

电阻点焊的伺服焊枪技术特性分析

张旭强, 陈关龙, 张延松, 张小云*

(上海交通大学 机械与动力工程学院, 上海 200030)



张旭强

摘 要: 通过对伺服焊枪与气动焊枪在渐进、预压与焊接三个阶段的焊接特性进行对比分析。相对气动焊枪而言, 在渐进阶段, 伺服焊枪可以实现对电极的良好加减速控制以及对焊枪运动路径的程序化优化控制; 在预压阶段可实现对工件的软接触且预压力时间大大减少; 在焊接阶段伺服焊枪可实现对电极力的准确控制并且使锻压力控制成为可能。这说明伺服焊枪具有传统气动焊枪无可比拟的优点, 具有广阔的应用前景。

关键词: 伺服焊枪; 电阻点焊; 车身焊接

中图分类号: TG455 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2005)06-60-05

0 序 言

随着汽车工业飞速发展, 电阻点焊在薄板连接技术中的应用也越来越重要。自从 1933 年第一辆由点焊连接完成的汽车下线以来, 电阻点焊的应用近年来获得了突飞猛进的发展。目前, 平均一辆轿车白车身大约有 3 000 ~ 4 000 个焊点, 电阻点焊已经成为轿车白车身装配的重要连接方法, 因而点焊质量与焊接效率对轿车的质量与成本有着重要影响。

当前国内外汽车工业车身点焊主要应用气动焊枪, 经过多年发展与创新, 气动焊枪的技术已经比较成熟, 在气动控制技术、焊接质量控制与焊接效率等方面有了较大的提高。但随着汽车工业的发展, 气动焊枪逐步暴露了一些缺点, 对柔性焊接件的冲击较大、控制定位精度不高、效率较低、电极磨损较大、与机器人的集成度较低、维护成本比较高, 已经不太适应现代汽车工业的发展要求。而伺服焊枪是最近几年发展起来的一种新型焊枪, 采用伺服电机作为动力装置, 由伺服控制器实现对伺服电机的高效、准确控制, 易于实现与机器人的有效集成, 从而实现对焊枪的高精度定位与柔性焊接控制, 在焊枪的发展里程上相当于机床行业里实现由普通机床到数控机床的飞跃。伺服焊枪对于汽车车身装配生产线来说相对较新, 目前在日本只有丰田等少数公司将伺服焊枪应用到汽车车身装配生产线上, 而美国只有大约 200 只伺服焊枪被应用^[1], 随着汽车生产的高度自动化与高效化, 对焊接质量与焊接效率要求的不

断提高, 伺服焊枪新技术特性具有广阔的应用前景。

1 伺服焊枪结构原理

试验室所用的伺服焊枪是由美国 GM 公司提供的 AC 型伺服焊枪, 与其集成的机器人是 FANUC 公司的 R-2000 型, 如图 1 所示, 焊枪的主要参数为功率 110 kW; 最大焊接电流 18 kA; 最大电极力 4903 N; 扭矩 17.35 Nm; 最大行程 160 mm。

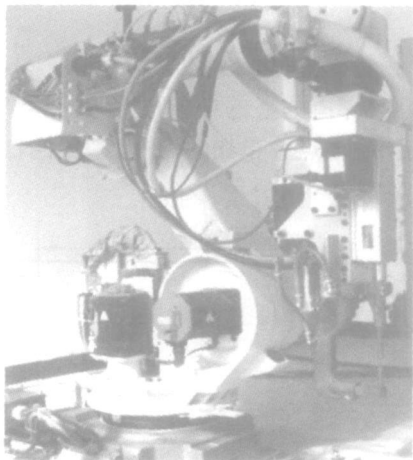


图 1 AC 型伺服焊枪与其集成的机器人

Fig 1 AC type servo gun integrated with robot

相比较气动焊枪而言, 伺服焊枪的最大结构变化是以伺服装置代替气动装置, 按照预先编制的程序, 由伺服控制器发出指令, 控制伺服电机按照既定的速度、位移进给, 脉冲指令经过编码器, 最后形成电极的位移与速度控制, 脉冲的数量与频率决定了电极的位移与速度, 转矩决定了电极压力, 其结构原

