应用技术

摩擦焊接技术在复合增程类壳体加工中的应用

姜春茂，李东华，宋瑞华，赵广军，柳燕，王波，迟维恒，邱志斌
（北方华安工业集团有限公司，黑龙江 齐齐哈尔 161046）

摘要：目的 某复合增程类壳体毛坯为两端盲孔结构，一直采用传统的冲压工艺方式加工，加工难度大，废品率高，材料利用率低，生产效率低，成为困扰生产的窄口。**方法** 为彻底解决该问题，开展了壳体摩擦焊接工艺研究，即将壳体毛坯战斗部室和发动机室分开加工，再采用摩擦焊接技术进行连接，并进行小批量焊接试制、热处理、机加、理化分析及动态试验考核。**结果** 焊接后的壳体毛坯满足制造与验收规范要求，壳体毛坯材料利用率、良品率、生产效率得到大幅度提高，大大降低了生产成本。**结论** 该壳体采用摩擦焊接工艺方式加工可行。

关键词： 壳体；摩擦焊接；工艺
DOI： 10.3969/j.issn.1674-6457.2015.06.015
中图分类号： TG453^{+}.9 **文献标识码：** A **文章编号：** 1674-6457(2015)06-0092-04

Application of Friction Welding Technology in Process of Compound Range-extending Shell

JIANG Chun-mao, LI Dong-hua, SONG Rui-hua, ZHAO Guang-jun, LIU Yan, WANG Bo, CHI Wei-heng, QIU Zhi-bin
(Northern Hua´an Industrial Group Co., Ltd., Qiqihar 161006, China)

ABSTRACT: A blank of compound range-extending shell, which has a blind hole structure at both ends, has been being processed by the traditional stamping technology which has problems such as processing difficulty, high reject rate, low utilization rate of materials and low production efficiency. This has become a bottleneck of production. In this research to solve the problems, the shell friction welding process was studied, and the shell was divided into the fighting part and the engine room to be processed separately, and then the friction welding technology was used to connect them. After small batch welding, heat treatment, machining, physical and chemical analysis and dynamic test were performed for evaluation. After welding, the shell blank could meet the requirements of manufacturing and acceptance, the utilization rate of shell materials, good quality rate and production efficiency were greatly improved, the cost of production was greatly reduced. The friction welding process was feasible for the shell.

KEY WORDS: shell; friction welding; technology

某复合增程产品壳体毛坯以60Si2Mn钢为原材料，两端为盲孔，在冲压过程中毛坯起拔点较高，冲压后尾部弯曲严重，需反复校直才能满足后续加工要求[1—2]，在校直过程中毛坯往往存在裂纹，难度大，废

收稿日期： 2015-09-10
作者简介： 姜春茂(1980—)，男，黑龙江佳木斯人，大学本科，高级工程师，主要从事金属材料塑性成型方面的技术工作。

品率高、材料利用率极低,生产效率低,生产成本居高不下[3]。文中采用分段冲拔、机械加工后,利用摩擦焊的特点将两段毛坯结合,以解决冲拔加工带来的不足,同时为其它在研的复合增程类壳体毛坯加工提供技术基础,为该类壳体毛坯的加工制造开辟新的途径。

