

文章编号 1004-924X(2012)07-1636-09

数字图像相关法测量金属薄板焊接 的全场变形

胡 浩*, 梁 晋, 唐正宗, 卢 岗

(西安交通大学 机械工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要:提出了一种基于数字图像相关法和双目视觉技术的全场三维变形测量方法来测量金属薄板焊接过程中的高温变形。首先,提出一种基于种子点的高精度图像匹配算法求解相关匹配非线性优化初值。然后,介绍了三维坐标重建以及三维位移、三维应变的求解算法。最后,借助于 VC++6.0 开发环境,研制了用于薄板焊接全场变形测量的实验系统。为验证本文方法在材料力学性能实验方面的可行性,利用标准材料试验机 and 自主研制的图像采集装置设计了钢试件的标准拉伸实验,并采用 Q235 板材件进行了焊接变形测量实验。实验表明:本文方法的应变测量精度为 0.5%,与引伸计的测量结果基本相当;与传统的测量方法相比,提出的方法可以更全面、更直观地测量金属薄板在整个焊接过程中的三维位移场和应变场,并且测得的 3 个方向的位移变化曲线过渡自然、数据合理,是研究焊接变形规律的有效手段。

关键词:双目视觉;图像相关法;种子点匹配;薄板焊接;全场变形

中图分类号: TG404; TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122007.1636

Measurement of full-field deformations in metal sheet welding processes by image correlation method

HU Hao*, LIANG Jin, TANG Zheng-zong, LU Gang

(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

* Corresponding author, E-mail: huhao136@163.com

Abstract: A new three-dimensional deformation measurement method was proposed based on digital image correlation and binocular stereovision to measure the full-field deformation in metal sheet welding processes. Firstly, an algorithm based on a seed point was proposed to provide a reliable initial value for the least-square nonlinear optimization in the correlation matching. Then, the algorithms for three-dimensional coordinate reconstruction, three-dimensional displacement and the strain calculation were discussed separately. Finally, based on these algorithms and the VC++6.0 platform, a welding deformation measurement system was developed for the full-field deformation of metal sheet welding. With self-developed image acquisition devices and a standard material testing machine, a steel standard tensile test and a welding deformation measurement test were conducted to validate the performance of proposed method. Experimental results demonstrate that the accuracy of strain measurement is not

收稿日期:2012-03-26;修订日期:2012-04-23.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50975219; No. 50975221)

lower than 0.5%, which is very close to that of an extensometer and the measured 3-D displacement time history is reasonable. It concludes that the proposed method can satisfy the requirements of non-contact, higher precision, and it is a more intuitive way for full-field deformation measurement during metal sheet welding processes.

Key words: binocular vision; digital image correlation; seed matching; metal sheet welding; full-field deformations

1 引言

焊接是工业制造中一种非常重要的材料加工技术。伴随焊接过程产生的焊接变形是影响焊接产品加工精度、外部形状和结构性能的重要因素,是工业生产中迫切需要解决的问题^[1]。采用有效可靠的测量方法,不仅可以检验焊接数值模拟方法的合理性,而且可以使人们用较短的时间分析影响焊接变形的因素、不断认识焊接变形机理、掌握焊接变形规律,从而能够在焊接产品的制造过程中实施合理的控制方法。因此,准确、快速地检测焊接变形对于消除焊接残余应力,提高焊接产品的承载能力和使用寿命等具有重要的理论和实际意义。

焊接变形的研究大都基于有限元分析,采用数值模拟方法预测焊接件的焊接变形和应变^[2-4]。这类方法一般成本较低,但受焊接变形机理的复杂性、高温时材料参数的难以测定性以及其他一些因素的影响,预测结果与实验相差较大。在焊接过程中,焊缝高温区产生的变形是造成残余应变的主要原因,所以,有必要对高温区的变形规律进行研究和测量。传统的测量方法一般采用耐高温的应变计、位移传感器等。Lindgren^[5]介绍了一些用于验证焊接数值模拟合理性的方法,包括利用钻孔技术、X射线技术以及中子衍射技术等测量残余应力或应变。Liu等^[6]提出一种视觉测量焊接变形的办法。何洪文等^[7]提出一种应用激光扫描测量焊接变形的办法。然而,这些办法存在以下不足:(1)应变计贴片工艺复杂,且测量结果是一个较大区域的单向平均应变,而位移传感器一般只能用于单点、单向测量,很难测量焊接件表面整体的变形场。(2)钻孔、X射线以及中子衍射等