理如图 2 所示。伺服电机的特性决定了焊枪电极定位的高精度与高效率,可以快速实现预压以及对电极压力的精确控制。

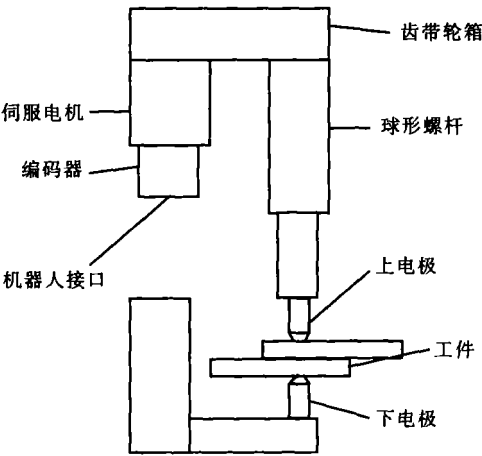


图 2 伺服焊枪的结构原理图
Fig. 2 Construction of servo gun

2 伺服焊枪技术特性分析

电阻点焊一般分为预压、焊接、保持、休止四个阶段^[2],但在实际的焊接过程中,预压之前焊枪由预定位置到达工件阶段(渐进阶段),对电极定位精度与生产效率有较大的影响。为了突出研究伺服焊枪的特性,在此,将点焊过程分为渐进、预压、焊接、保持、休止五个阶段。He Tang^[3]对伺服焊枪的刚度、摩擦等特性进行了研究,分析了渐进、预压阶段伺服焊枪的技术特性。伺服焊枪相比较气动焊枪而言,具有良好的刚度特性与电极力控制特性。下面着重对二者在渐进、预压、焊接这三个阶段的特性进行分析论述。

2.1 渐进阶段

伺服焊枪通过伺服控制器实现电极速度、位移的可编程控制,在焊枪的上电极开始运动时,以较快的渐进速度 v_a 运动,在快接近工件时,降为较低的爬行速度 v_c 运动,上电极速度降为爬行速度 v_c 时与工件的距离为爬行距离,爬行速度与爬行距离的确定以综合考虑焊接效率与电极寿命为准。这样可以实现渐进过程的良好加减速控制,达到对工件的“软接触”,减小焊枪对工件的冲击,延长电极的使用寿命。相比较于气动焊枪,伺服焊枪可以快速、准确地“软接触”工件。两种类型焊枪接近工件时的位移、速度比较分析如图 3、图 4 所示^[3],从二者的比较可以看出,气动焊枪由于接近工件的速度较大,对工件与电极产生较大的冲击,这不是实际情况所期望的。

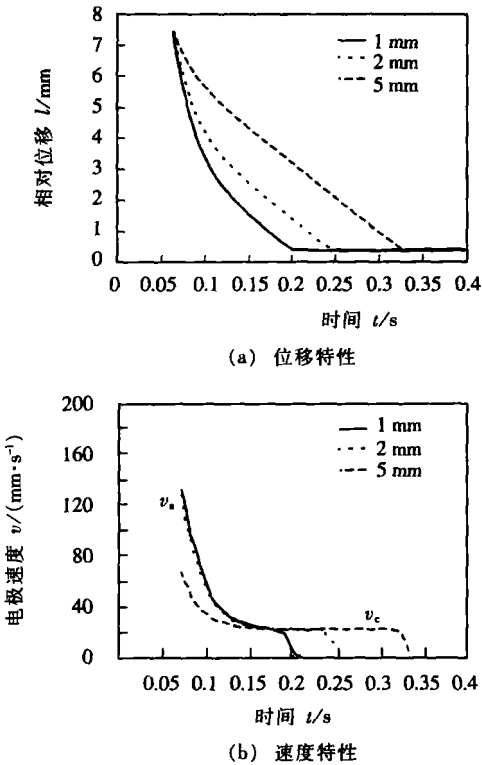


图 3 伺服焊枪渐进阶段的位移和速度特性
Fig. 3 Displacement and speed characters of servo gun at approaching stage

