

# 差厚激光拼焊板焊缝移动与回弹控制

姜银方<sup>1</sup>, 张永康<sup>1</sup>, 朱元右<sup>2</sup>, 李路娜<sup>1</sup>, 汪建敏<sup>3</sup>

(1. 江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 南京工程学院 机械系, 南京 210013;

3. 江苏大学 材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212013; )

**摘 要:** 研究具有纵向焊缝的拼焊板在不同压边力作用下的回弹与焊缝移动及其相互关系, 为拼焊板的回弹控制找到切入点。基于厚/薄侧变形均匀的思想, 采用拼焊板两侧的截面应力相等的方法, 理论推导了控制焊缝移动的公式, 以此计算控制焊缝移动和拼焊板回弹所需要的拼焊板两侧压边力分布值。研究表明, 总压边力的增大, 带来双重效应: 一方面随总压边力的增大拼焊板回弹降低; 另一方面随总压边力的增大拼焊板焊缝移动增加, 焊缝移动增加回弹增加。维持总压边力不变, 通过调整压边力分布, 消除焊缝移动, 同时回弹也达到最小值。采用足够高的压边力的同时, 对拼焊板厚/薄侧施加不均匀压边力, 降低焊缝移动, 这为拼焊板回弹控制提出了新的理论和方法。

**关键词:** 拼焊板; 压边力; 焊缝移动; 回弹

**中图分类号:** TG386 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2008)01-0031-04



姜银方

## 0 序 言

拼焊板技术指将两块或两块以上的板料, 采用焊接方法拼在一起, 然后进行冲压成形。这些板料, 可以具有不同的厚度、性能、材质和表面涂层。拼焊板技术具有降低车重, 从而降低油耗、提高整体性能及保护环境等优势, 在汽车行业中的应用前景广阔<sup>[1]</sup>。然而, 由于拼焊板二基板强度性能或厚度差的存在, 易于造成板料起皱、破裂、焊缝移动和回弹等问题。目前对拼焊板回弹的研究还较少, 主要集中在破裂、起皱和焊缝移动等方面<sup>[2-4]</sup>, 是通过试验和仿真方法对具有纵向焊缝和横向焊缝的拼焊板 U 形件的自由弯曲回弹进行研究<sup>[4-5]</sup>。

拼焊板的焊缝材料特性的不同, 不是导致拼焊板回弹不同于光板的主要原因, 以前的试验<sup>[6]</sup>证明当拼焊板的板宽达到一定值(如 60 mm)后, 焊缝的存在不再对拼焊板的回弹产生明显的影响; 当然焊接产生的焊接应力可能有较大的影响, 这需要进行进一步研究, 这里暂不阐述。

一般造成拼焊板成形形状不良有两种表现, 一是形变板料的弹性恢复, 二是应变的分布不均匀。

而拼焊板回弹则可能来源于不规则的弹性恢复和拼焊板的厚差造成弯曲成形更多的非线性和非对称, 从而导致变形的严重不均匀分布。文中对具有纵向焊缝的拼焊板的 U 形件拉弯回弹进行研究。

## 1 拼焊板焊缝移动/回弹控制理论

对于差厚拼焊板来说, 由于两侧的变形抗力不同, 因此在拉深弯曲过程中的拉伸变形程度也不同, 从而导致拼焊板向一侧偏移, 这就是焊缝移动。焊缝移动意味着拼焊板两侧板的拉伸变形沿宽度不均匀分布。由于应变能够显著影响切向应力在整个厚度上分布的均匀性, 从而影响回弹。所以拼焊板的焊缝移动与回弹之间存在一定的关系。

焊缝移动是由于变形的不均匀性造成的, 对于具有纵向焊缝的拼焊板来说, 在均匀拉力的作用下, 两侧产生的应变不一样, 薄侧产生的应变大于厚侧, 因此会产生一个转动力矩, 使拼焊板向厚侧偏移, 如图 1 所示。所以焊缝移动受两个因素的影响: 一是两侧受到的拉力大小; 二是两侧的抗变形能力大小。对于同种材料组成的焊缝位于中间的拼焊板来说, 两侧变形抗力的大小决定于厚度。

