel pipe [J]. Drilling &

- Production Technology, 2010, 33(6): 78 - 79.
- [8] 李凯. T型三通管液压成形加载路径优化[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [9] SHIRAYORI A, FUCHIZAWA S, ISHIGURE H, *et al.* Deformation behavior of tubes with thickness deviation in circumferential direction during hydraulic free bulging [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2003, 139(1/2/3): 58 - 63.
- [10] MUAMMER K, TAYLAN A. An over all review of the tube hydroforming (THF) technology [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 108(3): 384 - 393.
- [11] 王连东, 张伟, 程嘉, 等. 普通液压机超高压液压胀形集成装置的研制[J]. *中国机械工程*, 2007, 18(21): 2624 - 2627.
- WANG Lian-dong, ZHANG Wei, CHENG Jia, *et al.* Development of a kind of ultrahigh pressure integration device for hydro-bulging in the common press [J]. *China Mechanical Engineering*, 2007, 18(21): 2624 - 2627.
- [12] 余心宏, 王会风, 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 Xin-hong, WANG Hui-feng, ZHENG Yan-li. Simulation of hydraulic compound bulge forming of tee-tube [J]. *Aviation Precision Manufacturing Technology*, 2005, 41(5): 48 - 50.
- [13] CRAPPS J, MARIN E B, HORSTEMEYER M F, *et al.* Internal state variable plasticity-damage modeling of the copper tee-shaped tube hydroforming process [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, 210(13): 1726 - 1737.
- [14] ZHUANG W, WANG S, LIN J, *et al.* Experimental and numerical investigation of localized thinning in hydroforming of micro-tubes [J]. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 2012, 31(1): 67 - 76.
- [15] OWSKA H S, KOCA DA A. On the problem of material properties in numerical simulation of tube hydroforming [J]. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2010, 10(3): 77 - 83.
- [16] MIRZAALI M, LIAGHAT G H, NAEINI H M, *et al.* Optimization of tube hydroforming process using simulated annealing algorithm [J]. *Procedia Engineering*, 2011, 10: 3012 - 3019.

(编辑 程利冬)