

实验五

焊接残余应力测试原理、试件处理及贴片

一、实验目的

- (1) 了解焊接残余应力的测量方法——应力释放法。
- (2) 掌握试件表面处理及应变片粘贴技术。

二、实验内容

- (1) 试件表面处理。
- (2) 贴片。

三、实验设备及材料

焊接试板(Q235 或 16Mn 等钢板或铝/镁合金板)、型号为 TJ 120-1.5- ϕ 1.5 的电阻应变片(灵敏系数为 2.07,标称电阻值为 120 Ω)、型号为 BE 120-3AA 的电阻应变片(灵敏系数为 2.11,标称电阻值为 120 Ω)、万用表、手电钻、镊子、钢板尺、电烙铁、焊锡丝、502 胶水、乙醇、丙酮、脱脂棉、砂纸。

四、实验方法及步骤

- (1) 试件制备。

选用 350mm \times 150mm \times 16mm Q235 板材加工单边 V 形坡口,采用活性气体保护电弧焊(metal active gas arc welding, MAG)方法对接焊接制成 350mm \times 300mm \times 16mm 试板。

- (2) 表面处理及划线。

利用砂轮、砂纸、钢丝刷等工具对待测试件清理,清除表面的锈迹和氧化层。用 0.106~

0.150mm 细砂纸交叉打磨(预处理),然后用划针在待测点处轻轻刻出十字作为待贴应变片位置中心线,仔细磨去凸边,利用脱脂棉蘸乙醇及丙酮多次清洗待测工件表面,些许干燥后应立即粘贴电阻应变花,以防止金属表面再次氧化生锈。

(3) 粘贴应变花。

本实验选用的应变花型号是 BJ 120-1.5- ϕ 1.5CA,其由 3 个方向应变片构成,如图 5-1 所示,粘贴位置如图 5-2 所示。

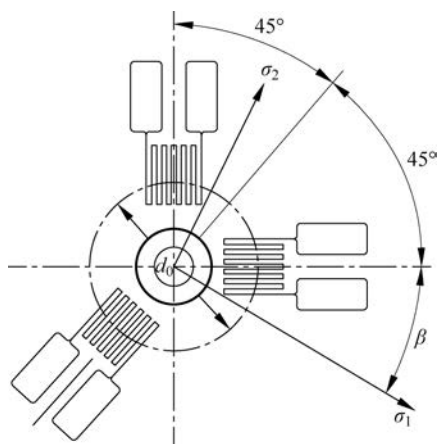


图 5-1 电阻应变花示意图

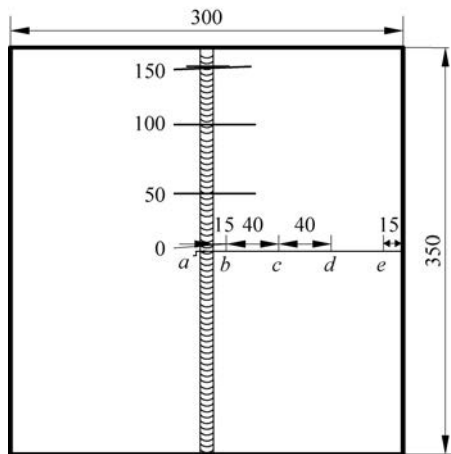


图 5-2 应变花粘贴位置示意图

粘贴前检查应变花,不允许表面存在折皱。辨清应变花的正反面,做预贴片演练。用万用表测量其电阻值来判断是否符合要求。选用快速固化的 502 胶水滴在应变花粘贴面上使其形成一层薄面,把应变花中心对准试件划线位置,再覆盖一张薄膜放在应变花上面,手指压紧 1~2min 后,放置 24h 以达到最大粘贴强度,用于下次实验测量。

五、分析总结

- (1) 了解应变片的种类及应用。
- (2) 分析应变片粘贴强度的影响因素。
- (3) 总结应力释放法测应力对试件表面的处理方法及要求。

实验六

应变仪使用方法及残余应力测定

一、实验目的

- (1) 了解应力释放法测试焊接残余应力的基本原理。
- (2) 了解焊接残余应力的产生原因及消除方法。
- (3) 掌握焊接残余应力在对接试板中的分布规律及影响因素。

