

大功率摩擦焊机在钢结构中的应用

赵士杰

上海振华重工(集团)股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i5.4779

[摘要] 针对大功率摩擦焊机输出功率大、效率高、焊接质量好、切片实验强度高等优势,可以实现同材及不同材质之间等进行摩擦焊接。现钢结构中应用大功率摩擦焊机的模拟和实验。对钢圆筒、方形和圆柱形、实心钢构件与实心钢构件,实心与空心钢构件等之间焊接可以实施钢结构摩擦焊接。通过拉力实验测定强度等于或高于母材强度,切片实验表明焊接合格,没有出现砂眼、裂纹等现象。通过对主要参数的改变模拟结果分析,使摩擦焊接工件的强度误差及角度误差达到钢结构构件使用要求。通过实验验证大功率摩擦焊机在钢结构中的可行性。

[关键词] 钢结构摩擦焊; 拉力实验; 强度误差; 角度误差

中图分类号: TU391 **文献标识码:** A

Application of High-Power Friction Welding Machines in Steel Structures

Shijie Zhao

Shanghai Zhenhua Heavy Industry (Group) Co., Ltd

[Abstract] The high-power friction welding machine features high output power, high efficiency, good welding quality, and high strength in the slicing test. It can perform friction welding between the same materials and different materials. This paper simulates and experiments the application of high-power friction welding machines in steel structures. Friction welding can be implemented between steel cylinders, square and cylindrical, solid steel components and solid steel components, solid and hollow steel components, etc. The tensile test shows that the strength is equal to or higher than that of the base material, and the slicing test indicates that the welding is qualified without sand holes, cracks, and other phenomena. By analyzing the simulation results of changing the main parameters, the strength error and angle error of the friction welded parts can meet the requirements of steel structure components. The feasibility of high-power friction welding machines in steel structures is verified through experiments.

[Key words] Friction welding of steel structures; Tensile test; Strength error; Angle error

引言

利用大功率摩擦焊机在钢构件之间进行摩擦焊接实验,针对钢结构构件焊接在强度上有要求,现对四方构件在焊接后进行拉力实验并进行焊接强度测试分析,测试焊接后拉力强度是否满足焊接使用要求,使其强度误差控制在使用要求的范围并满足使用要求。首先设定摩擦焊机焊接时边界条件,采用Matlab对其大功率摩擦焊机焊接强度误差进行模拟分析,分析模拟大功率摩擦焊机焊接大型钢构件后的强度误差数值及图形;其次搭建实验平台,采用大功率摩擦焊机技术参数,在焊接时对焊接的钢构件和四方构件导杆进行控制,采集焊接相应重要数据对比分析,焊接强度满足四方构件焊后强度要求。大功率摩擦焊机控制技术通常需要变频电动机快速制动,而且大功率摩擦焊机在摩擦焊接过程中会产生较大的再生能量,需外加多组电阻来消耗这部分制动能量以

达到快速制动^[1]。现在就大功率摩擦焊机快速制动中的摩擦焊接强度是否满足构件应用过程中强度要求来进行分析。

1 摩擦焊接工作原理

摩擦焊机在工作过程中进入减速状态时,摩擦焊接电机定子电势大小 E 会超前于电压 u_s ^[2],此时摩擦焊电机功率角 δ 可为负值,摩擦焊电机在工作运行中处于发电状态。大型摩擦焊电机定子电势的反电动势一定会产生反向制动电流,即可使摩擦焊电机快速进入减速制动状态。此时摩擦焊电机将进入快速能量消耗以达到制动状态,此时摩擦焊电机中转子所具有的负载储存的电机机械能转变成电机转子的电能让外加电阻消耗掉,以达到快速停转的制动状态。如下列出电机制动中电磁转矩 T_e 和电机快速制动的负载转矩 T_L 下摩擦焊电机制动状态下转速机械运动方程:

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_L, \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

式中：J—摩擦焊机传动系统转动惯量；D—摩擦焊机中电机粘滞系数； ω —摩擦焊机中电机角速度。摩擦焊电机在电机电磁转矩和负载转矩同步响应下进行做恒加速度减速运行，进而使摩擦焊接电机转子速度迅速下降^[3]。