技术在实际使用中往往需要借助于较复杂的设备。(3)视觉测量法和激光扫描法仅能用于测量焊接件表面有限个点在焊接过程中的瞬时位移,仍然不能获得焊接件表面整体的变形场。

数字图像相关方法(Digital Image Correlation, DIC)由 M. A. Sutton 等人提出^[8-9],通过跟踪和匹配变形前后所采集图像的灰度信息来测量物体在各种载荷作用下表面整体的瞬时位移场和应变场。该方法具有非接触、高精度、光路简单,受环境影响小,自动化程度高等优点,已逐渐成为实验力学领域一种非常重要的光测手段。目前,国外已经研制出基于数字图像相关原理的光学变形测量系统,如德国 GOM 公司的 ARAMIS 系统,美国 CSI 公司的 VIC-3D 系统等。本文结合数字图像相关法和双目立体视觉技术^[10],提出并实现了一种用于金属薄板焊接过程中全场变形测量的办法。实验结果表明,本文办法可以满足金属薄板焊接全场变形测量的要求,与传统办法相比具有明显优势,是研究焊接变形规律的一种有效手段。

2 数字图像相关法

数字图像相关办法是匹配两幅图像上对应点的方法。基本原理如图 1 所示,其中一幅作为参考图像,另外一幅作为待匹配图像,在参考图像中,取以待匹配点 (x, y) 为中心的 $(2M+1) \times (2M+1)$ 大小的矩形子图像,在待匹配图像中,通过一定的搜索办法,并按照某一相关函数进行相关计算,寻找与选定的子图像相关系数最大的以 (x', y') 为中心的子图像,则点 (x', y') 即为点 (x, y) 在待匹配图像中的对应点^[11]。

在进行相关匹配时,左右图像需按照某一映射函数进行计算,本文采用一阶映射函数,其中包

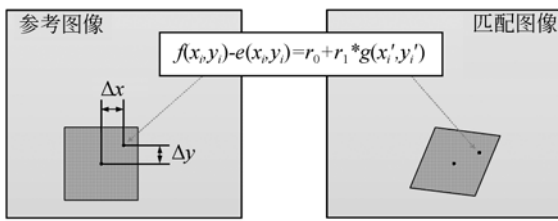


图 1 图像相关法原理图

Fig. 1 Schematic diagram of image correlation

含了旋转、平移、正应变和剪切应变等分量^[12]。

$$\begin{cases} x_i' = x_0 + \Delta x + u + u_x \Delta x + u_y \Delta y \\ y_i' = y_0 + \Delta y + v + v_x \Delta x + v_y \Delta y \end{cases} \quad (1)$$

其中: $\Delta x, \Delta y$ 分别是点 (x_i, y_i) 与子图像中心点在 x, y 方向的距离; u, v 分别是子图像中心点变形后在 x, y 方向的位移分量, u_x, u_y, v_x, v_y 为参考子图像的一阶位移梯度。

点 (x_i, y_i) 的灰度值 $f(x_i, y_i)$ 与点 (x_i', y_i') 的灰度值 $g(x_i', y_i')$ 之间的关系可表示为:

$$f(x_i, y_i) - e(x_i, y_i) = r_0 + r_1 * g(x_i', y_i'), \quad (2)$$

式中: $e(x_i, y_i)$ 表示噪声部分, r_0, r_1 用于补偿由于光照引起的灰度差异。

假设子图像中有 n 个像素点, 像素灰度受到独立同分布的噪声干扰, 那么对应的参考子图像和变形子图像间的相似程度可通过下式衡量:

$$C_{SSD}(\mathbf{p}) = \sum_{i=1}^n [f(x_i, y_i) - r_0 - r_1 * g(x_i', y_i')]^2, \quad (3)$$

式中: $\mathbf{p} = [u, u_x, u_y, v, v_x, v_y, r_0, r_1]$ 为相关参数向量。式(3)为非线性方程, 可利用最小二乘迭代算法求解, 但需要给出未知数的初值。通常 u, v 通过粗匹配获得, 其它的未知数如下给出:

$$\begin{cases} u_x = u_y = v_x = v_y = r_0 = 0 \\ r_1 = 1 \end{cases} \quad (4)$$

然而, 误差较大的初值会降低最小二乘迭代算法的计算速度甚至得到错误的收敛结果。为此, 本文提出了一种基于种子点的初值计算方法。如图 2 所示, 计算区域划分完毕后, 选取其中一个或几个子图像作为种子点(矩形框), 首先利用传统的方法对种子点进行匹配, 即先用粗匹配求取种子点的相关参数初值, 然后用 ILS 算法对其进行精确匹配。因为种子点数量较少, 因此粗匹配计算量可以忽略不计。种子点匹配完毕后, 利用