二、实验内容

- (1) 钻孔。
- (2) 测量残余应力。

三、实验设备及材料

钻孔装置(ZDL-II型)、测残余应力打孔仪(RSD1型)、焊接试板(Q235或16Mn等钢板或铝/镁合金板)、型号为TJ 120-1.5- ϕ 1.5的电阻应变片(灵敏系数为2.07,标称电阻值为120 Ω)、型号为BE 120-3AA的电阻应变片(灵敏系数为2.11,标称电阻值为120 Ω)、残余应力测试仪(ASMB2-24)、动静态应变测试仪(JM3841)、镊子、钢板尺、电烙铁、焊锡丝、502胶水、乙醇、丙酮、脱脂棉、砂纸。

四、实验原理

利用焊接试板切开或钻孔后的边界效应,根据应力释放原理测试残余应力。盲孔法测量焊接残余应力的基本原理如下。

薄板焊接试件内有双向残余应力场(σ_1, σ_2)存在,在工件表面任意点钻取一定深度的盲

孔会破坏原有的残余应力平衡,使盲孔周围的应力场重新调整。即钻孔释放了该处的应变和残余应力,它们同时改变并存在对应关系。测定出释放应变后,再利用弹性力学原理就可以得出盲孔处的焊接残余应力大小,残余应力的计算公式如下:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{4A} - \frac{1}{4B} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3)^2} \\ \sigma_2 = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{4A} + \frac{1}{4B} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3)^2} \\ \tan 2\theta = \frac{2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3}{\epsilon_3 - \epsilon_1} \end{cases} \quad (6-1)$$

式中: ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 分别是沿焊缝方向,与焊缝成 135° 方向和 90° 垂直方向的释放应变量,单位为 $\mu\epsilon$; θ 为最大主应力角; σ_1 和 σ_2 为最大和最小主应力,单位为 MPa; 应变释放系数 A 、 B 由拉伸标定实验取定,本实验的应变释放系数 $A = -0.46 \times 10^{-6} \text{MPa}^{-1}$, $B = -0.79 \times 10^{-6} \text{MPa}^{-1}$ 。

加工应变的存在将降低实验的精度,本实验的材料加工应变取 $\epsilon = -39\mu\epsilon$ (采用砂布抛光轮时为 $-193\mu\epsilon$),将测得的应变值统一减去加工应变后计算应力。

沿焊缝方向的纵向残余应力 σ_x 和垂直于焊缝方向的横向残余应力 σ_y 计算公式如式(6-2)所示。

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{4A} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{4B} \\ \sigma_y = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{4A} - \frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{4B} \end{cases} \quad (6-2)$$

五、实验方法及步骤

(1) 仪器调试及连接。

对粘贴好的应变花一般要先用万用表检查,贴片过程中损坏的应变片应弃用。检查完毕后焊接引出线与连接片,再将试板上的各应变片按顺序号通过屏蔽线接入附有预调平衡箱(P20R-5型)的电阻应变仪(YJ-5型)回路。通过应变仪调零可确定应变片是否稳定,如果应变片的焊接点没有焊好或是绝缘电阻没有达到规定的要求(一般为 $100\text{M}\Omega$ 以上),就会产生漂移或摆动情况。漂移严重的应变片应被弃用,再重新贴片。本型号的应变片灵敏系数在 2.07 ± 0.0207 ,电阻值为 120Ω ,误差为 ± 0.24 。将应变仪上各应变片的初始应变数均调至 0,若不能调零则用电阻应变仪测量应变片的初始应变读数,并记录数据。

(2) 安装钻具对中。

预先调整钻孔装置(DZL-1型),使钻具的 3 个支脚高度一致。调整放大镜的焦距观察钻具与工件表面的位置情况,将应变花中心位置初步对准。将 502 胶水滴入脚座与工件之间使支架脚座固定。然后拧紧锁帽,松开锁紧压盖,微调 x 、 y 方向的 4 个调节螺丝行程,使放大镜里的十字线中心与应变花中心标记重合,锁紧压盖。完成后将应变仪重新调零。

(3) 钻孔。

钻孔前用直径为 2.0mm 的平底端铣刀将钻孔部位的基底划去,然后通过卡圈和厚度

定位挡块调整钻孔深度为 2.0mm。钻孔方式采用直径为 1.0mm 的麻花钻钻头钻孔和直径为 1.5mm 的钻头扩孔。应变释放完 1~2min 后测读应变仪读数。待试板温度恢复至室温后,用电阻应变仪再次测量接头试板上各相应电阻应变片的应变读数,并记录下数据。