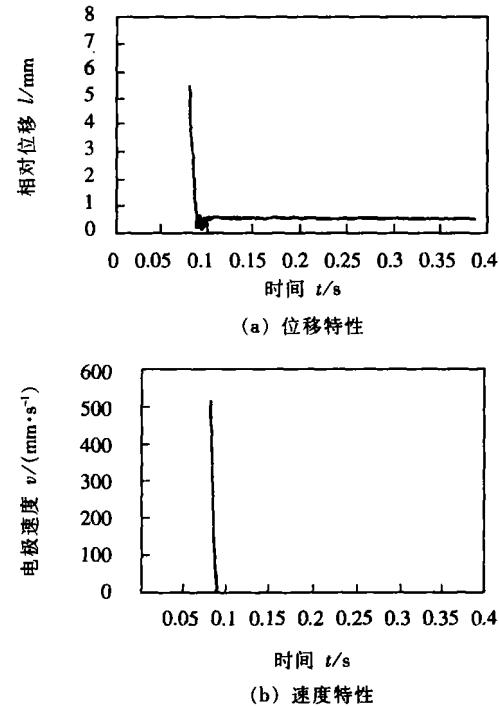


图 4 气动焊枪渐进阶段的位移、速度特性
Fig. 4 Displacement and speed characters of pneumatic gun at approaching stage

在同样的条件下,焊接一系列不同行程状态的

焊点,在渐进阶段,二者接近工件的时间与方式也是大大不同,从图 5 可以看出,由于伺服焊枪的可编程化控制,能灵活的根据工件焊点的具体位置与障碍物分布情况,进行运动路径的优化控制,确定每个焊点的行程,而气动焊枪行程的确定,则是由同一系列焊点中行程最大者来决定,且行程一旦确定,在此系列焊接中不再可调。

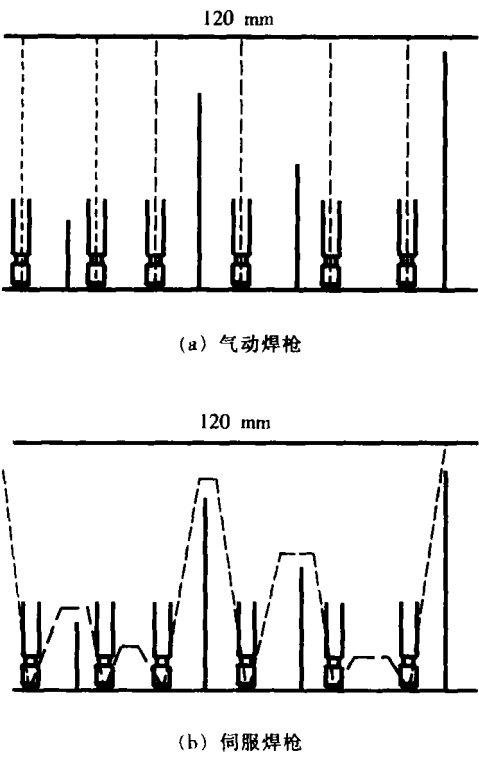


图 5 两种焊枪的运动路径优化比较
Fig. 5 Compare of moving route of two type welding guns

2 2 预压阶段

伺服焊枪安装在六轴机器人手臂上,实现与机器人的有效集成。上电极传动轴作为机器人的第七控制轴,通过齿轮、齿带与球形螺杆等传动装置控制上电极的运动,上下电极具有良好的对中性,在与工件接触时,采用程序化的编程控制焊枪的运动轨迹,保持上下电极轴线与工件表面垂直,在电极压力下保持良好的接触。在电极刚接触工件,与工件产生压力的瞬间,对工件不可避免地要产生冲击,两种焊枪在冲击力方面的特性比较如图 6 所示,在 0 ~ 0.05 s 的时间段为接触瞬间两种焊枪对工件冲击的力学特性反映。由图 6 可以看出,气动焊枪在接近工件时,由于依然保持较大的速度,对工件冲击力较大,加剧工件变形,影响电极的使用寿命与定位精度;而伺服焊枪由于具有良好的加减速控制,在接近

工件时以较低的爬行速度运动,冲击力很小,实现对工件的“软接触”。ABB^[4]公司研究表明,点焊普通钢板时,仅从冲击力的角度考虑,使用伺服焊枪可使电极寿命提高约 30%。

