

基于超级电容的超薄不锈钢板储能点焊焊机研制

徐向前, 周好斌

(西安石油大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710065)

摘要:对厚度仅为 0.1mm 的超薄 304 不锈钢板进行点焊时,其焊点焊接所需焊接能量要求控制精确,否则很容易造成烧穿或焊不上,很难达到预期的焊接质量要求。鉴此,提出了基于超级电容的储能点焊焊机的研制。通过分析超级电容器原理及其模型,得出了将其应用于储能点焊的理论依据。根据储能电容组的电压与储能能量之间是平方关系,储能电容组的容值与储能能量之间为比例关系,在焊接板材超薄的情况下,提出了调节电容组容量的大小来调节焊接能量的方法。根据电阻点焊过程中动态电阻的变化规律对放电回路的电流进行控制,这样可较好地解决焊接规范较硬的问题。

关键词:超级电容;点焊;高频脉冲电流

中图分类号: TG438.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2012)05-0166-03

Development of Spot Welding Machine Based on Super Capacitor in Spot Welding of Ultra-thin Stainless Steel

XU Xiangqian, ZHOU Haobin

(School of Material Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Without precise control of energy stored in capacitors, the specimen burning through and welding fail is easily caused and the desired weld quality requirements in the spot welding for 0.1 mm ultra-thin sheet 304 stainless steel is difficult to achieve. The development of super capacitor spot welding machine was introduced. By analyzing the principle of super-capacitor, the theoretical basis of energy storage spot was obtained. According to the square relation between voltage and stored energy, the relation between capacitance and the stored energy is proportional. Methods, regulating capacitance for adjusting welding energy were proposed. The discharge current is controlled by the size of the dynamic resistance in resistance spot welding, which solves well the problem of rigid welding rules.

Key words: super capacitor; spot welding; high-frequency pulse current

电容储能点焊可用于导热性很好的金属、物理性能相差甚远的异种金属及厚度差大的两个工件,或者是凸焊连接截面较大的工件等的焊接。而对于厚度仅为 0.1mm 的超薄 304 不锈钢板进行点焊时,使用常规的储能焊进行焊接时很易造成烧穿或焊不上。焊接规范不易控制,很难达到预期的焊接质量要求。鉴此,本文提出了基于超级电容器的储能点焊焊机的研制。根据点焊过程中所需的能量对超级电容组贮存能量进行控制,根据电阻点焊过程中动态电阻的变化规律对放电回路的电流进行控制,这样可较好地解决焊接规范较硬的问题。

1 超级电容器在储能点焊中的应用分析及设计

1.1 超级电容器简介^[1-2]

超级电容器与电解电容器相比,拥有巨大的容量,是因为其基于双电层电容器的原理。双电层电容

器是通过电极与电解质之间形成的界面双层来存储能量,当电极与电解液接触时,由于库仑力、分子间力、原子间力的作用,使固液界面出现稳定的、符号相反的双层电荷,称为界面双层。双电层电容器使用的电极材料多为多孔碳材料。双电层电容器的容量大小与电极材料的孔隙率有关。通常,孔隙率越高,电极材料的比表面积越大,双电层电容也越大。超级电容器两个电极材料多采用多孔活性炭电极且两电极之间间距仅为纳米级,具有很大的有效极板面积,可以达到每克 200m²,所以超级电容器可以有巨大的容量。

1.2 超级电容器的应用模型

要将超级电容器储能应用于电容储能焊,须对超级电容器充、放电的应用模型进行分析和研究。在电容储能焊充电过程中,对电容进行恒流充电,故采用图 1 所示的串联 RC 模型。图 1 所示串联 RC 电路是超级电容器模型中最简单的一种等效电路模型,R 是等效串联电阻,C 是理想电容^[3]。这个模型便于超级电容器储能模块的充放电分析和计算,而且生产超级电容器的公司都会给出 C 和等效内阻