变形的连续性, 根据种子点与其临近点(上、下、左、右共 4 个点)在参考图像上的距离, 通过公式(1)可以得到临近点在待匹配图像上的位置初值, 通常这个初值与其实际位置非常接近。利用该中心点位置与其在参考图像上的中心位置相减作为 u, v 的初值, 其余相关参数取与种子点相同, 以此作为(Iterative Least-Squares, ILS)算法的初值对临近点进行匹配。利用种子点将这 4 个临近点匹配成功后, 这 4 个点又可作为种子点为其它点提供相关参数的初值, 如此不断向外扩散, 直至所有的点匹配完毕, 如图 2 所示。

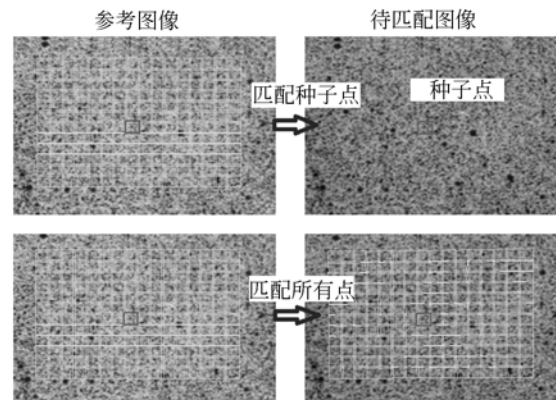


图 2 基于种子点的相关匹配

Fig. 2 Correlation matching based seed point

匹配完成后, 对于任意一个变形状态的左右两幅子图像中心点, 利用三角测量原理即可重建其对应的三维空间坐标。重复上述过程, 可以获得若干点的空间坐标, 这些空间点经曲面拟合就构成物体表面的三维形貌, 进一步计算即可得到被测物表面的三维位移场。最后, 在变形前的参考状态中, 利用某一点 P 及其周围 4 个点建立 4 个三角形, 对于每一三角形, 根据其变形前后的边长变化求解得到基于柯西-格林张量的拉格朗日应变, 取 4 个三角形的应变平均值作为点 P 的应变。

为了保证数字图像相关法测量结果的可靠性, 在实际应用中应保证: (1) 被测物体表面具有高对比度的随机特征或纹理, 可通过黑白哑光漆喷涂形成。(2) 采集的图像具有足够的清晰度和分辨率。(3) 相关计算时确保所划分的子图像尺寸大于散斑特征的最大尺寸。(4) 种子点应尽量选在被测物表面变形较小区域, 并保证所选的种子点在整个变形过程一直在相机视场中。

3 实验装置

本文实验中,被测板件的材料为 Q235,被加工成长方形薄板件,厚度为 2.5 mm,详细的焊接参数如表 1 所示。利用本文方法进行焊接变形测量,首先要采用黑白哑光漆在被测板件表面喷漆形成近似黑白相间的图案,以作为数字图像相关法跟踪被测件表面变形的散斑特征,如图 3 所示。

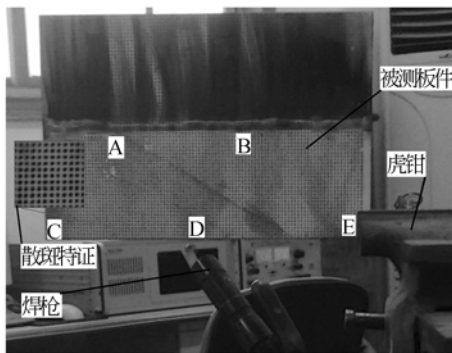


图 3 实验现场
Fig. 3 Test site

利用虎钳将被测板件一端固定,夹持区域、焊接方向以及计算坐标系如图 4 所示,焊缝长 300 mm,位于板件正中间,方向与板件长度方向平行。为了将测量结果统一到板件坐标系,使用记号笔在被测试件表面待测区域四周绘制若干十字形的标记点,以用于坐标对齐。

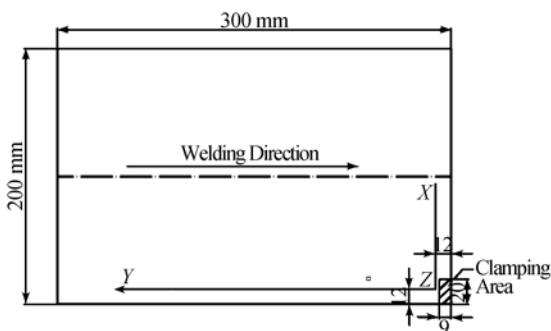


图 4 板件坐标系以及虎钳夹持区域的 CAD 模型图
Fig. 4 CAD model diagram of the clamping area and the defined coordinate system