假设拼焊板厚薄二侧的宽度相等, 板料所受的拉力等于通过凹模圆角时的阻力, 对于单位宽度上的阻力可用表示为

$$T = T_R + T_B \tag{1}$$

其中  $T_R$  是板料在圆角处, 由于摩擦而在单位宽度上产生的阻力, 可表示为

$$T_R = \mu Q \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) \tag{2}$$

式中:  $Q$  是压边力;  $\mu$  是摩擦系数;  $\frac{\pi}{2}$  是板料在凹模圆角上绕过的弧度, 近似与凹模圆角的弧度相等。

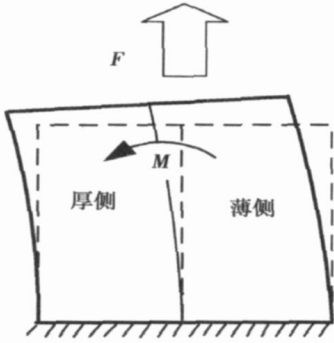


图 1 拼焊板在均匀拉力下的焊缝移动示意图  
(虚线表示拼焊板的原始状态)

Fig. 1 Welded seam movement under symmetrical pull

式(1)中,  $T_B$  是因弯曲产生的单位宽度阻力, 且与张力有关: 张力越大,  $T_B$  的值越小。

$$T_B = f(T_s) \frac{R_{eL} t^2}{2R} \tag{3}$$

式中:  $f(T_s)$  是一个跟张力有关的函数, 是非线性的, 随着张力的增加而减小, 而张力是压边力的函数, 因此  $f(T_s)$  是压边力的单调递减函数, 不考虑张力对弯曲力的影响,  $f(T_s) = 1$ ;  $R_{eL}$  是材料的屈服强度;  $R$  是凹模圆角半径;  $t$  是板料的厚度。将式(2), (3)代入式(1)可得板料单位宽度的阻力表达式:

$$T = \mu Q \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) + f(T_s) \frac{R_{eL} t^2}{2R} \tag{4}$$

将上式除以板料的厚度可得截面应力:

$$\sigma = \frac{\mu Q}{t} \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) + f(T_s) \frac{R_{eL} t}{2R} \tag{5}$$

弯曲力  $T_B$  是一个复杂的量, 难以直接用公式表达。但是当压边力很低的时候, 可以忽略拉力的影响, 即  $f(T_s)$  接近于 1, 直接将弯曲阻力写成

$$T_B = \frac{R_{eL} t^2}{2R} \tag{6}$$

此时板料在圆角处的阻力可表示为

$$\sigma = \frac{\mu Q}{t} \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) + \frac{R_{eL} t}{2R} \tag{7}$$

由式(7)可知, 对于施于均匀压边力的差厚拼焊板来说, 当压边力比较小时, 第二项是主要的, 板料的截面应力受弯曲力  $T_B$  的影响很大, 虽然厚板的截面

大, 但是厚板的阻力大于薄板。因而总的来说, 厚板的截面应力可能大于薄板, 导致厚侧的应变大于薄侧, 焊缝有可能朝薄侧移动。但在压边力比较小时, 这种应变本身比较小, 所以表现出的应变不均匀性也不大, 因而焊缝移动量很小。当压边力较大时, 第一项是主要的, 厚板的应力较小, 此时厚侧的应变小于薄侧, 焊缝将朝厚侧移动, 而且板的拉伸变形大, 应变的不均匀性也很明显, 焊缝将有很大的移动。

为控制焊缝移动, 需要调节压边力分布使两侧的截面应力相等。假设拼焊板的厚度组合为  $t_1/t_2$ , 总压边力为  $Q$ , 则两侧的压边力  $Q_1$ 、 $Q_2$  符合下式:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\mu Q_1}{t_1} \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) + f(T_s) \frac{R_{eL} t_1}{2R} &= \\ \frac{\mu Q_2}{t_2} \exp\left(\frac{\mu\pi}{2}\right) + f(T_s) \frac{R_{eL} t_2}{2R} &= \\ Q_1 + Q_2 &= Q \end{aligned} \right\} \tag{8}$$