(4) 拆卸。

拆卸钻具,清洗支脚,放回原处。

六、数据处理和分析

(1) 将测量出的各应变变量按测量点序号填入表 6-1,并按照前述公式计算残余应力。计算出的应力符号为正时,应力为拉伸残余应力;符号为负时,为压缩残余应力。

表 6-1 实验数据记录及处理

试件 编号	测点 位置	测点 编号	到中心的 距离/mm	焊缝 方向	45°方向	垂直 方向	最大 应力	最小 应力	纵向 应力	横向 应力
				$\varepsilon_1/\mu\varepsilon$	$\varepsilon_2/\mu\varepsilon$	$\varepsilon_3/\mu\varepsilon$	σ_1/MPa	σ_2/MPa	σ_x/MPa	σ_y/MPa
	沿 焊 缝 中 心 与 焊 缝 垂 直									

(2) 根据计算出的焊接残余应力的值,按照对称于 x 轴及 y 轴的分布规律在直角坐标系中分别绘出焊接接头纵向残余应力和横向残余应力的分布曲线。

(3) 根据实验结果说明焊接残余应力的分布规律,分析实验误差产生的原因。

附 完全释放法(切条法)测试焊接残余应力原理及步骤

一、采用完全释放法测试残余应力

其原理是利用焊接试板切开后的边界效应,根据应力释放原理测试残余应力。

(1) 将需要测定内应力的焊件划分几个区域(如横向应力区、纵向应力区)并均匀设置测点;在各区待测点粘贴应变片,测定其原始数据读数(或调零)。在靠近测量点处将焊件沿垂直于焊缝方向切断,并在各测量点间切出梳状切口,使内应力得以释放。对于某一梳条,用电阻应变仪测量的释放前后的应变变量差值为释放应变。

(2) 相应焊缝残余应力可按公式计算。

(3) 用同样的方法,测出每一个测量点的残余应力。

二、注意事项

(1) 测量结果受切条宽度影响很大,因此切条时要尽可能使每条宽度一致。

- (2) 贴应变片时应尽可能使各片间距保持均等,以便于切条保持宽度一致。
- (3) 切条时,切割速度不宜过快。
- (4) 实验钢板厚度不宜太厚。

三、实验步骤

- (1) 试板焊接: 两块 $300\text{mm} \times 100\text{mm} \times 6\text{mm}$ Q235 板材对接焊接成 $300\text{mm} \times 200\text{mm} \times 6\text{mm}$ 试板。
- (2) 试件清理: 利用砂轮、砂纸、钢丝刷等工具对待测试件清理。
- (3) 打磨除锈: 先用 $0.106 \sim 0.150\text{mm}$ 细砂纸预磨,然后划出待贴应变片位置中心线,仔细磨去凸边,利用脱脂棉蘸乙醇及丙酮多次清洗,吹干后贴片。
- (4) 划线贴片: 划线前辨认好应变片正反面,做预贴片演练,无误后将涂有少量 502 胶水的应变片贴于划线处,垫上塑料片指压 1min。
- (5) 接线调试: 贴上连接片,连接好应变片与预调平衡箱和应变仪,调试电阻使各点初读数为 0 或整数。
- (6) 锯切释放: 24h 后将试板在接近应变处切开,然后在两片之间锯切开槽,切成梳状。
- (7) 数据记录。
- (8) 应力计算。

四、实验数据的整理和分析

将测量出的各应变变量按测量点序号填入表中。

若为单向应力,则根据虎克定律,用下面两式计算:

$$\sigma_x = -E\Delta\epsilon_x = -E(\epsilon_{x1} - \epsilon_{x0})$$

$$\sigma_y = -E\Delta\epsilon_y = -E(\epsilon_{y1} - \epsilon_{y0})$$

若为双向内应力,则应根据广义虎克定律,用下面两式求得:

$$\sigma_x = -\frac{E(\epsilon_x + \mu\epsilon_y)}{1 - \mu^2}$$

$$\sigma_y = -\frac{E(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)}{1 - \mu^2}$$

式中, E 为弹性模量, $\mu=0.30$, $E=210\text{GPa}$ 。

当计算出的应力符号为正时,应力为拉伸残余应力;符号为负时,为压缩残余应力。

实验七

弧焊机器人的编程与操作

一、实验目的

- (1) 通过本实验,了解焊接机器人的结构及其焊接系统的组成。
- (2) 初步掌握弧焊机器人的编程方法及编程指令的使用。
- (3) 能够使用机器人实现简单位置焊缝的焊接。