2 摩擦焊机制动方法及时机选择

利用焊机快速制动来对钢结构摩擦焊接进行控制，摩擦焊电机测速装置当检测到焊机中电机主轴高速旋转装置主轴转速为 ω_k 时，电机中携带位置检测器检测到摩擦焊电机主轴装置中设定的转速位置坐标或者给定的高速运转监测点时，摩擦焊机中的变频器装置就会发出焊机中电机主轴减速信号，摩擦焊电机此时就会进入电机主轴快速制动过程^[4]。

2.1 摩擦焊机利用Matlab仿真进行分析与结果对比

表1 设定重要时间参数

转速	90	95	100	105	110	115	120
摩擦时间(s)	102	99	96	93	90	87	84
制动时间(s)	1.1	1.1	1.3	1.3	1.6	1.6	2
转速	125	130	135	140	145	150	155
摩擦时间(s)	81	78	75	72	69	66	63
制动时间(s)	2	2.2	2.3	2.5	2.7	2.7	2.9

图1是在设定条件下所得出的模拟结果。

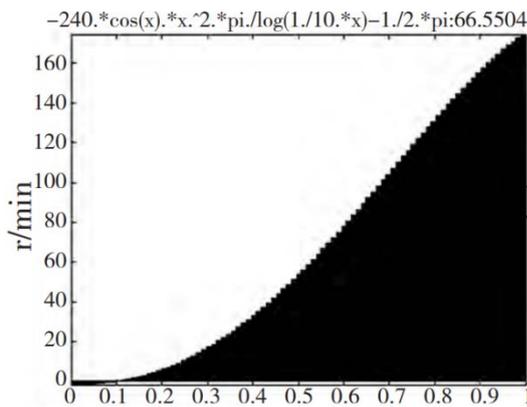


图1 在设定条件模拟快速制动图

设定摩擦焊机转动惯量、摩擦焊机预顶端力、焊接金属之间的粘滞系数、摩擦焊机摩擦转速以及摩擦焊机制动时间等参数的情况下，通过对摩擦焊机快速制动模拟分析可知，钢结构摩擦焊接满足位置点以及焊接强度要求。

通过转速设定作为重要的敏感参数来对快速制动的控制位置进行模拟，从以上模拟图进行分析可知，在考虑相应的真实环

境下的参数时，模拟快速制动的控制位置误差量也接近真实的快速制动的控制位置误差值，而且涉及到现实环境中的参数越多，系统模拟的快速制动的控制位置误差值越能接近我们所需要的精度误差值。从仿真的结果可以看出，基于快速制动的控制位置控制系统的再生制动控制方法能够有效的控制摩擦焊接工件的精度误差，而且能够稳定的焊接工件。从本质上来说，再生快速制动的控制位置控制属于连续耦合的快速制动的控制位置控制方法，系统的快速制动的控制位置误差是对大功率快速制动的控制位置变换的获取与发送端的快速制动的控制位置差和连续耦合信号差以对快速制动位置控制系统进行误差调整。另外，从仿真的结果可以看出，速度参数的控制对整个快速制动控制系统的重要性得到证实，也就是输入合适的速度参数，整个快速制动位置摩擦焊接工件的误差就能得到很好的控制。

3 模拟控制过程参数分析

摩擦焊接过程中的动力源是通过变频器施加给电机的电流，通过能量变换转换成摩擦焊接过程中所需要的扭矩，通过对摩擦扭矩图的分析可以得知具体的转速。由于启动焊机需要很大的扭矩，开始扭矩比较大，随后锐减，随着摩擦的进行，扭矩逐渐减弱。而后焊接速度随着摩擦需要急剧增大，所以在摩擦焊接过程中大概在6秒时出现扭矩急剧增大，当速度增大到设定值时，摩擦扭矩恢复到之前的扭矩，使摩擦夹具体维持在一定转速运行，并且持续一段时间，随后进行快速制动的控制位置定位。

摩擦焊接过程中的扭矩变化直接影响到焊接转速的变化，相应地，在转速及扭矩突变的情况下，摩擦焊接转速也有相应的急变，到达最大转速后，转速逐渐减小。

摩擦焊接过程中的顶锻压力变化情况是在摩擦焊接结束后，顶锻压力急剧增大，如下图2，这时两接触面之间的分子运动剧烈，实现分子间的渗透，以保证两工件之间的焊接质量，进而达到焊接所要求的强度。