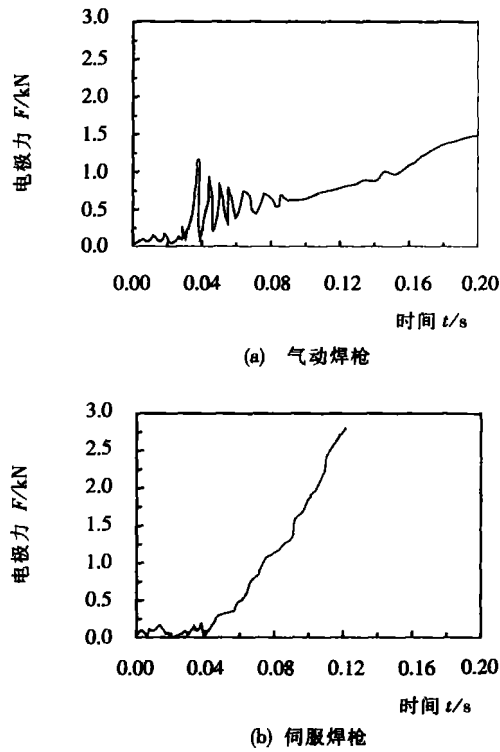


图 6 两种焊枪对工件冲击的力学特性
Fig 6 Force character of two type welding guns impacting on parts

点焊过程的五个阶段中,焊接、保持、休止三个阶段对两种类型焊枪来说,所用时间基本上差不多,可压缩空间不大。预压阶段相对来说是一个焊接周期中最长的阶段,气动焊枪的预压时间一般是 20 ~ 40个周波左右(一个周波为 0.02 s),随气缸类型的不同而有所变化。如要提高点焊生产率,就应将预压时间尽可能地缩短。两种焊枪达到预定预压力值的时间比较如图 7 所示,气动焊枪达到预压力的时间大约为 30 个周波(0.6 s),且电极力波动较大。而伺服焊枪只用了 10 个周波(0.2 s),就达到了 95% 预压力,大大缩短了每个点焊的时间。总体来看,在点焊过程的四个阶段中,焊接、保持、休止这三个阶段对两种类型焊枪来说,所用时间基本上差不多,可压缩空间不大,而由于伺服焊枪灵敏的电极力特性,使预压阶段大大缩短,相比较于气动焊枪,伺服焊枪每完成一个焊点就可节省约 0.4 s 相对于一台轿车的 4 000 多个焊点,0.4 s 对整个车身生产率的提高就非常重要。

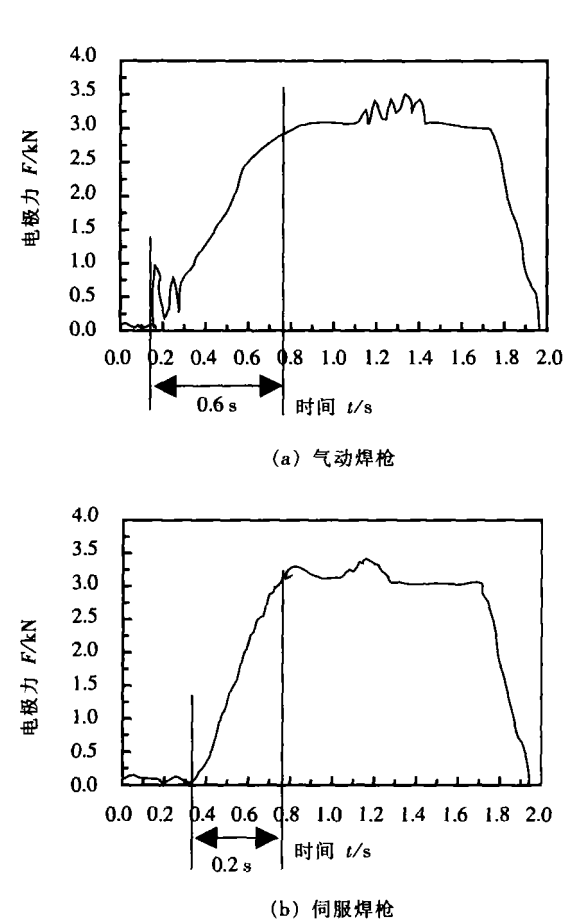


图 7 两种焊枪达到预压力的时间特性
Fig 7 Character of reaching squeeze force time for two type welding guns