焊接开始时,同时开启 2 台 CCD 相机(图 5)采集板件在整个焊接变形过程中的图像。所用相机的分辨率为 1 280 pixel×1 024 pixel,配置的镜头为 Schneider Kreuznach xenoplan 1.4/16,2 个

相机被固定在同一水平面,两相机夹角约 30°,以组成双目视觉测量头;采集图像前尽量使两相机中心线相交于测量区域中部,以构成大小约为 360 mm×270 mm 的公共视场。在焊接过程的前 200 s,相机的采集频率设置为 2 frame/s;焊接完成冷却期间(200~600 s 阶段),相机的采集频率为 0.5 frame/s,共采集 600 个变形状态。

表 1 焊接参数

Tab. 1 Welding parameters

焊接参数	参数值
板件材料	Q235
板件尺寸	300 mm×200 mm×2.5 mm
焊接方式	GTAW
电流	100 A
电压	12.5 V
焊接速度	6.8 mm/s
氩气流量	10 L/min
钨棒直径	2 mm

另外,为了根据采集的二维图像重建焊接过程中被测板件表面的三维数据(坐标、位移等),还需要对所用的双目相机进行标定。陈刚等^[13]和孙军华等^[14]分别提出了双目系统中相机标定的方法,但这些方法需要知道标定参考物精确的物方坐标,这给加工带来很大困难。本文采用一种基于光束平差原理的相机自标定方法^[15],该方法全面考虑了标定板的制造误差、镜头畸变误差,具有较高标定精度。具体标定步骤可以参考文献^[16]。

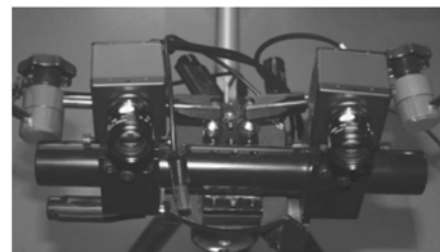


图 5 图像采集装置
Fig. 5 Image collection setup

本文根据数字图像相关算法和变形测量理论,基于 Window XP 环境,利用 VC++6.0 研制开发了用于焊接变形测量的计算软件,如图 6 所示。将实验采集的图像导入软件进行相关计算和分析处理即可实现金属薄板焊接变形场的测量。然后,将测量获得的三维数据统一到被测件的设

计坐标系中以方便后续焊接变形分析或验证其他焊接数值模拟方法。

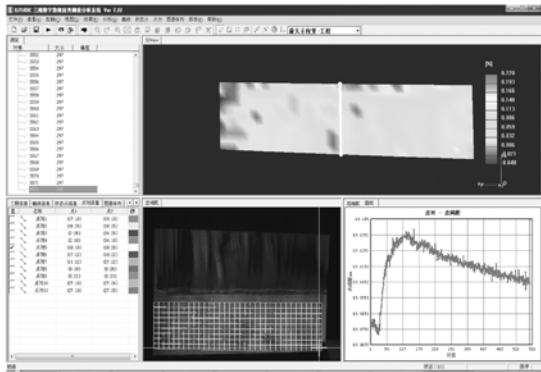


图 6 焊接变形测量软件

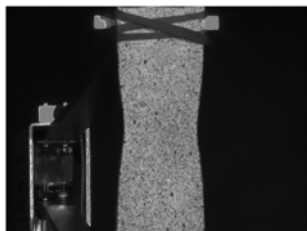
Fig. 6 Software for welding deformation measurement

4 实验结果与讨论

4.1 验证实验

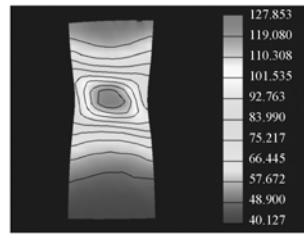
焊接实验前,为了验证本文所述测量方案在材料力学性能实验方面的可行性,采用图 5 所示的图像采集装置设计并实现了钢试件的标准拉伸实验,并利用引伸计进行精度验证和对比。试件材料为 Q235 钢,厚度 2 mm,通过线切割按照标准加工得到;引伸计标距为 50 mm,应变测量精度达到 0.5%,可测量的最大应变为 50%。