图 1 串联 RC 模型
Fig.1 series RC model

收稿日期:2011-09-19

作者简介:徐向前(1979-),男,山东东营人,讲师,硕士,主要从事材料加工成套设备及其自动控制的研究;电话:13709189446;
E-mail:xxqlsd@126.com

R 。在电容储能焊焊接过程中,通常超级电容器要在很短的时间内完成放电过程,瞬时释放的峰值电流高达数百甚至上千安培。此时,超级电容器的模型必须要考虑等效串联电感 L 在电流上升和下降时所造成的阻碍作用。因此本文采用了图 2 所示的超级电容器在储能焊焊接过程中的等效电路模型^[3],它由一个电容 C 、一个等效串联内阻 R 和一个等效串联电感 L 构成。



图 2 超级电容器在储能焊焊接过程中的等效电路模型
Fig.2 Equivalent circuit model of the super capacitor in energy storage welding process

1.3 超级电容组的设计

在电容储能焊焊接过程中,其能量传递过程满足(1)式:

$$\eta \cdot \frac{1}{2} C U_c^2 = E_1 + E_2 \tag{1}$$

式中:电容大小用 C 表示,F; η 是电容放电效率,A; U_c 为电容充电电压,V; E_1 为工件达到焊接温度所需要的能量,J; E_2 为工件及焊接回路上损失的能量,J。

E_1 为焊接过程中工件所需的能量,也就是电流通过焊接区产生的电阻热。而超级电容器的单体均为低压,额定电压值(耐压值)在 3V 左右。所以相对高压的电容器组需要多只单体的串并联组合。设计 m 只超级电容器的单体串联为一组,而后由 n 组并联。设超级电容器的单体的容量值为 C_0 ,耐压值为 U_0 ,则 m 只电容器串联为一组,每组电容器的容量值为 C_0/m ,承受耐压值为 $m \cdot U_0$;并联 n 组,则并联后电容器组的整体容量为 $C=n \cdot C_0/m$,总的耐压值为 $U=m \cdot U_0$ 。这样结合式(1)就容易算出 m 和 n 的值。

通过分析超级电容器的原理及模型确定了其应用于储能点焊时的充电和放电应用模型;通过对电阻点焊原理和超级电容器耐压值的分析,对超级电容组进行设计。超级电容组的设计为储能点焊焊机的设计奠定了基础。

2 整机设计

从式(1)可以得出:调节释放到工件上的焊接能量的大小有三种方法:一是 UC 保持不变,增大 C ;二是增大 UC , C 保持不变;三是 UC 和 C 均变化。这三种方法都可以提高焊接电流的大小。 UC 的指数有放大作用,要焊接的是厚度仅为 0.1mm 的超薄材

料,要求能量控制精确,因此提出了调节电容组容量的大小来调节焊接能量的方案,见图 3。通过改变电容组的并联电容的数量来控制电容组的总容量值,解决能量的精确控制,在放电过程中对放电电流进行控制,减少了飞溅,提高了焊接质量。

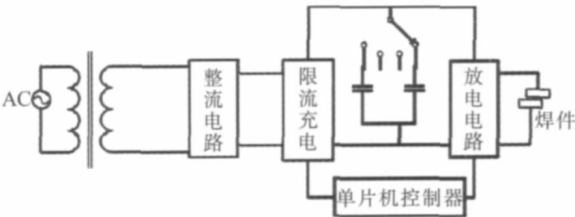


图 3 焊机主电路
Fig.3 Power circuit of welder

图 4 为控制系统的硬件结构构成图。焊机通电之后,单片机复位、初始化,单片机将等待焊接参数的设定。焊接参数可以由上位机通过通信接口传给单片机,也可以在焊机的操作面板上进行设定。单片机得到焊接参数后,按照设定的程序控制焊机的充放电过程。在充电过程中,单片机通过外部接口电路采集充电电流、电压,采取控压限流充电,充电完成后,由单片机控制高频放电电路完成电容放电,实现放电焊接的目的,完成整个焊接过程。