1　试制过程

1.1　焊接工艺流程及参数

在摩擦焊接过程中,摩擦面的温度是一个由低到高的变化过程,工件在摩擦的过程中,其塑性、韧性的变化都随着摩擦面温度的升高而呈现出不同的变化,材料分子间的流动也是不同的,因此摩擦温度是影响产品焊接质量的最重要的指标[4—6]。摩擦时间、变形量大小等参数又是直接影响摩擦面的温度[1—4]。一般情况下,随着轴向力和摩擦扭矩不断增加,摩擦系数增大,摩擦加热功率提高,焊接界面温度不断升高,塑性增高,强度降低。因焊接表面存有不同程度的氧化物、灰尘等影响焊接质量的污物,所以在焊接开始阶段,若摩擦变形量不够或顶端时间较短,就会使焊接界面的污物一直存在于摩擦界面,使接头质量特别是塑性指标降低,严重时会造成焊接接头的未熔合[7];若摩擦变形量过大或顶锻时间过长,即顶锻压力增大、加热温度增高,就会因焊接界面温度过高,造成焊接接头组织过热,塑性降低、强度增高的现象[7]。在确定摩擦焊焊接工艺参数时,考虑到焊接用料是大截面的工件,其工艺参数控制应是不同阶段采用不同的控制方案即在一级摩擦阶段,可以进行时间控制和压力控制;在二级摩擦阶段进行变形量的控制;在顶锻阶段进行压力和时间控制,焊接参数:主轴转速为 580 r/min,一级压力为 2.5 MPa,二级压力为 7.5 ~ 8 MPa,顶断压力为 15 MPa,一级时间为 13 s,二级时间为 40 ~ 44 s,位移为 12 ~ 13 mm,焊接毛坯如图 1、图 2 所示。摩擦焊接工艺流程如下。

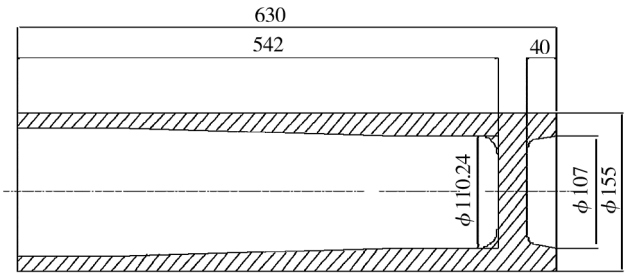

图 1　前节毛坯

Fig. 1 Front section blank

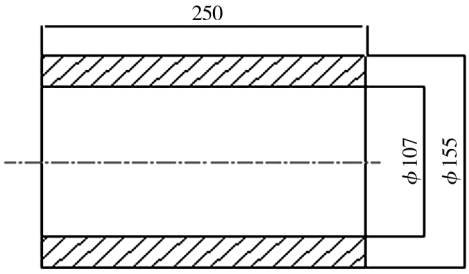

图 2　后节毛坯

Fig. 2 Rear section blank

前节毛坯:下料→加热→冲孔→拔伸→倍尺锯切;后节毛坯:下料→加热→冲孔→拔伸→锯切→摩擦焊接→粗车→超声波探伤→收口前车外圆→底凹成形→收口→热处理→精车。

1.2　焊接后毛坯检查

该壳体毛坯摩擦焊接在 CT30 型连续驱动摩擦焊接机上进行,焊接后毛坯如图 3 所示,对毛坯的外观检查和超声波探伤表明:焊接表面连续、光滑、无气孔、夹杂、重皮等疵病,满足工艺要求[]8。

图 3　焊接后毛坯图片

Fig. 3 Blank picture after welding

1.3　热处理前毛坯的理化分析

1.3.1　低倍组织检查

随机抽取 1 发毛坯对焊道进行了低倍组织检查,可见,焊接部位组织延焊道两侧 45 ℃方向均匀分布,焊缝处及附近组织不存在缺陷[9—11],如图 4 所示。

1.3.2　金相检查

随机抽取 1 发焊接后毛坯对焊接部位和体部进行了金相组织检查,结果焊接部位组织为铁素体+珠光体+马氏体,体部组织为铁素体+珠光体[12],金相图片见图 5、图 6。