首先,对被测试件进行喷漆处理,形成表面散斑特征。接着,利用标准材料试验机的夹紧装置将定制的方形薄板试件固定,并在试件表面布置引伸计用于实验对比。试件开始拉伸的同时开启像机进行图像采集。最后,利用所开发的测量软件(图 6)对采集的图像进行处理和解算。图 7 显示了试件在被拉伸到缩颈时所采集的图像以及软件计算的结果。从图中可以看出,试件被拉伸到



(a) 散斑图像

(a) Speckle image



(b) 表面应变场

(b) Surface strain field

图 7 试件表面图像及其应变场

Fig. 7 Speckle image and strain field of the specimen surface

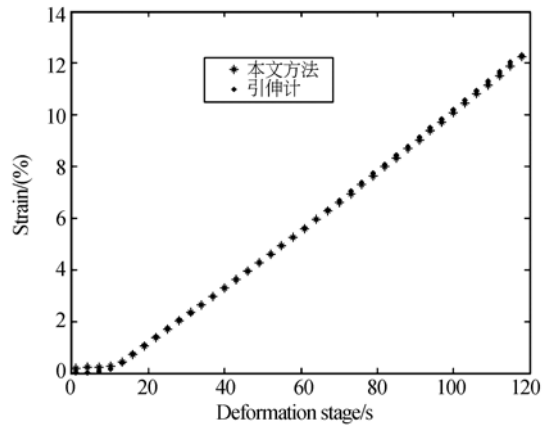


图 8 本文方法与引伸计测量结果对比

Fig. 8 Comparison of test results with extensometer

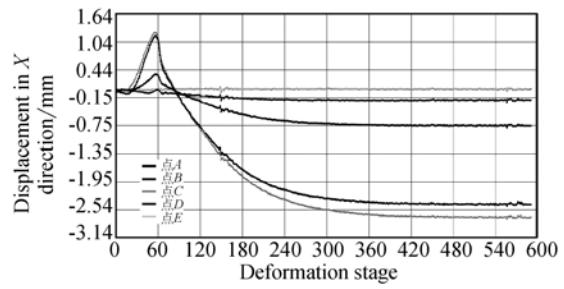
缩颈时,缩颈区的应变最大。图 8 为钢制薄板试件拉伸实验过程中,分别利用本文方法和引伸计测得的试件表面同一变形区域的平均应变对比曲线。由图 8 可以看出,2 种方法的测量结果基本一致。另外,若以本文方法计算出的应变为 x 坐标,以引伸计测得的应变为 y 坐标,可以得到若干坐标点,拟合这些坐标点可得到一条直线,方程为: $y=1.001 \times x-0.003$,从方程可以看出,2 种方法的相对误差约小于 0.1 个应变百分值,远小于引伸计标称误差 0.5%。根据概率统计原理,可以认为本文方法与引伸计测量精度相当,为 0.5%。分析误差产生的原因可能包括:(1)引伸计在拉伸过程中相对试件有细微打滑现象;(2)两种方法本身都存在一定的测量误差。

实验表明,本文提出的测量方法能够准确、全面地重建出载荷作用下试件表面的应变场,且测量结果能直观显示。

4.2 焊接变形实验

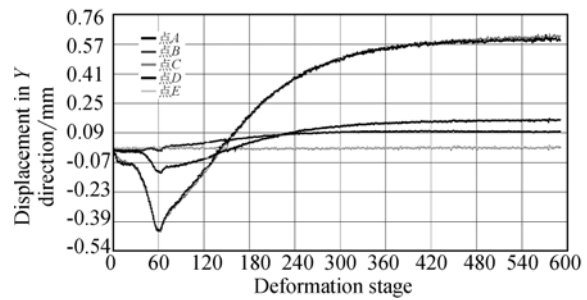
利用开发的实验装置和计算软件,针对 Q235 钢板材设计并进行了焊接变形测量实验。整个实验过程包括焊接和冷却。图 10 分别显示了被测薄板件在焊接开始阶段、结束阶段以及完全冷却时的表面三维位移场。可以看出,焊接开始时,板件表面 3 个方向基本不存在变形和位移。焊接过程中,板件表面 3 个方向的位移均匀增大,且距离虎钳夹持区越远位移值越大。最后在焊接完成后冷却的过程中,产生相反方向的变形和位移,且大小逐渐增大。完全冷却后,总体来说板件在 Z 方向产生的位移最大,Y 方向最小。在被测区域边缘取 5 个点(见图 3 标记位置),这 5 个点的位移时间曲线如图 9 所示,从图中可以看出,在整个实验过程中,A 点、C 点和 D 点在 X、Y、Z 3 个方向的位移变化趋势一致,焊接开始阶段,均产生沿 X、Z 正方向的位移,随着焊接温度升高变化较陡,焊接结束后,随着温度的降低发生回弹并逐渐产生了反方向的位移,至完全冷却达到最大值,其中 C 点的位移量最大;B 点由于比较靠近虎钳夹持区,故而产生的位移较小,但位移变化趋势和 A 点、C 点和 D 点相似;这 4 点沿 Y 方向(即焊接方向)的位移都比较小,最大不超过 1 mm。而在整个实验过程中,E 点 3 个方向的位移几乎都是 0,这是因为 E 点位于虎钳夹持区,所以位移基本不变。总之,测得的位移变化曲线比较光滑,过渡自然,数据合理。

