



# 我国数字化逆变式电阻焊机的 现状和发展

尹显华<sup>1</sup>, 王福生<sup>1</sup>, 刘国瑛<sup>2</sup>

(1.成都电焊机研究所,四川 成都 610051;2.广州松兴电器有限公司,广东 广州 510530)

**摘要:**分析了数字化逆变电阻焊机的优越性以及应用前景,介绍了数字化逆变电阻焊机国内外研究的进展,根据实践和分析提出了分阶段研究解决数字化中频逆变电阻焊机的几个关键难题的规划和设想。

**关键词:**数字化;电阻焊机;研究;现状和发展

中图分类号: TG434.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2008)02-0028-05

**The actuality and development of digital inverter resistance welder in domestic**

YIN Xian-hua<sup>1</sup>, WANG Fu-sheng<sup>1</sup>, LIU Guo-ying<sup>2</sup>

(1.Chengdu Electric Welding Machine Research Institute of MMBI, Chengdu 610051, China; 2.Guangzhou Songxing Electric Appliance Co., Ltd., Guangzhou 510530, China)

**Abstract:** This paper analyses the superiority and application prospect of digital inverter resistance welders and introduces the progress of this welder in home and abroad. According to practice and analysis, it puts forward the plans and ideas for several key problems in stage research and solutions of digital midfrequency if inverter resistance welders.

**Key words:** digital; resistance welders; research; actuality and development

## 0 前言

电阻焊具有生产效率高、操作简单、易实现生产自动化等优点,使其在汽车、电子、机械加工、航空航天等领域得到了极其广泛的应用。

新材料、新技术的发展对电阻焊质量,控制精度提出了更高的要求。电阻点焊时,焊核形成时间短,焊点形成过程中所受影响因素较多,如瞬时电网电压的波动,焊接电流的非线性变化,焊点电流的分流,焊接回路阻抗等因素的影响而造成焊点质量的不稳定。现有的电阻焊电源大多停留在由普通集成电路和分离元件为主的硬件模拟结构上,其线

路复杂,结构不紧凑。各部分之间造成相互干扰,在一定程度上影响了电阻焊设备的可靠运行。很难对系统进行优化控制以适应复杂的焊接工艺要求,而解决这一系列问题的关键在于焊接设备的数字化。

随着计算机技术、电力电子技术、信息的迅猛发展,电阻焊设备出现了前所未有的发展。微机控制的逆变式电阻焊电源的出现不仅满足了新材料、新工艺、新技术对焊接质量提出的高要求,而且进一步促进了电阻焊接设备向智能化、柔性化方面的发展。