1.3.3　机械性能检测

随机抽取 1 发毛坯对非焊接和焊接部位进行机械性能检测,试杆取样过程中在焊道两侧对称取样,

图 4 焊接后低倍照片

Fig. 4 The low-power photo after welding

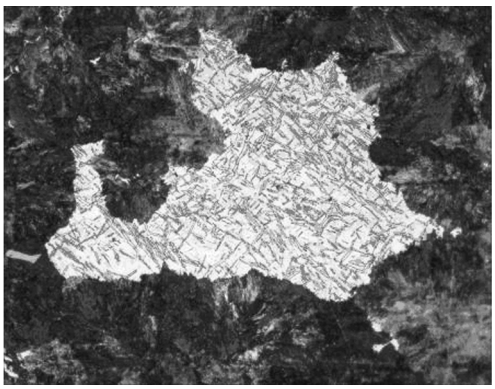

图 5 焊接部位组织

Fig. 5 Tissues at fusion site: ferrite+pearlite+martensite

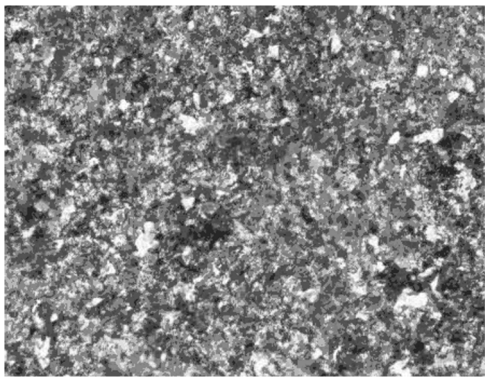

图 6 体部组织

Fig. 6 Tissues at body: ferrite+pearlite

检测后试杆断裂处未发生在焊道处,说明焊接后焊接强度大于基体强度[13],试样见图 7,力学性能见表 1。

图 7 力学性能断后试样

Fig. 7 The mechanical properties of fractured specimens

表 1 力学性能统计表

Table 1 Statistical table of mechanical properties

毛坯编号	试样编号	R_{eL} /MPa	A /%	A_{KV} /J	备注
10#	10-5	455	16.0	7 7 12	焊接部位
		530	10.5		
	10-4	605	15.0	7 6 7	非焊接部位
		560	17.0		

1.4 热处理后毛坯理化分析

对剩余的焊接壳体体毛坯按正火+淬火+回火进行了热处理,并抽取最大、最小印痕直径 2 发壳体毛坯进行了金相、机械性能、冲击功等理化分析工作[13]。

1.4.1 金相检查

抽取最大、最小印痕直径弹体毛坯分别对焊接部位和非焊接部位进行了金相组织检查,结果为回火索氏体,如图 8 所示;对正火后毛坯进行金相检查,结果为铁素体+珠光体,组织均无异常,如图 9 所示。

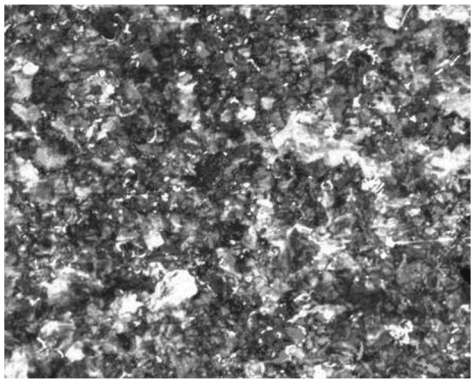

图 8 热处理后显微组织

Fig. 8 Microscopic tissues after heat treatment

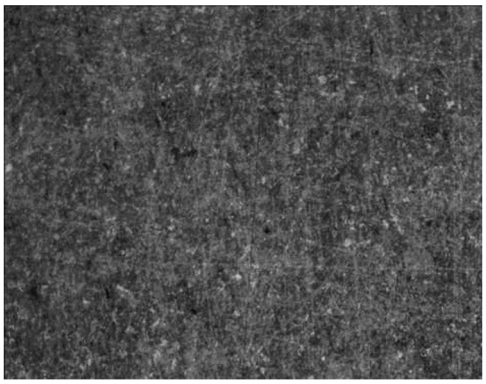

图 9 正火后显微组织

Fig. 9 Microscopic tissues after normalizing

1.4.2　机械性能检测

对抽取的 2 发壳体毛坯对称取样后,进行了机械性能测试,结果如表 2 所示,均满足 $R_{eL} \geqslant 900$ MPa、$A\% \geqslant 10$ 的要求。