方程(8)中包含一个未知项  $f(T_s)$ , 分别令  $f(T_s)$  等于 0 和 1, 可以得出压边力的范围, 减小数值模拟或实验的盲目性。

## 2 试验与仿真

### 2.1 试验参数

拼焊板所用的薄板材料参数见表 1。薄板的厚度分别为 0.8、1.2 mm。采用 HJ—4CO<sub>2</sub> 激光器焊接, 焊接功率和焊接速度分别为 2.2~3.0 kW 和 1.8~2 mm/s, 焊接时使两块薄板的底部对接, 两块薄板的厚度不同, 但宽度均为 30 mm, 焊接后总宽度为 60 mm, 与拼焊板做对比的光板, 宽度也为 60 mm。

表 1 材料参数

Table 1 Material parameter

	杨氏模量 $E/\text{GPa}$	泊松比 $\lambda$	屈服强度 $R_{eL}/\text{MPa}$	抗拉强度 $R_m/\text{MPa}$	硬化指数 $n$
光板	206	0.30	270	490	0.15
焊缝	190	0.30	392	859	0.12

凹凸模圆角半径为 5 mm, 凸模尺寸为 60×60 mm, 凸凹模间隙为 1.5 mm, 凸模和压板都存在 0.4 mm 的台阶, 以补偿拼焊板的厚度差。试验时, 采用自制 YCBD3150 变压边力液压机和分瓣压边圈模具进行。

### 2.2 回弹角与焊缝移动的测量

本文采用 NUMISHEET' 93<sup>[2]</sup> 的标准测量方法, 各参数的确定见图 2。为了更直观地观察回弹, 对总的回弹量进行了测量, 即图 2 中的 EF 偏移量。考虑到压边力不同时, 尾部的长度不同, 用 EF 段与水平线的夹角  $\Delta\theta_3 (= \theta_3)$  来表示。焊缝移动用焊缝的偏移角表示, 如图 3 所示。

