

电火花自动强化过程中电弧飘移的研究*

顾伟生, 丁浩, 狄平, 朱世根

(东华大学机械工程学院 纺织装备教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘要: 电火花自动强化研究过程中, 观察到了火花放电时电弧飘移的现象, 运用焊接电弧的阴极斑点原理解释了此现象。并揭示电弧飘移现象与电极压力、线速度、电容量及电极尺寸等参数有关。通过研究可知, 选择合适的工艺参数, 可解决电弧飘移导致的强化层质量缺陷。

关键词: 电火花; 强化; 电弧飘移; 阴极斑点

中图分类号: TG 661; TH 16

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)06-0066-04

Investigation on Turbulent Arc in the Process of Electric Spark Automatic Strengthening

GU Wei-sheng, DING Hao, DI Ping, ZHU Shi-gen

(College of Mechanical Engineering, Donghua University, Engineering Research Center of Advanced Textile Machinery Ministry of Education, Shanghai 201620)

Abstract: The phenomenon of turbulent arc was investigated in the electric spark automatic strengthening process. The turbulent arc phenomenon is explained by using the cathode spot shifting theory. The technologic parameters to affect the turbulent arc were investigated, analyzed and discussed. Since the turbulent arc seriously influences the strengthened layer's continuity, the electrode shape and strengthening technologic parameters such as electrode pressure, electrode moving velocity and electric capacity must be properly selected so as to reduce the turbulent arc to the mildest degree that the strengthened layer property does not seriously decrease.

Key words: electric spark; strengthening; turbulent arc; cathode spot

0 引言

电火花表面强化技术是直接利用具有高能量密度的电能通过火花放电, 将作为电极的导电材料熔渗进金属工件表层, 形成合金化的表面强化层^[1]; 亦称“脉冲电弧显微堆焊”^[2]。

电火花表面强化主要用于刀、模具或工件修复, 而对工件的表面强化, 尤其是大面积工件的强化, 该技术极少使用, 主要原因是我国目前生产的设备都是手工操作。作者经过长期电火花表面强化的研究, 成功研制了“多组电极电火花自动强化设备”^[3], 运用该设备可实现对大面积工件的电火花表面强化处理。同时, 在使用过程中发现了电火花在自动强化过程中出现电弧飘移的问题。

与手工电火花强化相比, 运用电火花强化技术对工件进行自动表面处理时, 强化层的均匀性、连续性、及致密性和强化效率等方面得到极大提高, 从而直接影响工件的使用效果。但是, 在电火花自动强化过程中, 若工艺采取不当, 将使强化层均匀性, 连续性受到较大影响。电弧飘移就是其中之一。

电弧飘移是电火花自动强化过程中, 电流不是在电极整个截面导通, 而是在某些局部截面上起弧,

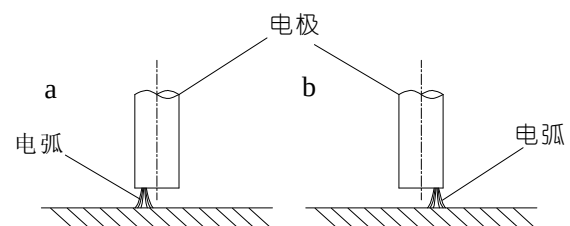


图1 电弧漂移示意图

Fig.1 Electric arc drifting sketch

收稿日期: 2010-05-24; 修回日期: 2010-11-08

基金项目: *国家863资助项目 (2002AA331100)

作者简介: 顾伟生(1953—), 男(汉), 上海市人, 副教授, 学士。

并且在强化过程中电弧不时从某一局部飘移到另一局部截面。如图1所示。

电弧飘移将导致工件表面强化层不连续, 严重影响了强化质量, 如图2所示。



图2 电弧飘移的强化层

Fig.2 Discontinuous strengthened layer on the work piece caused by the turbulent arc

1 产生电弧飘移原因分析

电火花自动强化过程中电弧飘移问题可以从焊接电弧原理^[4]中得到解释。

用高熔点材料(C、W等)作为阴极, 电流较小时不能在阴极上产生足够高的温度, 使其通过热发射产生充分的电子来维持电弧的稳定燃烧。阴极将自动收缩其导电面积, 产生较强的电场发射补充热发射的不足, 提供电弧对电子数量的需要以维持电弧的燃烧。此时, 阴极将形成面积更小、电流密度更大的斑点来导通电流。这种导电斑点称为阴极斑点。