2 3 焊接阶段

达到既定的预压力后,焊接控制器控制焊接电流接通,进行焊接。在焊接过程中由于熔核的受热膨胀,产生热膨胀力。热膨胀力反映了熔核的形成过程特点,在一定程度上反映熔核的质量^[3],研究人员将熔核的热膨胀力特征曲线作为在线监测评价焊点质量的依据,两种焊枪受热膨胀力的特性比较如图 8 所示,伺服焊枪具有更精确的电极力控制能力,而电极力的控制精度,对焊点的质量与电极磨损具有较大的影响。伺服焊枪通过伺服电机的力矩环实现对电极力的精确控制,在焊接初期熔核受热膨胀,电极受力增大,这时力矩环电流减小,使电极力保持稳定;在保持阶段,熔化的金属开始冷却结晶,体积减小,电极受力随之减小,此时力矩环电流增大,使上电极下移,以保持金属在既定压力下结晶。

2 4 其它特性分析

2 4 1 电极磨损补偿特性

伺服焊枪具有电极头磨损的监测与自动补偿功

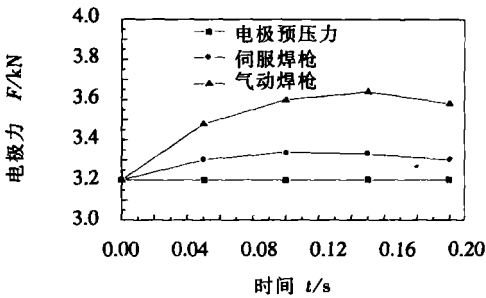


图 8 两种焊枪的受热膨胀力的特性
Fig 8 Character of thermal expand force for two type welding guns

能。电极磨损对焊点的质量与电极压力都有较大的影响,如图 9 所示,当电极磨损后,会出现电极端面直径增大以及轴向间距增大,相比较于理想电极而言,磨损的电极使流经电极端面的电流密度减小,电极压力降低,而这两者对熔核的质量具有较大的影响,因此,及时、便捷的监测与补偿电极的磨损非常重要。根据对不同材料的试验数据,得到伺服焊枪的磨损率,点焊普通钢板时,伺服焊枪的轴向磨损率一般为 0.5 mm/500 点左右,当焊接达到一定的点数后,伺服焊枪的上下电极闭合检验,通过编码器的获取电极位移数据,与理想电极的理论数据比较,测得轴向磨损量,然后通过伺服马达进行轴向误差量补偿,以减少电极磨损对焊接质量造成的影响。利用伺服焊枪这一特性,还可以在线进行工件厚度的测量。

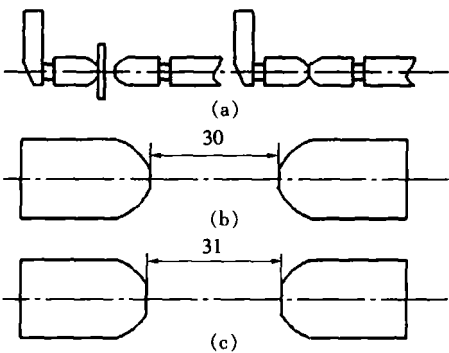


图 9 伺服焊枪电极磨损监测与补偿示意图
Fig. 9 Detection and compensation of servo gun electrode wear

2 4 2 电极力可控特性

点焊过程中电极力的改变,又称为锻压力。在目前点焊工业中,所用的焊枪绝大部分是气动焊枪,气动焊枪的技术特性与电阻点焊的技术要求决定了气动焊枪的电极力在焊接过程中固定、不可调,响应

时间长^[3]，由于点焊的焊接时间（电流通电）非常短，只有约 10 个周波（0.2 s），而要在此很短时间内通过改变电极力实现对焊点质量控制，对气动焊枪的技术特性来说，无法在此很短的时间内满足响应要求。为此，对由于电极磨损、变形等因素造成的焊点质量下降，只能通过改变电流的方式来达到对焊点质量控制。