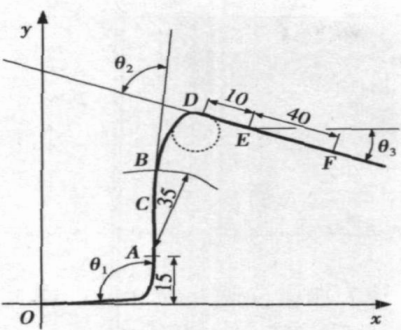


图 2 回弹角的测量  
Fig. 2 Measurement of springback angles

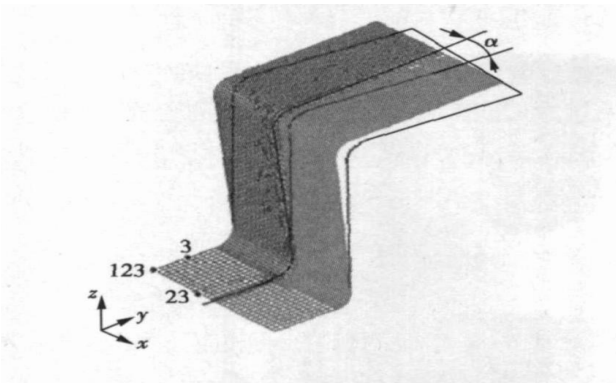


图 3 焊缝移动的测量  
Fig. 3 Measurement of welded seam movement

2.3 总压边力大小对焊缝移动和回弹的影响

试验证实, 拼焊板与光板的回弹具有相同的趋势。图 4 显示总的回弹角  $\Delta\theta_3$  随压边力的变化趋势。图中显示, 三种板回弹都与压边力大小有密切的关系, 总回弹值是由凸凹模圆角处和侧壁处的回弹累积而成。拼焊板与光板的回弹大小不同, 当压边力较小时, 拼焊板的回弹介于组成拼焊板的相同材料的薄板和厚板之间; 当压边力较大时, 拼焊板的回弹最大, 但总体上拼焊板的回弹与厚板相近, 且高于厚侧板。引起上述结果的原因可能有下列三个因素: 第一, 从图 4 可以看出, 当压边力较小时, 焊缝移动很小, 当压边力比较大时, 焊缝移动很明显; 虽然压边力增大, 拼焊板与光板的回弹都减小, 但拼焊板的回弹较光板大, 拼焊板的回弹与焊缝移动等相关, 并由于薄板板厚方向变形充分, 其回弹反而比厚板小。第二, 拼焊板的焊缝移动和受力不均匀等原因产生板料扭曲现象所致。第三, 压边力大于一定值后, 由于薄板变形充分, 其回弹反而比厚板小。

如图 4 所示, 拼焊板厚薄二侧施以相同压边力, 随总压边力的增大, 带来双重效应: 一方面随总压边力的增大, 拼焊板回弹降低; 另一方面随总压边力的增大, 拼焊板焊缝移动增加。虽然总压边力增加, 拼

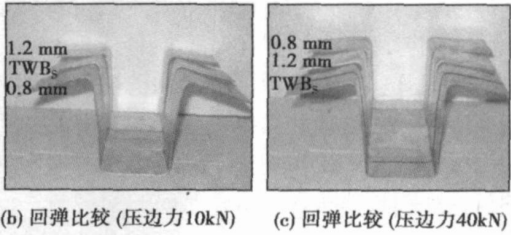
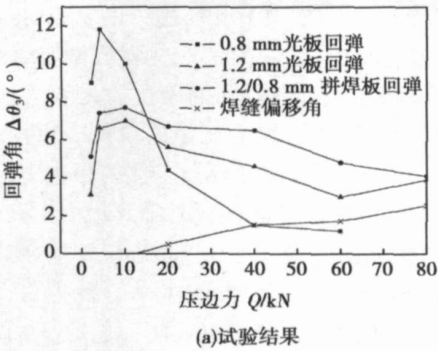


图 4 压边力对回弹和焊缝移动的影响  
Fig. 4 Effect of BHF on springback and welded seam movement

焊板回弹降低, 但同时由于焊缝移动的增大, 不均匀变形增大, 拼焊板回弹无法降低到最小值。

2.4 压边力分布对焊缝移动和回弹的影响

图 5 是通过仿真和试验得到的压边力分布 (总压边力为 30 kN) 对拼焊板回弹和焊缝移动的影响, 仿真和试验的结果趋势相同。焊缝移动量为“+”, 表示焊缝向厚侧移动, 反之向薄侧移动。随着压边力分布的变化, 当厚/薄侧压边力为 18/12 kN 时, 总回弹量最小; 以该点为基准, 厚/薄侧压边力增加或减小时, 回弹量  $\Delta\theta_3$  都有明显的增加。

拼焊板回弹的变化既与总压边力大小有关, 也与焊缝移动密切相关。控制拼焊板的焊缝移动同样也可以减少回弹。

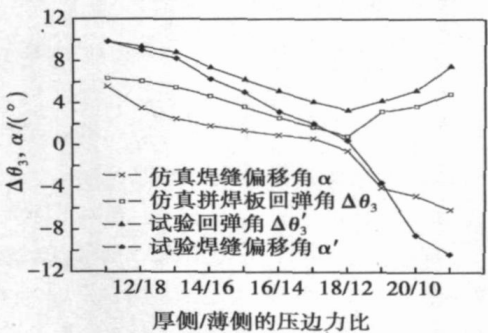


图 5 不同压边力分布下的回弹和焊缝移动的仿真和试验结果 (总压边力 30 kN)

Fig. 5 Simulation and experimental results of springback and welding seam movement with different BHF (Total BHF 30 kN)