阴极斑点的形成要求一定的条件: 电弧通过该点时弧柱的能量消耗较小, 即 IEL 较小 (I 为电弧电流, E 为弧柱的电场强度, L 为弧柱的长度)。所以具备上述条件的点产生新的阴极斑点, 失去上述条件的点则阴极斑点自动消失。正是该原因形成了阴极斑点在一定的区域内以很高的速度跳动, 自动选择最有利于部分电场发射和部分热发射条件的点, 电弧通过这些点进入阴极时消耗最低的能量。

阴极斑点的形成条件决定它具有非连续沿阴极表面自由移动的所谓“粘着”特性。如图3所示,

当两个电极之间已经产生电弧, X 处是阴极斑点(如图3(a))。阴极和阳极相对平行运动时, 如果阴极上尚没有其它点具备产生阴极斑点的条件, 则电弧被拉长, 阴极斑点仍“粘着”在 X 处(如图3(b))。但如果在另外的点 Y 上, 由于传导或弧柱的辐射而温度升高或者产生微量的金属蒸气, 具备了电场发射或热发射条件, 同时也具备与阳极距离最近的条件时, 则在 y 点产生新的阴极斑点和电弧通路(如图3(c)和(d)), 阴极斑点从 X 点跳到 Y 点。

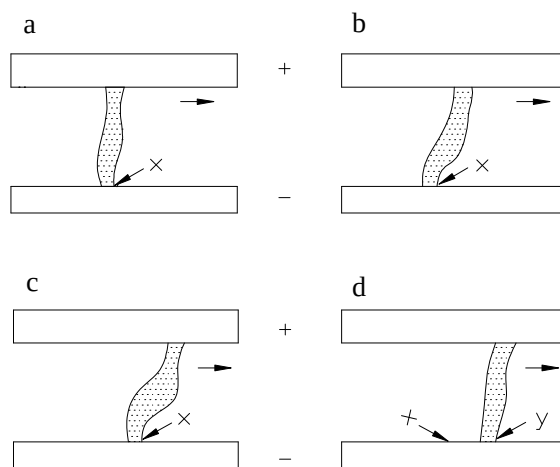


图3 阴极斑点的“粘着”作用的示意图 (x -原有斑点位置; y -现有斑点位置)

Fig.3 The formation of the cathode spot coherence (x -original spot position, y -new spot position)

2 影响电弧飘移的因素

电弧飘移问题在电火花手工强化操作时可根据观察人为地补充未强化部分, 而在自动强化时则要根据实际情况调整各工艺参数。影响电弧飘移的因素主要有以下几点:

2.1 电极压力

电火花强化工艺要求电极周期性地无限接近和离开工件。使用RC电火花强化设备时, 采用电磁振动机构可实现该机械动作。因此, 电极的压力要与振动机构的电磁吸合力相匹配。

电弧压力可以影响电弧刚度。所谓电弧的刚度, 即电弧作为一个柔软导体抵抗外界机械干扰, 力求保持沿电极轴向流动的能力, 而这种性能是由电弧的自身磁场决定的^[4]。电弧是断面直径变化的圆锥体气体导体, 这是因为电极直径限制了导电区的扩展, 而在工件上导电区有扩展的条件, 所

以电弧导电区呈图 4 所示形状。电弧上任意点的电磁静压力由下式决定^[4]:

$$P = \frac{2I^2}{\pi L^2 (1 - \cos \theta)^2} \log \frac{\cos \frac{\phi}{2}}{\cos \frac{\theta}{2}} \quad (10^{-5} \text{ N/cm}^2) \quad (1)$$

式中: I —电弧电流(A), L —电弧上 A 点距离(cm), θ 、 ϕ 的表示如图 4 中所示。

由于直径的不同将引起压力差, 从而产生由电极指向工件的推力 F 其数值由下式表示:

$$F_{\text{推}} = I^2 \text{Log} \frac{R_b}{R_a} \quad (2)$$

式中: R_a —电极直径, R_b —工件上电弧直径, I —电流。

由电磁静压力公式可知, P 与 L 成反比, 即增大电极压力, 弧长减小, 电磁静压力 P 增大, 则电弧刚直度也增大, 有利于克服电火花自动强化过程中电弧飘移问题。