另外,根据测得的板材表面点的位移数据,做平行于焊缝方向的截线,可以进一步计算得到板材沿焊缝方向的弯曲变形数据,如图 9(d)所示, C_1 , C_2 为沿焊缝方向不同位置的弯曲变形。图 11 显示了利用本文方法测得的板件在焊接结束完全冷却时的表面应变场,板件在焊接过程发生变形,并在冷却后产生了约 0.15% 的应变。实验表明,本文方法能够非常直观地显示薄板件在整个焊接过程中表面的三维形貌和变形场,为研究焊接变形规律提供一种有效手段。随着图像采集部件性能的提高,高温散斑测量技术的发展以及测量设备和环境的改善,采用本文方法能够获取更高的变形测量精度。



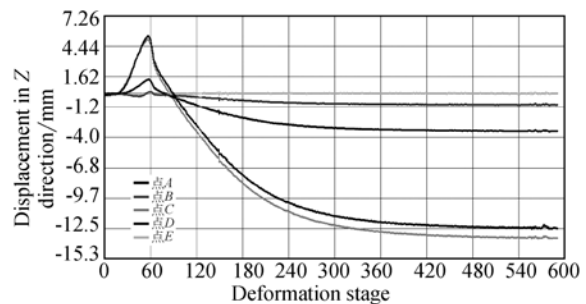
(a) X 方向位移

(a) Displacement in X direction



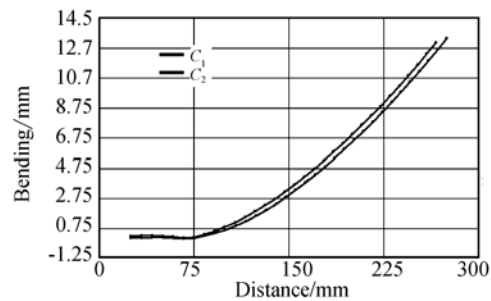
(b) Y 方向位移

(b) Displacement in Y direction



(c) Z 方向位移

(c) Displacement in Z direction



(d) 沿焊缝方向弯曲变形

(d) Bending welding direction

图 9 板材表面点位移时间曲线及弯曲变形

Fig. 9 3-dimensional displacement time history and bending deformation of a metal sheet during welding