## 1 逆变电阻焊电源的特点

与普通工频交流电阻焊机相比,逆变电阻焊机具有输出功率大、变压器体积小、质量轻、动态响应速度快,控制精度高,焊接电流脉动小,三相电网

收稿日期: 2007-06-14

作者简介: 尹显华(1959—),男,四川越西县人,教授级高级工程师,学士,主要从事焊接设备的开发,行业标准制订及学会协会工作。

平衡,功率因素高等特点。使得逆变电阻焊机与工频焊机相比其焊接回路受到铁磁物质影响很小,如图1所示。

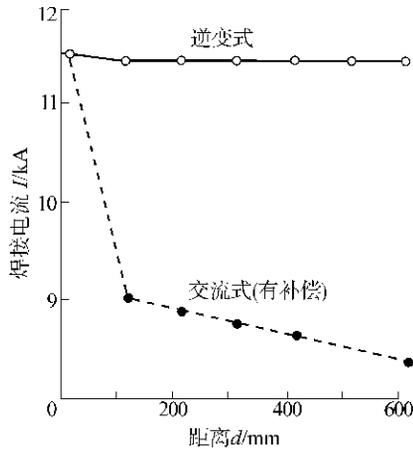


图1 逆变焊机与交流焊机随工件进入焊接回路距离的电流变化

逆变直流焊机焊接电源波形脉动很小,焊点形成稳定的熔核的电流范围宽。图2和图3分别是点焊时低碳钢和镀锌板的电流范围。

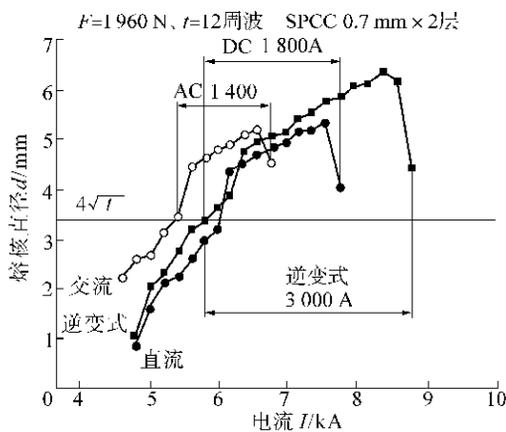


图2 点焊时3种电源的电流范围比较(低碳钢)

由于电流极小的脉动,使电极和工件接触部位的温度变化小,热效率高,逆变直流无尖峰电流,因而在熔核形成的过程中不易产生飞溅,从而使得允许电流上限扩大。实验表明:在焊接电流有效值相同的条件下,逆变直流的动态电阻比交流点焊时大35%,故焊点的发热量大,熔核形成较快,允许的电流下限小。美国实利公司采用交流和逆变点焊机在汽车钢板上进行焊接,对照得出逆变点焊比交流节能27%。逆变直流点焊获得稳定的熔核尺寸的焊接电流范围宽,这一特性对焊有镀层的钢板(如镀锌板)、铝等有色金属尤为有利。

近20年来以IGBT和MOSFET管为代表的全

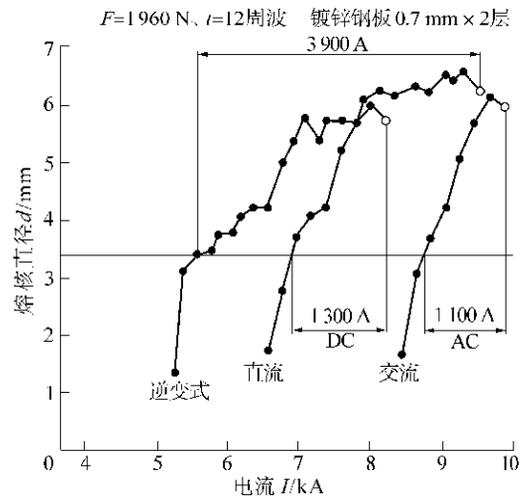


图3 点焊时3种电源的电流范围比较(镀锌板)

控制器件的发展给逆变技术及其应用带来了革命性的变化。在国外,逆变式电阻焊机的研究虽晚于逆变弧焊电源,但其发展迅速,并形成成熟的产品。国内起步晚于国外,一些高校和科研所在20世纪90年代开发了不同类型的逆变电阻焊机,而大多数为实验样机。成都电焊机研究所在20世纪90年代后期虽研制成功微机控制的具有电极磨损自动补偿功能和故障自诊断能力的悬挂式逆变次级整流点焊钳,但也因经济问题也未形成商品化服务于社会。而且这些科研样机大多以传统的单片机MCS-51、MCS-96、8088/86等芯片为核心的控制系统,其结构较为简单,功能单一,其功能主要为完成控制信号的给定和逆变电源的程序控制。控制系统虽然在信号给定部分实现了数字化,但受到了单片机自身处理能力的限制,逆变电源的反馈信号处理和PWM系统仍采用模拟电路,往往在要求实时性、数据处理量大的系统中不能胜任。因而已不能满足现代电阻焊逆变电源实时控制的要求。

数字信号处理器(DSP)芯片以其极高的运算速度,强大的运算功能和信号处理能力,正好弥补了由于单片机控制的电阻焊逆变电源无法做到的那些缺陷。同时DSP芯片组成的控制系统具有多种外围控制接口完备的适时监控系统。DSP芯片的发展为提高焊接电源各方面的性能和实现真正意义上的数字化电阻焊提供了强有力的支持。采用DSP技术可使电阻焊电源迅速与信息化、数字化、集成化接轨,提升焊接电源的高技术含量,对传统的焊接电源进行较为全面的升级和改造。而数字化的特点在单片机控制的逆变电阻焊焊接电源中却并未