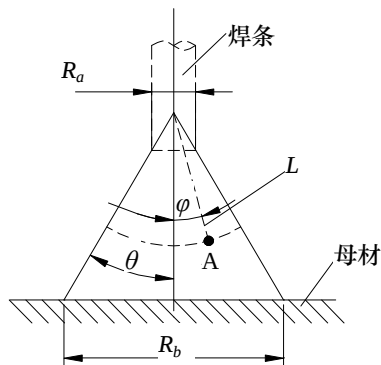


图 4 圆锥形电弧压力计算公式的参数意义

Fig.4 Cone-shaped electric arc and pressure calculation formula parameter

图 5 是取四档压力角 α 测试的电弧稳定性状况。压力角 α 越大, 电极压力也越大。试验条件: 电容量为 300 μF , 电极直径=3.5 mm, 电极压力角 $\alpha_1=11.25^\circ < \alpha_2=13.34^\circ < \alpha_3=16.26^\circ < \alpha_4=18.69^\circ$ ^[5]。

从图 5 中可知: 压力角 α 在一定范围内, 电弧稳定性很好, 如图 5(b)、(c)。压力角 α 较小时, 电弧挺直度不够, 易产生电弧飘移, 如图 5(a)所示; 压力角 α 较大时, 飞溅较大, 如图 5(d)所示, 不仅浪费电极材料, 而且若压力角 α 太大, 则电极粘结在工件上, 振动不起来。因此, 压力角调节一定要适当, 电弧才能稳定。

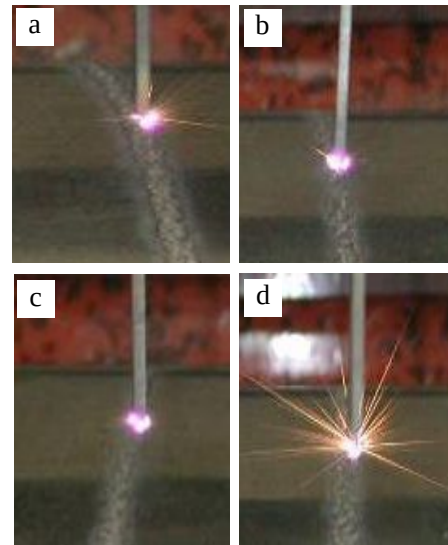


图 5 压力角对电弧稳定性

Fig.5 The effect of pressure angle on the arc stability

2.2 线速度 V

为了使强化层连续均匀地覆盖在工件表面, 对应一定面积要有适当的强化时间。电火花强化时一次脉冲放电在工件表面只形成一个放电凹穴, 在凹穴中迁移少量电极材料。通过多次脉冲重复放电, 凹穴逐渐填平, 最终高出工件表面。随着电极与工件相对移动, 脉冲放电次数增多, 最后形成电火花强化层^[2]。

在电火花自动强化过程中, 线速度 V 表示强化时间。线速度 V 越快, 单位长度所得到的能量下降, 强化点数量下降, 不利于得到连续、均匀强化层。由图 6 可知: 电极与工件相对移动线速度 V_1 (大于 5.1 cm/min) 越大, 阴极斑点的粘着”越严重, 即电



图 6 线速度对强化层的影响

Fig.6 The effect of velocity impact on the strengthened layer

弧飘移更厉害, 强化层极不连续, 如图 6(a)所示。较小的线速度 V_3 (小于 0.69 cm/min) 虽有利于克制电弧飘移, 但线速度 V 过小, 输入热能大, 强化层表面及周边有较严重氧化现象, 见 6(c), 并且生产效率下降。采用合适的线速度 V_2 ($0.69 \text{ cm/min} \leq V_2 \leq 5.1 \text{ cm/min}$), 工件表面电弧稳定, 可以得到优良质量的强化层, 如图 6(b)所示。