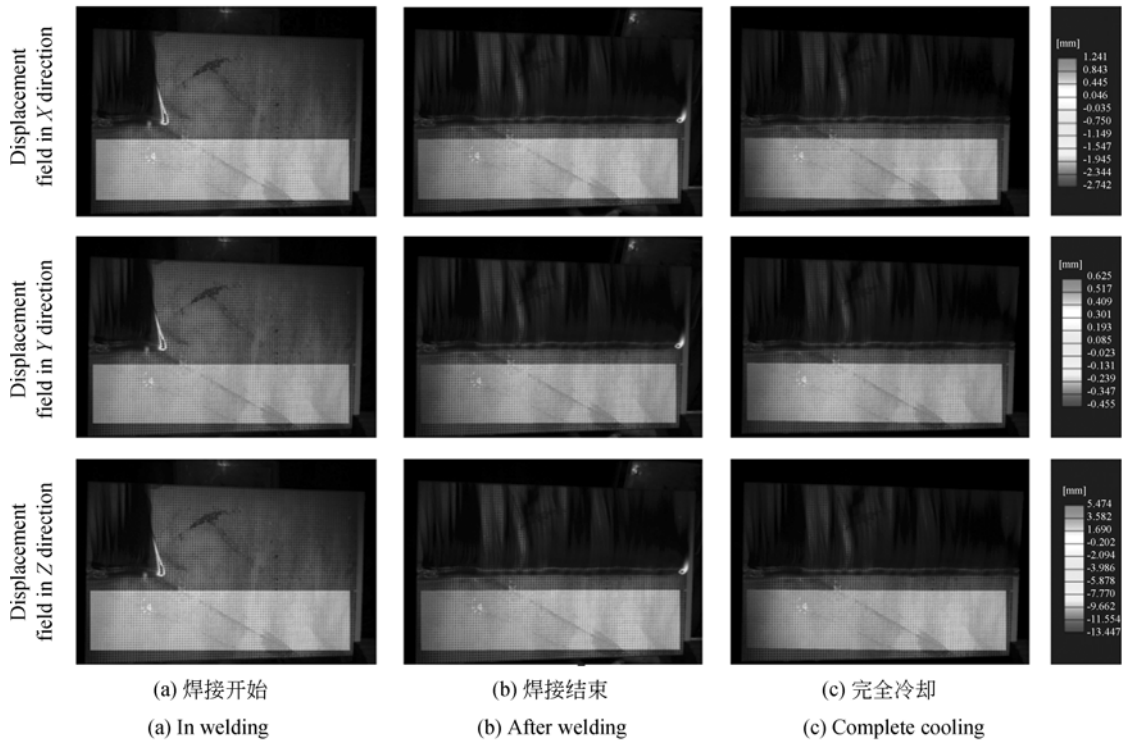


图 10 薄板件表面三维位移场

Fig. 10 Full-field 3D displacement of metal sheet

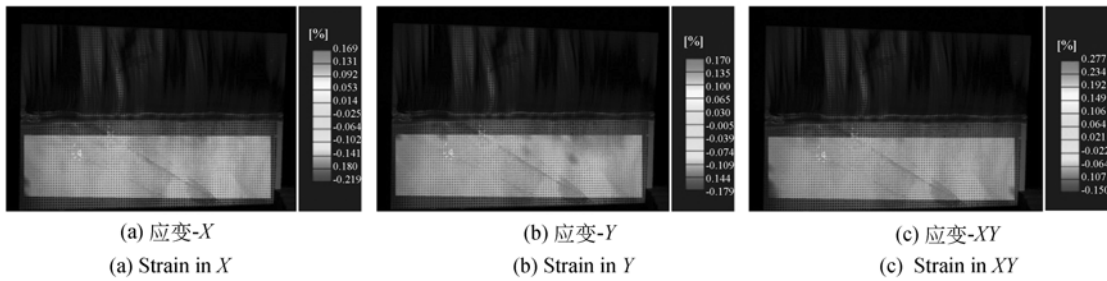


图 11 薄板件表面三维应变场

Fig. 11 Full-field 3D strain of metal sheet

5 结 论

本文针对金属薄板焊接变形测量的需求,围绕数字图像相关技术进行了深入研究。提出了一种基于种子点的高精度相关匹配算法,研制了用于薄板焊接变形测量的实验系统,并对其进行了精度验证和实际测量实验。实验结果表明:本文方法的应变测量精度为 0.5%,与引伸

计基本相当;不仅可以测量焊接变形最终状态的位移和应变,而且能够直观、准确地测量 Q235 薄板件在整个焊接过程中的表面形貌、三维位移场和应变场。该方法属于非接触式测量,它克服了传统的一些测量方法的不足,如难以重复定位,使用复杂费时,只能用于单点或单向测量,不能或很难测量焊接件表面的整体变形场等,为解决焊接过程存在的高温变形测量难题提供了一种有效手段。

参考文献:

