

GH3536 电子束焊接残余应力分布分析

Residual-Stress Distribution of High-Temperature Alloy GH3536 Welded by EBW

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 秦昕 王庆 张彦华

[摘要] 采用应力释放法测量了 10mm 厚 GH3536 高温合金电子束焊接纵向残余应力分布。结果表明:高温合金电子束焊接残余应力分布范围较小,约为焊缝宽度的 4~7 倍。残余应力的最大值可达到材料的屈服极限。研究成果为优化电子束焊接工艺和应力与变形分析提供了理论依据和指导。

关键词: 电子束焊接 高温合金 残余应力

[ABSTRACT] A strip cutting method is used to determine the residual stresses distribution of GH3536 high-temperature alloy plates of 10mm in thickness welded by EBW. The results showed that the distribution of residual stress is about 4 to 7 times of the width of the welding seam and the maximum residual stress could be the yield limit. The results offer a theory basis for optimizing the technology of EBW and controlling residual stress and strain.

Keywords: Electron beam welding High-temperature alloy Residual stress

电子束焊接(Electron Beam Welding, EBW)是高能束焊接的一种^[1],与传统焊接方法相比,电子束焊接具有能量密度高、焊缝和热影响区窄、焊接变形小、工艺参数容易精确控制以及焊缝接头化学成分纯净等其他焊接方法难以比拟的优势^[2-3]。因此,电子束焊接技术一出现就得到了极大的关注,在航空航天、核工业、重工业等诸多领域得到应用。

残余应力是无外力作用时的内力。作为约束力,它们仅与自身平衡。残余应力可能叠加在约束应力或负载应力之上。残余应力是不均匀的永久性塑性变形的结果。电子束焊接时构件变形量很小,但是焊接残余应力由于温度梯度大可能达到相当高的数值。焊接残余应力的存在会降低焊接构件的刚性和尺寸稳定性,严重影响焊接接头的疲劳强度、抗脆断以及应力腐蚀开裂的能力^[4]。为了对焊接结构的安全性做出定量评估,为了降低焊接残余应力以排除结构疲劳与断裂的危险,必须进行焊接残余应力预测。另外,裂纹控制技术在很大程度上也依赖于残余应力预测。因此,

预测焊接结构的残余应力具有非常重要的意义。

残余应力测量方法按其原理主要有应力释放法和 X 射线法。由于条件所限,本文采用应力释放法测量焊接接头残余应力。

1 试验材料和试验方法

本试验采用切条法。切条法是应力释放法测残余应力的一种。将需要测定内应力的构件先划分成几个区域,在各区域的待测点上加工测量所需的标距孔,然后测量它们的原始读数 L_0 。如图 1 所示对接接头,按图在靠近测量点处将构件沿垂直于焊缝方向切断,然后在各测点间切出几个梳状切口,使内应力得以释放。再测出释放应力后各标距孔的读数 L_1 ,根据公式

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_1 - L_0}{L_0}, \quad (1)$$

求出应变变量 ε_x 。根据公式

$$\sigma_x = -E\varepsilon_x, \quad (2)$$

计算出焊接纵向应力 σ_x 。对于图中的结构件来说,由于横向焊接应力在中部较小,这样得出的结果误差并不大。

材料:GH3536;

焊接方法:电子束焊接;

试件尺寸:100mm×100mm×10mm;

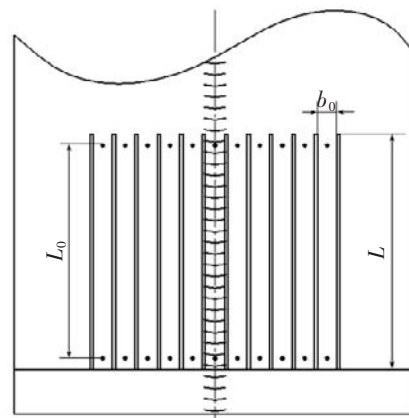


图 1 切条法测残余应力

Fig.1 A strip cutting method used to determine the residual stresses

弹性模量: $E=206\text{GPa}(20^\circ\text{C})$;
屈服强度: 母材, $\sigma_s=706\text{MPa}$; 焊缝, $\sigma_s=767\text{MPa}$ 。
试件如图 2 所示, 用读数显微镜测量标距原长 L_0

数据后, 采用线切割进行切条释放应力, 然后再次测量标距 L_1 长度后, 根据式(1)和(2)计算应变和残余应力。

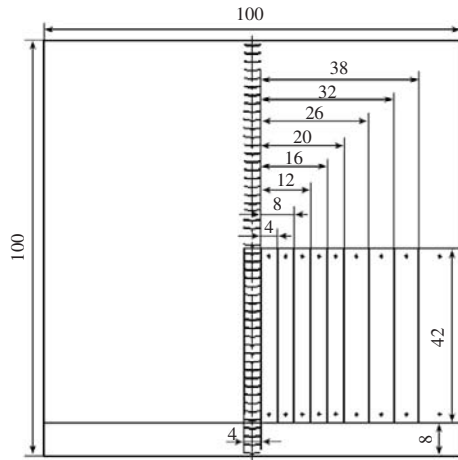


图 2 试验试件示意图

Fig.2 Principle schematic of test specimens

2 结果和讨论

2.1 试验结果

试件切条前后标距点距离的测量原始数据和应力释放后的应变值计算结果见表 1。
平均应变见图 3。

按式(2)计算的残余应力结果见表 2。

根据 Masubuchi 和 Martin 的研究^[5], 纵向残余应力 σ_x 的分布, 可近似用式(3)表示:

$$\sigma_x(y) = \sigma_m [1 - (y/b)^2] \exp[-0.5(y/b)^2], \quad (3)$$

由该式可以推出构件中的残余应力与构件的材料有关, 位置一定, 则相应的焊接残余应力的大小也

表 1 应变计算结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_0/mm	35.63	35.82	35.87	35.90	35.92	36.09	36.18	36.14	36.33	36.32
L/mm	35.53	35.87	35.88	35.90	35.92	36.09	36.18	36.14	36.33	36.32
$\Delta L/\text{mm}$	-0.10	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\varepsilon_x/\times 10^{-3}$	-2.8	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2 残余应力计算结果