伺服焊枪应用于点焊工业后，由于其通过调整伺服电机的电流来改变电机的扭矩，进而改变电极压力，响应时间很短，约为 0.06 s（3 个周波），而整个通电焊接过程约为 10 个周波（0.2 s），因此伺服焊枪的技术特性完全能够满足电阻点焊中瞬间锻压力的响应要求。因而在点焊过程中，可以通过改变伺服焊枪的电极力来完成对焊点的质量控制，这比通过改变电流的方式更加便捷、有效。焊接过程中电极力（锻压力）的改变方式有两种。如图 10 所示，一种是相比原电极力增大，为增锻压力，另一种是相比原电极力减小，为渐进锻压力。渐进锻压力利于熔核的生热，但初期压力较小，接触电阻较大，发生飞溅可能性较大；增锻压力电极力相对比较大，可减少飞溅的发生，利于熔核的结晶，但不利于熔核的初期生热，且较大的电极力会加快电极磨损。施加锻压力的时间对焊点的质量也有重要影响，如图 10 所示， t_1 为相对于通电焊接时刻锻压力的施加时间， t_2 为电极力的响应延迟时间，约为 3 个周波。 t_1 的不一样，对应于在不同焊接时刻改变电极力，如果电极力改变太早，不利于熔核的初期生热，如果太

晚，发生飞溅的可能性变大，不利于熔核结晶，具体需要针对不同的焊接材料进行试验验证，优化出焊接工艺参数，确定锻压力的施加时间、大小。在目前的汽车行业中，对镀锌钢板与铝合金的需求量日益增多，由于这两种金属材料比较特殊的金属特性，相比较于普通钢板而言，焊接时间短，电流大，合金化倾向严重，电极磨损快，需要较强的焊接参数来焊接，用气动焊枪来实施焊接比较困难，而运用伺服焊的电极力可控特性，结合其它的技术特性，优化焊接参数，完全可以实现对这类难焊材料的焊接与质量控制，具有广阔的应用前景。

3 结 论

- (1) 在渐进阶段，伺服焊枪在接近工件时可以通过伺服马达实现良好的加减速控制，根据实际工位实现对焊枪运动路径的程序化优化控制，减少了焊接时间。
- (2) 在预压阶段，伺服焊枪通过伺服控制器的精确控制，实现对工件的软接触，且达到预压力时间大大减少，减小了对工件与电极冲击，提高了电极寿命与焊接效率。
- (3) 在焊接阶段，伺服焊枪可实现对电极力的精确控制以及锻压力控制，大大提高焊点质量以及镀锌板等难焊材料的焊接性。

参考文献：

[1] 服部隆行. 利用伺服焊枪的自动单侧点焊装置[J]. 国外机车车辆工艺, 2000 (5): 15 - 18

[2] 中国机械工程学会焊接学会. 电阻焊理论与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

[3] He Tang Machine mechanical characteristics and their influences on resistance spot welding quality[D]. Michigan University , 2000.

[4] ABB. ABB flexible automation for savings with servo guns[C]. ABB Corporation report 2002

[5] Slavick S A. Using servo gun for automated resistance welding [J]. Welding Journal 1999 78(7): 29 - 33.

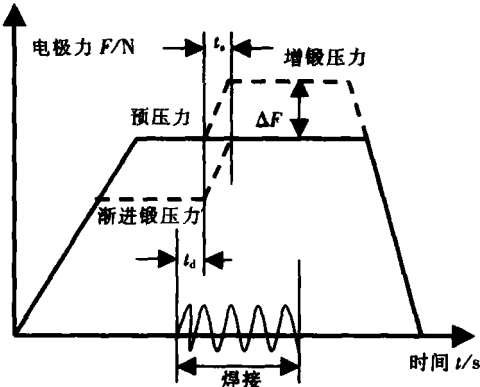


图 10 锻压力的两种形式

Fig 10 Two patterns of forging force

作者简介：张旭强 男，1974 年出生，博士研究生。主要研究方向为车身装配与机器人焊接，发表论文 4 篇。

Email xqzhang@sjtu.edu.cn