表 2　机械性能统计表

Table 2 Statistical table of mechanical performance

试样编号	R_{eL}/MPa	A/%	备注
11-3-1	1090	10.0	体部
	1070	10.0	
	1100	12.0	焊接部位
	1100	13.0	
11-4-1	1100	10.0	体部
	1070	10.0	
	1100	12.0	焊接部位
	1080	11.5	

1.5　焊接毛坯精车加工

对热处理后合格的壳体毛坯进行了超声波弹底探伤,满足工艺要求。并进行了精车加工,经检验各部尺寸满足工艺要求。

1.6　焊接毛坯动态试验考核

按照制造与验收规范要求,对焊接后的壳体毛坯在试验基地进行了强度动态试验考核,经考核壳体及零部件作用正常,满足产品图样要求。

2　毛坯工艺对比分析

现行冲压工艺生产壳体毛坯每发下料质量为 97 kg,采用两端冲深孔方式[15—16],钢坯二次加热,冲孔后先外镟,底凹较深,拔伸过程中易弯曲,良品率仅为 75%,加工工序 23 道,工序复杂,涉及单位多,周转次数多,工人劳动强度大,材料利用率仅为 29.94%。采用摩擦焊接工艺,将药室和火箭发动机室分别冲压形后进行连接,毛坯每发下料质量为 70 kg,加工工序 17 道,大部分工序都在冲压车间完成,周转次数少,工人劳动强度低,生产效率高,材料利用率达到 41.49%,良品率达 90% 以上。采用摩擦焊接技术,与原工艺相比,每发节约材料 27 kg,原材料成本降低 148.5 元,材料利用率提高了 11.55%,良品率提高了 15% 以上,生产效率提高 1 倍。

3　结论

通过小批量焊接试验表明,某复合增程类壳体毛坯经过摩擦焊接后,毛坯各部分尺寸及力学性能满足产品图和制造与验收规范要求,并通过靶场射击动态试验考核,该壳体采用摩擦焊接工艺可行。壳体焊接后毛坯减少下料质量 27 kg/发,材料利用率提高了 11.55%,良品率提高了 15%,大大降低生产成本,提高了生产效率,为超远复合增程壳体毛坯加工,奠定了技术基础。

参考文献:

[1] LIU Chuan, DONG Chun-lin. Internal Residual Stress Measurement on Linear Friction Welding of Titanium Alloy Plates with Contour Method[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014, 24(5): 1387—1392.

[2] CHENG C J. Transient Temperature Distribution during Friction Welding of Two Similar Material in Tubular Form[J]. Welding Journal, 1962(12): 542s—550s.

[3] CHENG C J. Transient Temperature Distribution during Friction Welding of Two Dissimilar Material in Tubular Form [J]. Welding Journal, 1963(05): 233s—240s.

[4] FU L, DUAU L Y. The Coupled Deformation and Heat Flow Analysis by Finite Element Method during Friction Welding [J]. Welding Journal, 1998(5): 202s—207s.

[5] 傅莉,杜随更. 摩擦焊接过程数值模拟技术研究进展[J]. 焊接学报, 2001, 22(5): 87—92.
FU Li, DU Sui-geng. Advance of Research on the Numerical Simulation of Friction Welding Process[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(5): 87—92.

[6] KLEIBER M. Finite Element Analysis of Heat Flow in Friction Welding[J]. Bozprawy Inzynierskie Engineering Transactions, 1984(01): 107—113.

[7] KUYUCU H O, KURT A E. Artificial Neural Network Application to the Friction Stir Welding of A1 Plates[J]. Materials & Design, 2007, 28(1): 78—84.

[8] 毛信孚,刘小文,孙萍等. 电磁纯铁与不锈钢摩擦焊接工艺的研究[J]. 航空精密制造技术, 2004, 40(6): 38—40.
MAO Xin-fu, LIU Xiao-wen. SUN Ping, et al. Research of Friction Welding Technology between Electromanetic lron and stainless steel [J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2004, 40(6): 38—40.

[9] 刘宏谦. 浅谈摩擦焊接新技术[J]. 科技情报开发与经济, 2005, 15(14): 292—293.