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ_x/MPa	576.8	-288.4	-61.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
判断应力符号	+	-	-	0	0	0	0	0	0	0
拉/压	拉	压	压	压	0	0	0	0	0	0
与焊缝中心距离 y/mm	0	4	8	12	16	20	26	32	38	44

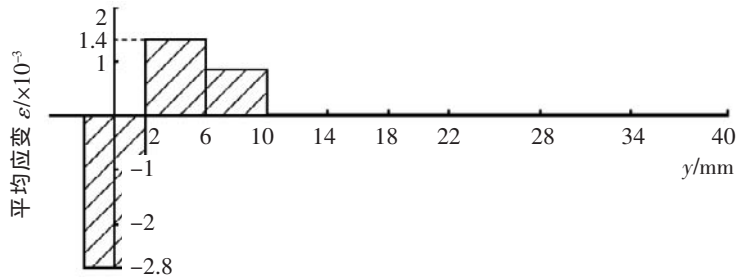


图3 平均应变

Fig.3 Average strain

可以估算出来。其中, σ_m 为最大残余应力, b 为与残余应力分布特征有关的参数。

对于本试验所测的电子束焊接接头残余应力分布, 根据公式采用最小二乘法进行拟合, 得焊缝处最大残余应力为 $\sigma_m=592\text{MPa}$, $b=2.5\text{mm}$, 因此可得到残余应力的分布曲线方程为:

$$\sigma_x(y)=592[1-(y/2.5)^2]\exp[-0.5(y/2.5)^2], \quad (4)$$

试验拟合结果见图4。

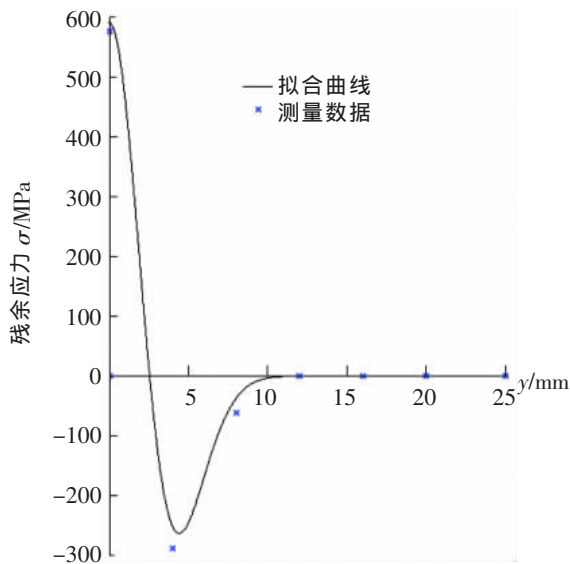


图4 残余应力分布

Fig.4 Residual stress distribution

3 结束语

这种方法测量残余应力值误差较大, 误差来源于被测量试件的切割加工过程、测量时的仪器误差和读数误差等。由于高温合金电子束焊接对接接头的残余应力较小, GH3536 的弹性模量较大, 导致应力释放法

的释放变形很小, 给残余应力的测量带来了难度。本试验采用的方法只能用于残余应力分布的定性分析。

试验结果表明, 10mm 厚的高温合金 GH3536 电子束焊接对接接头残余应力分布范围较小, 约为焊缝宽度的 4~7 倍。残余应力的最大值可达到材料的屈服极限。

参 考 文 献

- [1] 李德元, 赵文珍. 等离子技术在材料加工中的应用. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] Caiazza F, Curcio F, Daurelio G, et al. Ti6Al4V sheets lap and butt joints carried out by CO₂ laser mechanical and morphological characterization. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 149(1/3): 546-552.
- [3] Barreda J L, Santamaria F, Azpiroz X, et al. Electron beam welded high thickness Ti6Al4V plates using filler metal of similar and different composition to the base plate. Vacuum, 2001, 62(2/3): 143-150.
- [4] Abhay K J. Metallographic analysis of embedded crack in electron beam welded austenitic stainless steel chemical storage tank. Engineering Failure Analysis. 2001, 8(2): 157-166.
- [5] Masubuchi K. Prediction and control of residual stresses and distortion in welded structures. Proceeding Theoretical Prediction in Joining and Welding. Osaka, Japan, 1996. 71-88.

(责编 金卯)

GE 航空扩展在苏州的生产基地

近日, 通用电气公司(纽约证券交易所: GE) 下属的航空集团宣布在苏州的新工厂开业。GE 航空系统的总裁兼首席执行官罗琳女士主持了开业庆典, 出席的嘉宾包括苏州市政府、中航工业和其他政府领导和代表。

GE 航空系统的苏州工厂坐落于苏州工业园区。新扩充的厂房面积为 18 600m², 可以立刻投入生产先进的热压罐制的复合材料部件、机械制造加工、结构件装配和民用飞机作动系统。目前计划新工厂 2009 年的员工数将超过 200 人。工厂的业务目标主要支持重要客户的需求包括波音 B737, B777 和 B787, 空客 A320, A330 和 A340, 中国的 ARJ21 支线飞机的零部件生产等等。未来计划将增加电子产品的组装和测试能力。苏州的工厂将为 GE 带来极大的业务潜力和发展, 其业务能力将在未来的几年里进一步增长。

(本刊记者 淡蓝)