图 5 所示,当改变厚薄侧压边力的分布时,随着厚侧压边力的增加,厚侧的主应变就逐渐与薄侧相当,焊缝移动逐渐小,当厚侧的压边力足够大时,厚侧的主应变超过薄侧,焊缝又偏向薄侧。拼焊板总压边力大小不变,通过改变厚薄二侧的压边力分布,使拼焊板的焊缝移动和回弹同时降到最小。在拼焊板总压边力不是很大时,通过控制焊缝移动,也能使拼焊板的回弹降到一个较低的水平。事实上,调整拼焊板厚薄二侧的压边力分布,使二侧应变均匀来控制焊缝移动的思想与减少拼焊板不均匀变形来控制

和减少回弹的思想是不谋而合的。

增大总压边力增加了拼焊板的塑性变形总量,回弹减少。虽然总压边力的增大,带来双重效应,但是采用分瓣式压边圈,改变压边力分布可以对拼焊板的焊缝移动进行控制,使拼焊板的回弹进一步降低。

2.5 焊缝移动和回弹控制理论的算例

不考虑张力对弯曲力的影响,式(8)可写为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\mu Q_1}{t_1} \exp\left(\frac{\mu \pi}{2}\right) + \frac{R_{eL} t_1}{2R} &= \frac{\mu Q_2}{t_2} \exp\left(\frac{\mu \pi}{2}\right) + \frac{R_{eL} t_2}{2R} \\ Q_1 + Q_2 &= Q \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

拼焊板厚薄二侧的压边力分布,可采用式(9)进行计算估计。计算的各参数见表 2。

表 2 拼焊板拉弯成形参数  
Table 2 TWB s bending parameter

压边力 $Q/\text{kN}$	摩擦系数 $\mu$	拼焊板的 厚侧厚度 $t_1/\text{mm}$	拼焊板的 薄侧厚度 $t_2/\text{mm}$	圆角半径 $R/\text{mm}$	屈服强度 $R_{eL}/\text{MPa}$
30	0.125	1.2	0.8	5.0	270

对于总压边力约为 30 kN 时,厚度组合为 1.2/0.8 mm 的拼焊板的计算结果如下。

设薄侧压边力为 12.5 kN,如果忽略  $\frac{R_{eL} t}{2R}$  项,得到厚侧压边力为 18.7 kN;若考虑  $\frac{R_{eL} t}{2R}$  项,厚侧压边力为 16.15 kN,而仿真结果大约为 17.5 kN。

计算结果与图 5 的仿真和试验结果相比,非常吻合,图 6 中间的工件就是采用厚/薄侧压边力为 18 kN/12kN 得到的。图中可以看到,拼焊板厚/薄侧压边力为 20/10kN、14/16kN 时,其焊缝移动和回弹与压边力为 18/12kN 时的差异非常明显。采用公式(9)计算的压边力相近的分布值(18/12kN),冲压得到的冲压件的焊缝移动小,拼焊板的回弹也小。

既然焊缝移动是由于焊缝两侧的变形的不均匀性引起的,可以通过调整压边力分布,使两侧的应力



图 6 拼焊板厚/薄侧压边力为 20/10 kN、18/12 kN、14/16 kN 时试验照片(总压边力 30 kN)  
Fig. 6 Deformed specimens for various distributions of BHF (20/10 kN 18/12 kN 14/16 kN) (Total BHF 30 kN)

应变相当,就可以减小焊缝移动。所以,采用适当增大总压边力,调整厚薄二侧的压边力分布,使应变均匀,既控制拼焊板的焊缝移动,又减少和控制了拼焊板的回弹。

3 结 论

(1) 基于拼焊板两侧的截面应力相等的原理,理论推导的控制焊缝移动的公式,可计算拼焊板厚薄两侧压边力分布的值,以控制焊缝移动,并达到控制拼焊板回弹的目的。

(2) 当压边力较小时拼焊板的回弹介于组成拼焊板的薄光板和厚光板之间,当压边力较大时,拼焊板的回弹较对应的光板大。拼焊板的回弹总体上与厚光板的回弹更接近。

(3) 总压边力增大,带来双重效应,一方面随总压边力的增大拼焊板回弹降低,另一方面随总压边力的增大拼焊板焊缝移动增加。在总压边力不变的情况下,焊缝移动越大,回弹越大。适当增大总压边力,调整拼焊板厚/薄侧压边力分布,使拼焊板厚薄侧变形均匀,消除焊缝移动,从而有效控制拼焊板的回弹。