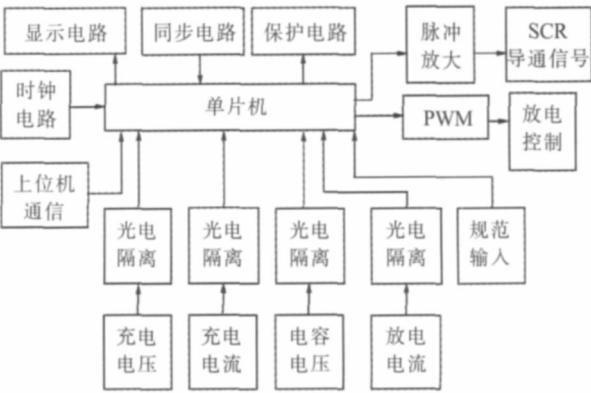


图 4 单片机控制系统
Fig.4 Control system by MCU

3 充电电路

依据超级电容在储能焊中的应用模型,充电电路设计时采用图 5 所示的超级电容模型。等效内阻和容值,生产超级电容器的公司都已给出,所以该模型适合超级电容器储能模块的充电电路分析和计算。

合适的充电方式可以提高焊机对电网的利用率,减小充电电流对电网的冲击。为提高充电效率同时减小对电网的冲击,采用了图 4 所示的控压限流的充电方式。

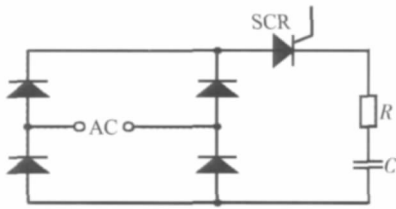


图 5 充电电路
Fig.5 Charge circuit

交流电经整流后得到直流电压经过晶闸管加在电容上，晶闸管的触发角在充电过程中按一定的规律调整，其变化规律可以达到控制充电电流和限制电容电压的目的^[4]。充电过程就是在每个充电交流半周开始时检测电容器上的电压，根据此电压确定下一充电半周晶闸管的导通角。设置合适的初始触发角，能够起到防止充电电流过大，避免对电网造成冲击。随着电容器组上电压的不断升高，触发角将逐渐减小，充电电压逐步升高。这样可以使充电进行到使电容器组上电压达到预定的电压。

4 放电电路

电阻焊的热源是电流通过焊接区产生的电阻热。根据焦耳定律，热量为：

$$W = \int_0^{t_w} I^2(t) R(t) dt \tag{2}$$

式中： $I(t)$ 为通过焊接区的瞬时电流，A； $R(t)$ 为通过焊接区的电阻， Ω ； t_w 为焊接时间，s。

点焊时，单位时间内产生的热量称为热源强度，可用(3)式表示：

$$\omega_0 = \frac{1}{t_w} W = U_2 I_w \tag{3}$$

式中： U_2 为电极间电压的均方根值，V； I_w 为焊接电流均方根值的平均值，A； R 为焊接区的平均电阻， Ω 。

单位时间在单位体积内产生的热量叫作体积热源强度 ω_V 。

$$\omega_V = \frac{1}{V} W = j_w^2 \rho_l \tag{4}$$

式中： j_w 为点焊时的电流密度，A/mm²； ρ_l 为焊接区的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}$ 。

体积热源强度影响加热速度，强度越大，加热速度越大。热源特性的参数是焊接区的电阻、电阻率、电流和电流密度，而电阻又跟电阻率相关，电流也与电流密度相关，电阻率和材料相关。因此要改善焊接过程的产热情况就需要根据材料来制定不同的焊接电流密度参数。