- [1] 薛忠明,曲文卿,柴鹏,等. 焊接变形预测技术研究进展[J]. 焊接学报,2003,24(3):87-90.
XUE ZH M, QU W Q, CHAI P, *et al.*. Review on prediction of welding distortion [J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2003, 24(3):87-90. (in Chinese)
- [2] DENG D, LIANG W, MURAKAWA H. Determination of welding deformation in fillet-welded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements [J]. *J. Mater. Process. Technol.*, 2007, 183:219-225.
- [3] AKBARI M, MIRE SMAEILI R. Experimental and numerical analyses of residual stress distributions in TIG welding process for 304 L stainless steel [J]. *J. Mater. Process. Technol.*, 2008, 208:383-394.
- [4] DENG D. FEM prediction of welding residual stress and distortion in carbon steel considering phase transformation effects [J]. *Mater. Des.*, 2009, 30:359-366.
- [5] LINDGREN L. Finite element modeling and simulation of welding. PART 3: Efficiency and integration [J]. *Journal of Thermal Stresses*, 2001, 24(2):305-334.
- [6] 何洪文,赵海燕,钮文种,等. 应用三维激光扫描法测量板材的焊接变形[J]. 焊接学报,2011,32(12):9-12.
HE H W, ZHAO H Y, NIU W CH, *et al.*. A method to measure welding deformation of plate by three dimensional laser scanner [J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2011, 32(12):9-12. (in Chinese)
- [7] LIU J W, LIANG J, LIANG X H, *et al.*. Videogrammetric system for dynamic deformation measurement during metal sheet welding processes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,49:033601.
- [8] PETERS W H, RANSON W F. Digital imaging techniques in experimental stress analysis [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1982, 21(3):427-431.
- [9] CHU T C, RANSON W F, SUTTON M A, *et al.*. Applications of digital-image-correlation techniques to experimental mechanics [J]. *Exp. Mech.*, 1985, 25(3):232-245.
- [10] OZTURK A, HALICI U, ULUSOY I, *et al.*. 3D face reconstruction using stereo images and structured light [C], 2008:1-4.
- [11] 唐正宗,梁晋,肖振中,等. 用于三维变形测量的数字图像相关系统[J]. 光学精密工程,2010,18(10):2244-2253.
TANG ZH Z, LIANG J, XIAO ZH ZH, *et al.*. Digital image correlation system for three-dimensional deformation measurement [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(10):2244-2253. (in Chinese)
- [12] 孙伟,何小元, C. Quan,等. 基于数字图像相关的三维刚体位移测量方法[J]. 光学学报,2008,28(5):895-901.
SUN W, HE X Y, QUAN C, *et al.*. Three-dimensional rigid body displacement measurement based on digital image correlation [J]. *Acta Optica Sinia*, 2008, 28(5):895-901.
- [13] 陈刚,车仁生,叶东,等. 一种基于立体模板的双目视觉传感器现场标定方法[J]. 光学精密工程,2004,12(6):626-631.
CHEN G, CHE R SH, YE D, *et al.*. Stereo vision sensor field calibration method based on volume template [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(6):626-631. (in Chinese)
- [14] 孙军华,吴子彦,刘谦哲,等. 大视场双目立体视觉传感器的现场标定[J]. 光学精密工程,2009,17(3):633-640.
SUN J H, WU Z Y, LIU Q ZH, *et al.*. Field calibration of stereo vision sensor with large FOV [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3):633-640. (in Chinese)
- [15] CLIVE S, FRASER. Digital camera self-calibration [J]. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 1997,52(4):149-159.
- [16] 胡浩,梁晋,唐正宗,等. 大视场多像机视频测量系统的全局标定[J]. 光学精密工程,2012,20(2):369-378.
HU H, LIANG J, TANG Z Z, *et al.*. Global calibration for multi-camera videogrammetric system with large-scale field-of-view [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(2):369-378. (in Chinese)

作者简介:



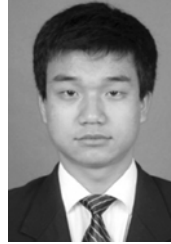
胡 浩(1985—),男,安徽阜阳人,博士研究生,2010年于西安交通大学获得硕士学位,主要从事三维光学测量方面的研究。E-mail: huhao136@163.com



唐正宗(1982—),男,山东日照人,博士研究生,2005、2008年于西安交通大学分别获得学士、硕士学位,主要从事三维光学测量方面的研究。E-mail: nevret@gmail.com



梁 晋(1968—),男,河南郑州人,博士,教授,博士生导师,1990年、1993年、2001年于西安交通大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事机电控制、机器视觉等方面的研究。E-mail: liangjin@mail.xjtu.edu.cn



卢 岗(1988—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,2010年于西安交通大学获得学士学位,主要从事逆向工程、三维光学检测等方面的研究。E-mail: shihun19880126@163.com

● 下期预告

高精度紫外标准探测器的定标

王 锐^{1,2},王淑荣²,郭 劲^{1,2},王挺峰^{1,2}

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室,吉林 长春 130031;
2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130031)

为了进一步提升紫外波段辐射定标精度,研究了紫外标准探测器的定标方法,建立了高精度紫外辐射计标准,通过降低标准源自身不确定度,并采用标准探测器定标方法来消除部分不确定度因素,使得定标精度大幅提高。同时利用标准光源及标准探测器定标方法对待测光源辐照度、空间遥感仪器辐照度响应度进行标定。两种方法定标结果表明:采用标准探测器定标方法可使定标精度提升40%以上,充分证明了紫外标准探测器定标方法的有效性及高精度。实现了紫外探测器定标方法的工程化应用。