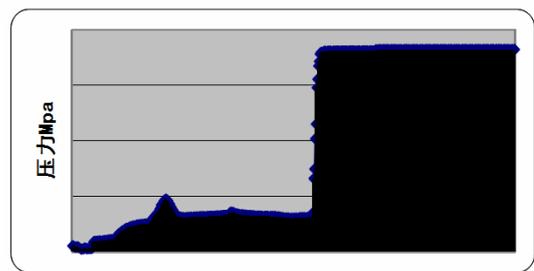


图2 顶锻压力

从图中的顶锻压力可以看出，开始时顶锻压力比较小，说明这时的压力是摩擦焊接时的预顶锻压力，随之摩擦焊接的继续顶锻压力不断地增加而后又降低，是由于开始摩擦时的强度大，经过一段时间摩擦温度上升钢结构件出现熔融状态。最后，当焊接结束时，温度下降的过程中，顶锻压力急剧增大以保证焊接质量。

4 实验验证

以240mm低碳强度钢构件和135x135mm²为实验材料，电机参

数为: 额定转速 $N_M=36.15\text{rad/s}$, 额定电流 $I_N=705\text{A}$, 额定功率为 730kW , 绕组电阻 $R=93.25\ \Omega$, 绕组电感 $L=101\text{mH}$, 转动惯量 $J=GD^2/6g=18.72\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^2$, 极对数 $p=6$, 制动前电机转速 135r/min 。采用表1所用的技术参数设置在连续驱动

YPTZ4501-4摩擦焊机上焊接, 焊接后如下图3所示。



图3 摩擦焊机实验平台及实验结果

当其他参数设置条件不变情况下, 变更摩擦焊机电机的响应转速及摩擦焊机响应的摩擦时间来测定摩擦焊机焊接后的强度误差。由于摩擦时间的影响比较小, 主轴转速是对摩擦焊机强度误差主要的影响, 转速越小, 摩擦焊机快速制动强度误差越容易控制, 而随着转速的增加, 焊接件的摩擦焊机强度误差逐渐变大直至趋于稳定。

通过以上模拟及实验值知, 预顶端压力、转速、摩擦时间、制动时间及顶端时间等参数设定后, 通过改变电机的转速, 来对摩擦焊机快速制动强度误差进行控制, 通过对比分析, 当其他参数满足焊接要求, 电动机转速接近 $\omega_k=125\text{r/min}$ 时, 此时摩擦焊机快速制动强度误差接近设置的强度符合要求, 且焊接件温度、

强度都符合大功率摩擦焊机控制要求。

5 结论

快速制动在刹车制动的过程中产生电能^[5], 这部分再生能量通过摩擦焊机外加电阻给消耗掉, 从而使电机转子快速精确制动, 进而可以在钢结构焊接中提高效率。通过设定转速、摩擦制动时间、预顶端压力、顶端时间、摩擦时间、摩擦顶端压力等参数, 对模拟数据分析及大功率摩擦焊机实验可知, 其中转速是影响快速制动强度误差最主要的参数, 改变转速来对快速制动强度误差做实验, 当转速接近 $\omega_k=125\text{r/min}$ 时, 大功率摩擦焊机快速制动强度误差在5%范围内, 达到了摩擦焊机在快速制动控制大功率摩擦焊机强度误差要求。通过摩擦焊机强度误差的控制, 进而可以保证摩擦焊机在钢结构的部件焊接中保证构件的强度要求。

[参考文献]

- [1] 闻邦椿, 赵春雨, 苏东海, 等. 机械系统的振动同步与控制同步[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 6.
- [2] 朱野, 王旭永, 陶剑锋, 等. 实时控制系统平台XPC与LabVIEW接口分析及应用[J]. 机械工程与自动化, 2007, 6(3): 50-52.
- [3] 王希靖, 商献伟, 张昌青. 大截面/铝摩擦焊接头力学性能及显微组织分析[J]. 热加工工艺, 2010, 12(3): 13-16.
- [4] 陈坚. 交流电动机数学模型及调速系统[M]. 北京: 国防出版社, 1988, 5.
- [5] 邵成吉, 杜坤, 吴卫枫. 相位摩擦焊相位控制装置的研究[J]. 焊接技术, 2005, 10(4): 125-127.

作者简介:

赵士杰(1986--), 汉族, 河南省柘城县人, 硕士, 研究方向: 桥梁钢结构。