(下转第 99 页)

WANG Bin-liang. Elastic Body Heat Stamping Technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1987.

[6] 张志明,黄少东,刘川林,等. 弹体成形工艺数字化设计系统的开发与实践[J]. 精密成形工程,2010,2(6):55—59.
ZHANG Zhi-ming, HUANG Shao-dong, LIU Chuan-lin, et al. The Forming Process of Projectile Development and Practice of Digital Design System[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6):55—59.

[7] 崔健,崔若平,胡圣华. 半轴套管热挤压成形工艺及专用装置:中国,101690965B[P]. 2011-05-04.
CUI Jian, CUI Ruo-ping, HU Sheng-hua. Hot Extrusion Technology and Special Assembly for Semiaxle Bushing: CN, 101690965B[P]. 2011-05-04.

[8] NICHOLSON V R. Improvements in the Production of Shell Forgings and the Like: GB, 539413[P]. 1941-09-10.

[9] AKTIENGESELLSCHAFT M. A Device for Holding Lubricant in Forming Horizontal Holes in Heated Steel Ingots: GB, 1112621[P]. 1968-05-08.

[10] BUNTZ B J, OKLA C, UNNERSTALL L A. Lubrication of Mandrels for Tube Extrusion: US, 3153482[P]. 1963-06-11.

[11] NOVACK E J. Pipe or Tube Making: US, 2167424[P]. 1939-07-29.

[12] CAIRNS J H. Extrusion of Metals or Hollow Section: US, 3172536[P]. 1965-03-09.

[13] FUCHS F J. Apparatus and Process for Forced Lubrication Piercing: US, 4703639[P]. 1987-11-03.

[14] 张新岭,张涛,陈居术,等. 厚壁深孔毛坯精密成形新工艺研究[J]. 新技术新工艺,2003(7):30—31.
ZHANG Xin-ling, ZHANG Tao, CHENG Ju-shu, et al. A New Technique of Precision Deformation for Semi-product with Thick-wall & Deep-hole[J]. New Technology & New Process, 2003(7):30—31.

(上接第 95 页)

LIU Hong-qian. Talking about the New Technique of the Friction Welding[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2005, 15(14):292—293.

[10] MESHRAM S D, MOHANDAS T, MADHUSUDHAN G. Friction Welding of Dissimilar Pure Metals[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 184(1/3):330—337.

[11] 王国定. 斯太尔铸钢桥壳摩擦焊接工艺的探讨和应用[J]. 汽车实用技术,2010(2):65—69.
WANG Guo-ding. The Discussion and Application on the Friction Welding Processing of Steyr Cast Steel Axle Housing[J]. Automobile Technology, 2010(2):65—69.

[12] 袁凯峰. 搅拌摩擦焊技术应用与研究[J]. 科技导报,2012,30(20):75—79.
YUAN Kai-feng. Friction Stir Welding Technology[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(20):75—79.

[13] 姬书得,刘建光,张利国,等. 焊接工艺参数对 FGH96 合金惯性摩擦焊过程材料塑性流动行为的影响[J]. 机械工程学报,2012,48(12):69—74.
JI Shu-de, LIU Jian-guang, ZHANG Li-guo, et al. Effect of Welding Process Parameters on Material Flow Behavior of FGH96 Alloy in Inertia Friction Welding[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(12):69—74.

[14] 杜随更,王庆,傅莉,等. 线性摩擦焊接过程三维热力耦合有限元分析[J]. 西北工业大学学报,2002,20(2):180—183.
DU Sui-geng, WANG Qing, FU Li. On Exploring Linear Friction Welding of Blade to Disk of Aeroengine Rotor[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2002, 20(2):180—183.

[15] SLUZALEC A. Thermal Effects in Friction Welding[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1990, 32(6):467—478.

[16] LI W Y, MA T J, LI J L. Numerical Simulation of Linear Friction Welding of Titanium Alloy: Effects of Processing Parameters[J]. Materials & Design, 2010, 31(3):1497—1507.