得到充分的体现。

## 2 数字化逆变电阻国内外研究概况

逆变焊接电源的研制始于 20 世纪 80 年代初。开始时,侧重于弧焊逆变电源的研制;至 20 世纪 80 年代后期,进行了电阻焊逆变电源的研制。焊接逆变电源随着功率器件、磁性材料、微型计算机软件与硬件、专用控制集成电路、控制理论、电路拓扑等方面的进步而得到迅速的发展。

随着 IGBT 的出现和不断发展,焊接逆变电源功率输出能力有了极大的提高,不但能满足弧焊的需要,也可满足大功率电阻焊的需要。当前,电阻焊逆变电源基本采用 IGBT。

开始时,焊接逆变电源多采用铁氧体作为逆变变压器的铁心。随着非晶、微晶磁性材料的出现和发展,焊接逆变电源采用非晶、微晶材料制作逆变变压器的越来越多。

在主电路方面,电阻焊逆变电源一般采用全桥式逆变电路。本世纪前采用的是硬开关 PWM 逆变技术。随着 PWM 专用控制集成电路的不断进步,现在,已采用软开关 PWM 逆变技术。

电阻焊逆变电源的输出部分采用大功率快速二极管、超快二极管或肖特基二极管进行全波整流。

随着微型计算机硬件、软件的飞速发展,电阻焊逆变电源越来越多采用 CPU、MCU、DSP、嵌入式芯片等数字式运算、控制芯片,使其在信号检测、运算、控制、通信、显示等方面的数字化水平越来越高,既极大地提高了产品的控制精度、适应性、质量可靠性,又大大方便了用户的操作、使用、维护。

模糊控制、神经元控制等先进控制技术已逐渐用于电阻焊逆变电源,提高了电阻焊逆变电源的控制精度、控制稳定性、控制适应性,从而更有利于保证焊接质量。

逆变技术及相关技术的快速发展,一些问题已经得到解决,从而推动了数字化中频电阻焊技术的发展。逆变式电阻焊机具有控制调整时间短、能量控制精确、效率高、体积小、质量轻等特点,适于焊接高导热金属等有色金属(焊接高导热金属薄件更是拿手)及黑色金属,受到焊接界的极大关注。

从质量控制的角度来看,数字化是逆变电阻焊机的发展趋势。国外在 20 世纪 90 年代末开始推广数字化电阻焊机,德国 BOSCH、美国 MEDAR、日本 MIYACHI 等公司均开发出了数字化精确控制的电

阻焊机控制器。

国内开始数字化的研究工作较晚,电阻焊方面尤其严重。除几所大学的实验室外,国内开展逆变电阻焊研究工作较早的单位只有成都电焊机研究所等科研机构。早期比较先进的科研成果有:上海交通大学研制的 GTR 阻焊逆变电源;华南理工大学的“DN6-26”型机器人用 CMOS 逆变式点焊机;吉林大学的 IGBT 逆变式点焊机;成都电焊机研究所研制的微机点缝焊控制器、悬挂式逆变次级整流点焊钳;哈尔滨工业大学研制的新型零电压软开关逆变点焊机等。承接 20 世纪 90 年代的成果,成焊所近几年联合在焊接方面很有实力的国内大学和企业,已经开始数字化焊接设备的研究工作,这为研究数字化逆变式电阻焊机奠定了技术基础。

## 3 数字化电阻焊机在我国的发展已成必然趋势

### 3.1 对行业发展的意义

随着我国航空航天工业的发展,精确控制的电阻焊显得越来越重要。在发展速度很快的汽车、家电等行业中,大量的零部件及新的结构件都需要由精确控制的电阻焊机进行焊接。因而,大力发展数字控制的电阻焊机,对于精确控制焊接过程,提高焊接品质,甚至我国航空航天乃至国防工业的发展都具有重大意义。