参考文献:

[ 1 ] 姜银方,杨继昌,陈 炜.拼焊板冲压成形研究现状与进展[ J ]. 汽车工程, 2003, 25(4): 410—414.  
[ 2 ] Anand D, Boudreau G, Andreychuk P, et al. Forming behaviour of tailor (laser) welded blanks of automotive steel sheet[ J ]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2006, 45(2): 189—198.  
[ 3 ] Vijay B V, Narasimhan K. Formability studies on transverse tailor welded blanks[ J ]. AIP Conference Proceedings, 2005, 778(1): 699—704.

[ 3] Chen Hongtao, Wang Chenqing, Li Mingyu, *et al.* Experimental and finite element method studies of J-lead solder joint reliability[ J] . Journal of Materials Science and Technology, 2005 12(3): 419—422.

[ 4] 薛松柏, 吴玉秀, 韩宗杰, 等. 不同引线数 QFP 器件焊点等效应力的数值模拟[ J] . 焊接学报, 2007, 28(6): 17—20.

[ 5] 张 亮, 薛松柏, 卢方焱, 等. QFP 器件不同引线材料对焊点可靠性影响的有限元分析[ J] . 焊接学报, 2007, 28(6): 65—68.

[ 6] 王俭辛, 薛松柏, 韩宗杰, 等. 温度与镀层对 Sn—Cu—Ni 无铅钎料润湿性能的影响[ J] . 焊接学报, 2006, 27(10): 53—56.

[ 7] 韩永典, 荆洪阳, 徐连勇, 等. SnAgCu 无铅焊料的可靠性研究

[ J] . 电子与封装, 2007, 7(3): 4—6, 33.

[ 8] 龙 乐. 低温共烧陶瓷基板及其封装应用[ J] . 电子与封装, 2006, 6(11): 5—9.

[ 9] Chen Liu, Andre-Anders S G, Zou Gang, *et al.* Characterization of substrate materials for system-in-a-package application[ J] . Journal of Electronic Packaging, 2004, 126(2): 195—201.

**作者简介:** 张 亮, 男, 1984 年出生, 硕士研究生。主要从事微电子焊接及无铅钎料研究。发表论文 4 篇。

**Email:** Liang421064354@sina.com

[ 上接第 34 页]

[ 4] Zhang Jun, Ke Yinglin. Parameter optimization of tailor welded blank forming process[ J] . Journal of Zhejiang University, 2005 39(12): 1930—1935.

[ 5] 姜银方, 朱元右, 杨继昌. 拼焊板弯曲成形回弹特性研究[ J] . 汽车工程, 2005, 27(5): 631—633.

[ 6] 姜银方, 袁国定, 杨继昌, 等. 拼焊板弯曲回弹的理论与试验研

究[ J] . 机械工程学报, 2005, 41(12): 200—204.

**作者简介:** 姜银方, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 硕士生导师. 江苏大学机械工程学院机械工程系副主任。主要从事冲压成形及模具设计研究和教学工作。发表论文 60 余篇。

**Email:** yfjiang@ujs.edu.cn

**Visual image sensor for arc welding with controllable exposure based on CPLD** LIU Pengfei, SUN Zhenguo, HUANG Cao, CHEN Qiang, ZHANG Wenzeng (Key Laboratory for Advanced Materials Processing Technology, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China). p17—20

**Abstract** To solve the synchronizing problem between the fixed exposure schedule of the ordinary industrial CCD camera and the various state of welding arc during welding processes, a visual image sensor with controllable exposure was developed based on CPLD (complex programmable logic device) for arc welding. The novel sensor is composed of an ordinary industrial CCD camera, optical system, mechanical iris and an exposure controller. The exposure controller consists of the modules of detection of welding arc state detecting, exposure parameters presetting, logic control with CPLD and so on. The exposure schedule logics of different arc welding processes were described with very-high-speed integrated circuit hardware description language (VHDL) and programmed with a CPLD. Both CO<sub>2</sub> short circuiting transfer arc welding and pulsed gas tungsten arc welding were carried out, and the experimental results show that clear and consistent molten pool images can be acquired, and the disturbances of arc light and spatter are avoided.