因此要对厚度为 0.1mm 厚的超薄 304 不锈钢进

行点焊，需要分析焊接区的电阻、电流对焊接质量的影响，并且分析焊接过程中的电阻的变化规律。

在焊接初期，由于接触电阻快速消失导致动态电阻迅速下降，随后动态电阻变化曲线以较低的变化率保持单调下降趋势^[5]。文献[6]表明，0.85mm 厚的 304 不锈钢动态电阻呈单调下降特性，通电初始，由于温度较低，材料硬度高，接触电阻比较大，随着焊接区温度的提高，材料硬度降低，不断软化，工件与工件接触面积增大，有效导电面积增大导致接触电阻减小。

因此设计了图 6 所示的放电电路，PWM 占空比的变化规律依据电阻点焊过程中动态电阻的变化规律进行设定。当电容充电时，开关管 Q1 处于关断状态，功率二极管 D1 也处于关闭状态；当电容充电完成，并且单片机接到了焊接指令后，才送出 PWM 信号来控制 Q1 通断。当 Q1 导通时，D1 处于反向截止；当 Q1 关断时，D1 起到续流的作用。当电容放电时，储能电容器 C 已经充满电能，以电压形式表现出来，此时 Q1 由 PWM 控制其开通与关断，从而得到高频脉冲电流。在焊接时使用的是低压大电流的高频脉冲，这样增加了焊机的安全性。

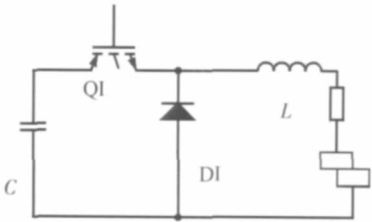


图 6 放电电路
Fig.6 Discharge circuit

在焊接过程中，储能电容器在放电过程中进行限流放电，因此储能电容器的电压必然线性下降。然而随着焊接过程的继续，当储能电容器的电压低到不能维持放电回路恒流输出时，脉宽调制控制器即将输出的占空比调到最大，放电回路的功率管的“导通角”为最大的情况下，霍尔电流传感器反馈回来的电流信号也不能达到给定信号的要求，此时的脉宽调制控制器对系统已经不能起到调节电流信号的作用，放电回路仅起到能量传输作用，相当于储能电容器对焊件直接放电。调整焊接规范参数可以保证完成焊接过程，当储能电容器的电压低到不能维持放电回路恒流输出时不会影响正常焊接。

5 结语

依据以上所述，研制了基于超级电容器的超薄不锈钢板储能点焊机，并进行了(下转第 173 页)

强度及伸长率预测, 并将预测值与实物试验值进行了对比, 其结果如图 3 所示。由图 3 可见, 抗拉强度的相对误差分别为 0.03%~4.47%(差厚)、0.03%~4.36%(等厚); 伸长率的相对误差分别为 0.06%~8.95%(差厚)、0.35%~6.22%(等厚)。表明所建预测模型具有良好工业实用价值, 可推广应用于生产中激光拼焊板力学性能的预测。

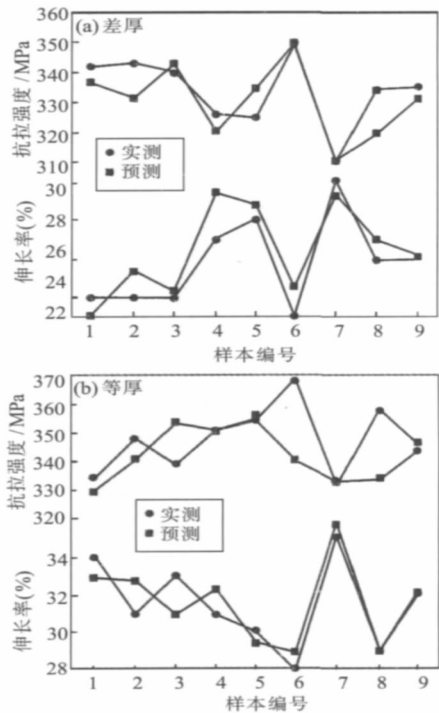


图 3 差厚(a)及等厚(b)拼焊板抗拉强度和伸长率预测值与实际值
Fig.3 Predictive value and actual value of tensile strength and elongation