从我国电焊机行业情况来看,低档产品严重供过于求,而自动、半自动焊接设备,特别是精确控制的高技术含量设备又严重供不应求,该部分市场几乎被外国产品垄断。有故障诊断功能的高性能阻焊控制产品仅在美国、德国等先进国家才有生产。国际上焊接设备正向着数字化方向发展,向中国市场大量推销数字化焊机的现实已经证明了这一点。为了在焊接市场上占有一席之地,必须加大在这方面的研究力度。也只有在高档焊机的研究和生产上占有一席之地,民族焊接工业的振兴和发展才有出路。同时,对于调整电焊机行业的产品机构,促进行业技术进步将起到积极的推动作用。

### 3.2 发挥科研单位优势促进焊接设备数字化

我国焊接设备今后将向高效、节能、机电一体化和成套焊接设备方面发展。市场产品结构将进一步调整,高技术含量、高附加值产品所占比例将日益加大。成都电焊机研究所一直致力于先进电阻焊、电弧焊以及特种焊接设备的研究,为贯彻创建创新

型国家的精神,促进机械工业科技进步与发展,提高机械工业自主创新能力,成都电焊机研究所组织电焊机行业的专家和学者制定了电焊机行业“十一五”发展规划。根据行业的发展规划还制定了近三年研发规划。由于逆变电阻焊机具有的优点,高技术含量的数字化中频电阻焊设备被列为一个重点发展方向。根据研发规划,近几年要分阶段研究数字化中频逆变电阻焊机的几个关键难题。一是数字化中频逆变电阻焊机控制问题;二是焊接变压器的研制并完善中频逆变电阻焊机主电路的可靠性设计;三是元器件合理选用及逐步实现国产化(如中频逆变发生器、大功率快恢复二极管等)、机械及整体结构的合理性和实用性问题。

### 3.3 数字化中频逆变电阻焊机控制的先进性

通常的作法是采用嵌入式系统+芯片+大规模可编程器件构成电阻焊电源数字控制器硬件平台,分别发挥嵌入式系统、芯片及大规模可编程器件的特点,实现真正意义上的完全数字化控制。丰富的焊机操作功能与控制方法,提供良好的人机互动界面;精确电流波形控制监测、诊断功能、预警与安全控制功能、多参数模型补偿等,将数字控制技术与软开关逆变技术相结合实现多种控制功能,解决许多焊接工艺方面的问题,保证优良的焊接质量。

数字化电阻焊机具有控制策略调整灵活、控制精度高以及控制参数稳定性好的特点,它具有更好的工艺稳定性和更好的工艺效果。研究完全数字化软开关逆变式电阻焊机控制器,实现真正意义上的完全数字化控制,即控制算法、PWM信号的数字化。这是完全数字化电阻焊机的难点和关键,人机接口和网络通信等的数字化早已成为现实。完全数字化是逆变式电阻焊机发展的必然趋势,将最终成为主流产品。同时,具有方便的通信接口功能,为现代化的网络化生产提供了良好的硬件基础。

焊机状态、故障及异常的实时监测、诊断、预警与安全控制研究。对解决以IGBT等为开关器件的中、高频逆变式焊机普遍存在的故障率高、使用寿命短问题具有重要意义。

### 3.4 逆变电阻焊变压器的优化设计

在逆变电阻焊机变压器优化设计中,逆变频率的选取对变压器的参数设计影响较大。变压器匝数和铁心截面积的乘积与逆变频率成反比。提高逆变频率可以减小焊接变压器的体积和质量。