二、实验内容

- (1) 编程方法和编程指令的使用。
- (2) 弧焊机器人的编程与操作。

三、实验设备及器材

UP20 型弧焊机器人工作站、厚度为 3~5mm 的钢板或铝板。

四、工作站系统的构成

机器人本体、机器人控制器、焊接电源和辅助系统(送丝机构、保护气体等)。

五、注意事项

- (1) 弧焊机器人属于贵重设备且操作复杂,实验时必须有实验指导教师在场。未经实验指导教师允许,不得擅自操作机器人。
- (2) 实验前必须认真阅读实验指导书,阅读操作说明书,熟悉弧焊机器人的操作步骤,

在实验指导教师的指导下进行操作。

(3) 机器人的机械手可以高速运动,弧焊过程中具有高温、弧光,若焊接参数选择不当,则可能出现焊接飞溅等,因此实验时必须做好防护,注意安全。实验结束后注意关闭水、电、气,检查无误后方可离开现场。

(4) 实验中一旦出现异常情况,立即切断电源,通知实验指导教师,不得擅自处理异常现场。

六、实验步骤

本实验以平角焊缝为例,介绍如何对弧焊机器人进行示教和再现。弧焊机器人的编程运行工作分为示教和再现两部分。

1. 机器人的示教

(1) 打开控制柜上的电源开关,系统进入自检。系统自检完成后,在示教盒的显示屏上会显示出主菜单。

(2) 按下控制柜上的示教[TEACH]按钮,该按钮被点亮。然后按下伺服启动/准备[SERVO ON/READY]按钮,该按钮开始闪动,表示系统处于伺服准备[SERVO READY]状态。此时系统处于示教模式。

(3) 按下示教盒上的示教锁定[TEACH LOCK]按钮,该按钮被点亮,表示可以进行示教。然后将光标移到程序项,按下选择键[SELECT],进入下一级菜单。

(4) 在这一级子菜单中有多项选择,如果要执行已经编好的存在 XRC 的程序,则将光标移到选择程序,然后按下选择键[SELECT]。如果是建立一个新程序,则将光标移到建立新程序,按下选择键[SELECT]。出现如图 7-1 所示的画面。

(5) 在进入建立新程序的画面后,首先要给新程序命名。将光标移到程序名,按下选择键[SELECT],出现如图 7-2 所示的画面。



图 7-1 选择程序/建立新程序

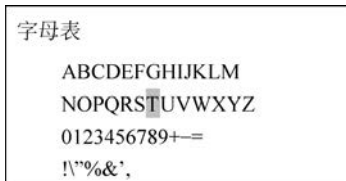


图 7-2 给新程序命名

假如所取的新程序名为“TEST”,为了输入“TEST”,首先将光标移动到“T”,按下选择键[SELECT]。同样地,依次按下“E”“S”“T”,则“TEST”出现在显示屏下部的缓冲区,如图 7-3 所示。

按下确认键[ENTER]进行保存,如图 7-4 所示。程序名可以由英文字母和数字组成,最多可以使用 8 个字符。

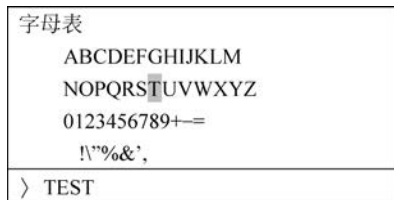


图 7-3 命名新程序为“TEST”



图 7-4 保存程序名称

在图 7-4 中,程序名称下方的注释是对这一新程序功能的注释,可以加上也可以不加。如需要加注释,其方法与为程序命名的操作相同。注释下方的轴组设定是选择在本程序中所控制的轴组。

程序	编辑	显示	实用工具
新程序			
J: TEST	S: 000	R1	TOOL: 1
0000 NOP			
0001 END			
=>MOVJ VJ=0.78			

图 7-5 程序被储存且显示作业

如果只控制机器人本体,则选择 R1,如果还需要控制外部轴,则须选择 R1+S1 或 R1+S1:S1(本系统有两根外部轴)。这些都选择完以后,将光标移到“执行”按下选择键[SELECT]。程序“TEST”将被储存到 XRC 的内存中,并且该作业被显示出来,如图 7-5 所示。

至此,可以开始示教过程。示教过程可以分为两步进行:首先进行路径规划,即用轴操作键控制机器人沿预定的轨迹走一遍,实现路径示教;然后设定运动参数及焊接参数。这样便完成了整个示教过程。