(上接第 168 页)焊接。根据焊接层数的不同,选择不同的充电能量,即选择不同的电容器组的容量,分别进行了 2 层规范 1、三层规范 2、四层规范 3 下的接头焊点焊接,图 7 是其接头的金相照片。

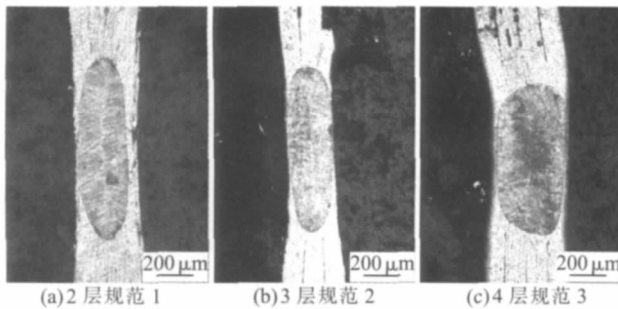


图 7 不同焊接规范下的金相照片
Fig.7 Metallographys with different welding parameters

由图 7 可见,焊接接头组织无气孔、裂纹等微观焊接缺陷存在,接头成形良好。因此,可得如下结论:

(1) 基于超级电容组的控压限流充电方式,可

3 结论

由于神经网络模型具有局部逼近的特征和较强的非线性映射能力,因此它能够较好地模拟具有较强非线性变化特点的激光拼焊板力学性能预测问题。同时主成分分析为前者消除了网络输入之间的相关性,简化了网络结构,改善了程序执行效率,从整体上提高了网络的性能,最终取得了良好的预测结果。

通过验证表明,在差厚、等厚拼焊两种情况下,所建力学性能预测模型对抗拉强度及伸长率的预测精度均达 91%以上。充分表明该模型与试验结果一致性优良,验证了该模型的合理性及适用性和推广性。

参考文献:

- [1] 崔怀洋,陈 锐,左铁钊. 镀锌钢板的 CO₂ 激光焊接性[J]. 焊接学报,2004,25(4):115-118.
- [2] Wu Qiang, Gong Jinke, Chen Genyu. Research on laser welding of vehicle body[J]. Optics & Laser Technology, 2008,40(2): 420-426.
- [3] Sushanta Kumar P, Ravi K D. Study of formability of tailor-welded blanks in plane-strain stretch forming[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 44(7-8):675-685.
- [4] Wu Dongjiang, Yin Bo, Zhang Weizhe. Nd:YAG laser beam welding invar36 alloy [J]. Chinese Journal of Lasers, 2008, 35 (11):1773-1777.
- [5] 葛哲学,孙志强. 神经网络理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.108-113.

靠可行。

(2) 超薄不锈钢板点焊焊接过程中焊接能量要求控制精确,采用改变充电电容组的容值进行焊接能量的控制,精确有效。

(3) 储能电容组放电电流按照点焊过程中电阻的变化规律进行控制,在满足焊接强度的前提下有效地减少了飞溅。

参考文献:

- [1] 陈英放,李媛媛,邓梅根,等. 超级电容器的原理及应用[J]. 电子元件与材料,2008,27:6-9.
- [2] 刘志祥. 超级电容器相关技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2002.
- [3] 李东海. 超级电容器模块化技术的研究[D]. 北京:中国科学院电工所,2006.
- [4] 盛经志,王敏. 大容量电容储能点焊机充电电路计算机优化设计[J]. 电焊机,2002,32:19-22.
- [5] 中国机械工程学会焊接学会,电阻焊(III)专业委员会. 电阻焊理论与实践[M]. 北京:机械工业出版社,1994.
- [6] 文静,王春生,徐国成,等. 不锈钢电阻点焊过程中的动态电阻变化规律分析[J]. 焊接学报,2008, 29:69-72.