逆变频率的提高使焊机的控制周期缩短,从而

提高系统的动态响应性能及焊机电流的控制精度,能进行波形控制实现焊接时无飞溅,质量稳定、高效节能的精密焊接。

然而电阻焊变压器的二次绕组一般只有一匝,匝数已不能再减少,变压器二次侧通过的电流大,二次绕组的截面积大,要求铁心窗口不能过小,所以逆变频率的进一步提高对减小电阻焊变压器的尺寸和质量是有一定限度的。而且频率的进一步提高使变压器的涡流和磁滞增加,二次回路感抗压降增加,限制了二次电流的输出。虽然逆变频率采用了软开关工作方式,频率的提高对开关管工作频率损耗并不明显,但二次回路的整流二极管仍处于硬开关强迫换流方式,频率的提高会增加开关损耗和整流二极管发热量,反而降低了焊机的效率。此外高频电路的分频参数影响较大,容易产生高频振荡和电磁干扰,对系统的可靠性要求更高。因此逆变频率的确定应综合上述因素,结合实际电路设计来考虑。

### 3.5 系统的稳定性和可靠性

系统的稳定性和可靠性是衡量逆变电源的重要指标,是影响产品质量的关键。无论是科研样机,还是进一步的试生产,要使产品质量稳定可靠,必须从硬件和软件入手,解决好两方面的问题。一方面是设计问题。在系统设计时要将网压变化引起的的干扰、焊接现场电磁干扰和测控系统自身的干扰等因素加以防范。首先是器件的选择,器件的主要参数要有工作裕量,因为器件的工作应力低于其额定值越多,器件失效的可能性就越小;其次是硬件电路的合理设计,可以采取抑制干扰源、切断干扰途径和对接收信号进行处理,也可采取屏蔽技术、隔离技术、接地技术和滤波处理等;最后在设计系统软件时也要充分考虑可靠性问题,用多方面的手段提高系统的可靠性。如采用看门狗技术,滤波处理、消除干扰信号,对输入信号进行循环采样等。另一方面是对产品的生产加工管理问题。首先要结合焊接生产的应用,对科研样机优化完善,解决一些不稳定问题,强化系统的研究,对参数、程序控制等作优化设计;其次是严格控制产品生产加工过程,按图加工,把好每一道工序。

在早期的阻焊实时控制研究中,我们主要是寻找能够反映熔核形成的参量作为质量控制的被控制量。但实践证明难以获得满意的效果。原来的经典过程控制手段难以得到满意的焊接质量,电阻焊过程控制已由宏观向微观、由简单控制向智能控制

发展。

经过探索,电阻焊机在参数调节方面,已从初始的单变量调节向多变量多参数综合监控方向发展;在控制决策上已由常规的控制模式向智能控制方向发展。随着人工智能的发展,智能控制研究与应用都相当成熟。国内外焊接工作者都把目光集中到电阻焊的过程智能控制方面,实时检测焊点的熔核状况,补偿各种因素的波动。电阻焊设备的自动化及智能化已成为其发展的必然趋势,智能化电阻焊技术已成为焊接工作者研究的新热点之一。目前,国内外的焊接工作者都在尝试将人工智能的主要分支——专家系统、模糊控制等技术应用于电阻焊过程与质量控制领域。专家系统本质上是一个或一组计算机程序,它能根据知识库中的知识,按照自身的推理策略求解出某一个特定领域的问题。焊接过程是一个复杂的过程,很多参数难以量化,存在许多不确定性的模糊知识,往往需要经验作出决定,

因此被认为是应用专家系统的理想领域。

## 4 结论

电阻焊质量的精确控制是当今现代制造业中最热门的话题之一。各国都在研究,开发新型产品,增强自身的市场竞争力。由于数字化中频逆变电阻焊机具有焊接控制精度高,焊接质量大幅度提高,使用成本显著降低等优点,从而使得高质量的电阻焊已广泛应用于汽车、家电、铁路车辆、飞机、航空航天等薄板件的装配焊接生产现场,成为国民经济建设急需的焊接技术与关键装备。随着我国航天航空工业的发展,精确控制的电阻焊接就显得越来越重要。国民经济的汽车、家电等各行各业中,大量的零部件及新的结构件,也需要精确控制的电阻焊机。总之,大力发展数字控制的电阻焊机,对于精确控制焊接过程,提高焊接品质,对于我国航空航天乃至国防工业的发展都具有重大意义。