2.3 电容量 C

电火花表面强化是利用电容放电时产生的能量转化成热量, 在电极表面形成一个瞬时高温热源, 使放电点附近的局部金属瞬时熔化和气化。

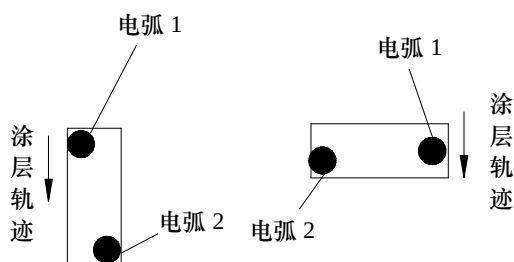
电容量 C 的增加, 使电火花放电时能量、放电电流、电弧的电磁收缩力和推力增加, 从而使电弧刚直度也增加, 因此电弧不易飘移。

另一方面, 由于放电电流的增加, 阴极依靠热发射提供的电子数量增加, 不易产生阴极斑点, 电弧飘移也就不易产生。

2.4 电极尺寸

电极尺寸增加, 电流密度减小, 单位面积输入能量也减小, 易产生阴极斑点, 电弧飘移严重。反之亦然。但电极尺寸不能太小, 否则易发红、折断。另外, 若采用长方形截面电极, 则电极宽度方向顺着强化轨迹移动有利于减少电弧飘移的不利影响。

如图 7(a)所示, 电弧 1 与电弧 2 的横向距离变化范围很小。这样即使产生电弧飘移, 也还是在一个较窄的涂层轨迹上。若采用长度方向垂直于强化轨迹移动, 图 7(b)所示电弧 1 到电弧 2 横向距离变化范围较大。则不仅涂层较薄, 而且电弧飘移严重, 使涂层极不均匀和连续。若采用圆形电极, 也应选择合适的直径, 使电弧飘移减小到最低限度, 降低对涂层质量的危害。

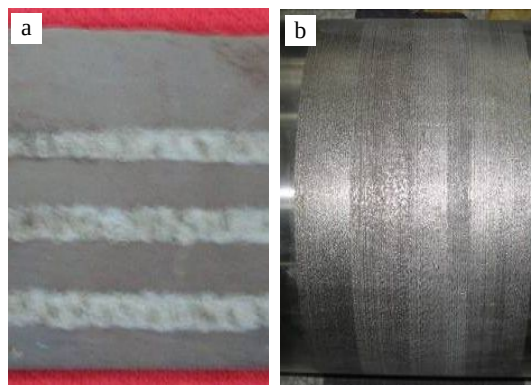


(a) 长度方向与涂层轨迹一致 (b) 宽度方向与涂层轨迹一致

图 7 长方形电极电弧漂移示意图

Fig. 7 The turbulent arc for the rectangular electrode

以上各因素都会影响电火花自动强化过程中电弧飘移问题。通过合适地选择, 可以使电弧飘移在电火花自动强化过程中减小到最小程度, 以至不影响强化效果。如图 8 所示。



(a) 单条电火花强化层试样 (b) 表面电火花强化层试样

图 8 合适的电火花自动强化工艺试样照片

Fig.8 The electric spark automatic strengthening specimen with appropriate factors

3 结 论

(1) 电火花自动强化过程中由于阴极斑点产生电弧飘移, 能够影响强化层的连续性。

(2) 选择合适的电极压力、线速度、电容量和电极尺寸等工艺参数, 可使电弧飘移问题减小到最小程度, 以至不影响强化层效果。

参考文献:

- [1] 李程, 梁志杰, 张平, 等. 大功率电火花表面强化工艺对涂层性能的影响 [J]. 中国表面工程, 2007, 20(6): 32-35.
- [2] 孙希泰. 材料表面强化技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 顾伟生, 朱世根, 方杨, 等. 多组电极电火花自动强化设备的研制 [J]. 机械设计与研究, 2009, 25(4): 98-100.
- [4] 姜焕中. 焊接方法与设备 (第一分册) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [5] 顾伟生, 熊伟, 朱世根. 电火花自动强化过程中电极压力的调节 [J]. 机械制造与设计, 2010, 2: 225-227.

作者地址: 上海市松江人民北路 2999 号 201620

东华大学机械工程学院

Tel: (021) 6779 2584 E-mail: sgzhu@dhu.edu.cn(朱世根)