需要注意,机器人在示教过程中的速度是手动速度,是由示教盒上的速度控制键来控制的。在远离工件或其他障碍物时,可以选择中速或高速;在接近工件时一定要选择低速,避免焊枪与工件相撞,以防引起事故。

(6) 操作者用左手轻轻握紧示教盒背面的手柄开关,接通伺服电源。此时,示教盒上的伺服指示灯[SERVO ON]被点亮,表示可以用轴操作键操纵机器人的手臂运动。在此后的操作中要一直保持手柄开关处在接通状态。在操纵手臂运动之前,首先要确定工作原点,即在保持机器人手臂不动时先按下确认键[ENTER],在显示区显示出第一条运动命令。这条运动命令不完成任何动作,只起到记忆工作原点的作用,如图 7-6 所示。

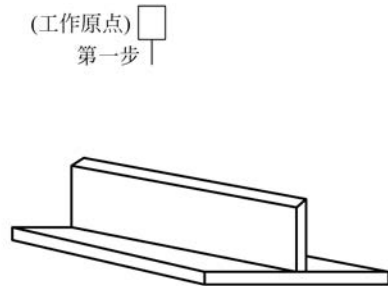
(7) 用示教盒上的坐标系选择键[COORD]选择直角坐标或关节坐标,将手动速度调到中速。用轴操作键操纵机器人由工作原点到工件附近的一点,并调整好焊枪的姿态(注意,当控制焊枪平行移动时,应选择直角坐标系,调整焊枪姿态时最好使用关节坐标系),按下确认键[ENTER]完成第二步,如图 7-7 所示。

(8) 将手动速度调到低速,用轴操作键控制焊枪接近工件,控制好焊枪的姿态和焊丝伸出长度,按下确认键[ENTER]完成第三步,如图 7-8 所示。

(9) 第四步是施焊,首先用示教盒上的运动模式选择键[MOTION TYPE]将显示缓冲区中的关节运动命令 MOVJ,换成直线运动命令 MOVL。然后移动机器人沿焊缝运动,到达焊缝终点时按下确认键[ENTER],完成第四步施焊,如图 7-9 所示。

程序	编辑	显示	实用工具
新程序			
J: TEST	S: 000	R1	TOOL: 1
0000 NOP			
0001 MOVJ VJ=0.78			
0002 END			
=>MOVJ VJ=0.78			

(a)



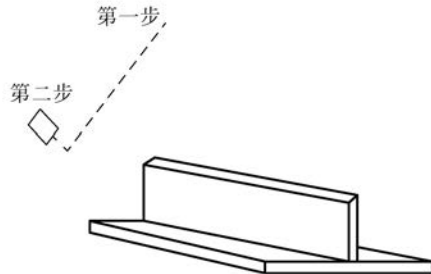
(b)

图 7-6 第一步

(a) 显示第一条运动命令；(b) 确定工作原点

程序	编辑	显示	实用工具
新程序			
J: TEST	S: 002	R1	TOOL: 1
0000 NOP			
0001 MOVJ VJ=0.78			
0002 MOVJ VJ=0.78			
0003 END			
=>MOVJ VJ=0.78			

(a)



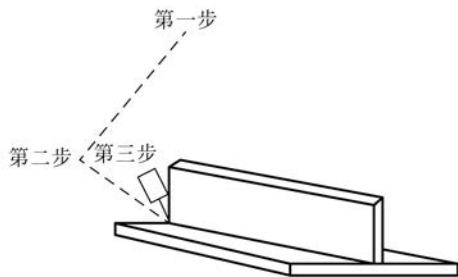
(b)

图 7-7 第二步

(a) 选择坐标系及调节手动速度为中速；(b) 操纵机器人到工件附近一点

程序	编辑	显示	实用工具
新程序			
J: TEST	S: 003	R1	TOOL: 1
0001 MOVJ VJ=0.78			
0002 MOVJ VJ=0.78			
0003 MOVJ VJ=0.78			
0004 END			
=>MOVJ VJ=0.78			

(a)



(b)

图 7-8 第三步

(a) 调节手动速度至低速；(b) 控制焊枪接近工件

(10) 第五步是离开焊缝，避免焊枪返回工作原点时与工件相碰。在完成这一步时，首先用运动模式选择键[MOTION TYPE]将运动模式调回关节运动模式，然后用轴操作键控制焊枪离开工件，按下确认键[ENTER]，完成这一步，如图 7-10 所示。