**Key words:** arc welding; complex programmable logic device; weld pool image; visual image sensor; controllable exposure

**Stripping weld—a new technique of welding enamelled wires by resistance weld** YANG Shitong, LI Yuanbo, LIN Jianhong (1. Guangzhou Micro Welding Equipment Co., Guangzhou 510385, China; 2. School of Mechanical Engineering, Guangzhou University of Technology, Guangzhou 510090, China). p21—25

**Abstract:** A new technique of directly welding enamelled wires was introduced and the welding theory with relevant experiment results was discussed. By combining SW (stripping welding) tips with capacitor spot welding machine, an equipment to directly weld enamelled wires was designed. Based on setting three proper welding parameters, SW tips realize stripping and welding of enamelled wire in one pulse output by providing ohmic contact on the sharp end of SW tips. Experiments show the merits of the new technique such as the stable welding process, smaller scale nugget and assured welding quality. Now, micro-welding equipment was widely used in industry production, and a new technique of welding the enamelled wire end of small coil of electronic components was provided.

**Key words:** stripping weld; directly welding enamelled wires; stripping welding tips; single-side welding

**Analysis of correlation between position of flux strip in its constricting arc and potential of flux strip** ZHENG Shaoxian, ZHU Liang, ZHANG Xulei, CHEN Jianhong (State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-Ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p26—30

**Abstract:** Position of flux strip in its constricting arc is the

key to constrain arc, which decides the heating characteristics of arc. In order to perfectly apply constricted arc by flux strips to ultranarrow gap welding, position of flux strip in its constricting arc has been analyzed by collecting voltage waveform of flux strip which is as a probe. The results indicate the position of flux strip in its constricting arc and the transfer mode of melted flux strip can be estimated according to the numerical value of voltage waveforms of flux strip. When the distance from flux strip to the center of arc is increased, position of flux strip in arc zone will be changed, at the same time, the effect of arc heating flux strips and the contacting frequency of flux strip and droplets are reduced. In addition, the position of flux strip with different potential of flux strip was measured.

**Key words:** constricting arc; position of flux strip; correlation of potential

**Investigation of springback control and movement of welding seam of tailor-welded blanks in forming with blank holder force**

JIANG Yirfang<sup>1</sup>, ZHANG Yongkang<sup>1</sup>, ZHU Yuanyou<sup>2</sup>, LI Lina<sup>1</sup>, WANG Jianmin<sup>1</sup> (1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China). p31—34

**Abstract** By the methods of theoretical analysis, experiments and simulations, the movement of welding seam and the springback characteristic of tailor welded blanks (TWBs) with longitudinal welding seam were investigated on the different blank holder force (BHF) for TWBs' springback control. In order to control movement of welding seam and even to control TWBs' springback, the formula about the control of movement of welding seam was deduced according to the principle that equal sectional stress is distributed on each side of TWBs. From the results about experiments and simulations, when BHF is small, TWBs' springback is in the midst of that of non-welded blanks, while with the increase of BHF, TWBs' springback is the biggest among them. The increase of total BHF brings double effects: on the one hand, TWBs' springback decreases with the increase of BHF, and on the other hand the movement of welding seam on TWBs increases with the increase of total BHF. In the condition of immovable total BHF, by adjusting the distribution of BHF, the movement of welding seam is eliminated and the springback reaches to the minimum. To sum up, on the thought of uniform deformation, a big enough total BHF is adopted, and a proper distribution of BHF applied to each side of TWBs in forming can reduce welding seam movement and get the minimum TWBs' springback, which gives new theories and methods to control TWBs' springback.

**Key words:** tailor-welded blanks; blank holder force; welding seam movement; springback

**Numerical simulation on soldered joints of QFP device with different substrate materials and thicknesses** ZHANG Liang,

XUE Songbai, LU Fangyan, HAN Zongjie (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astro-