

高压 TIG 焊钨极的失效分析

王中辉^{1, 2*}, 蒋力培², 焦向东², 周灿丰², 吕 涛²

(1. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100083; 2. 北京石油化工学院机械工程系, 北京 102617)

摘要: 建立了高压焊接模拟试验装置, 该模拟装置主要有高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱、高压气体管路系统、全位置自动焊机、焊接过程高速摄像系统、舱内场景与焊接过程监控系统 and 高压环境气体测控系统七部分组成。在模拟试验舱中进行了高压 TIG 焊试验, 分析了影响高压焊接钨极失效的因素, 建立了高压 TIG 焊钨极失效的故障树, 对故障树进行了定性和定量分析, 找出它的最小割集, 计算出事件的结构重要度系数。在此基础上, 提出了防止钨极失效的措施。

关键词: 高压; 钨极; 故障树; 失效

中图分类号: TG444.74 文献标识码: A 文章编号: 1000-4343(2005)-0185-04

TIG 焊是高压干法水下焊接首选的焊接方法, 高压干法焊接与常规焊接相比, 是具有重大差别的严酷条件下的焊接, 焊接水深或环境压力对焊接质量的影响不容忽视。TIG 焊的主要问题是电极的电弧烧蚀, 高压下尤为严重。钨电极本应作为非消耗阴极, 然而, 由于汽化和飞溅, 在焊接过程中电极要损耗。这些损耗引起电弧和焊缝的改变。因此, 研究阴极损耗是非常重要的。本文建立了一套高压焊接模拟系统, 对高压环境下 TIG 焊进行了研究, 重点对钨阴极进行了故障树分析, 找出钨极失效的原因, 提出了防止钨极失效的措施。

1 试验装置和材料

1.1 试验装置

图 1 为高压焊接模拟实验装置示意图, 图 2 为高压焊接模拟实验装置。主要有高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱、高压气体管路系统、全位置自动焊机、焊接过程高速摄像系统、舱内场景与焊接过程监控系统 and 高压环境气体测控系统七部分组成。高压气体管路系统首先为高压环境气体调配储罐配备空气与其他气体的混合气体, 然后将该混合气体输送到高压焊接试验舱, 全位置

自动焊机在高压焊接试验舱中进行工件的全位置焊接。焊接过程高速摄像系统对焊接电弧进行高速摄像, 舱内场景与焊接过程监控系统对舱内场景与焊接过程进行实时监控, 高压环境气体测控系统完成气体输送过程的自动控制以及高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱的气体环境参数的实时采样与监控。

高压环境气体调配储罐设计压力 4.85 MPa、最高工作压力 4.4 MPa、容积 5.5 m³; 高压焊接试验舱设计压力 1.5 MPa、最高工作压力 1.0 MPa、容积 5.5 m³; 采用 CPLMS1000 25 K CCD&CMOS 高速数字摄像机, 最大可达 25000 帧; 全位置自动焊机采用哈尔滨中天公司生产的 QWZH 315 型全位置自动焊机。该焊机控制精度高, 可实现全位置焊接。

1.2 试验所用的材料

母材采用 16MnR 钢板, 尺寸 510 mm @100 mm @10 mm。其化学成分及力学性能分别见表 1 和 2。

电极采用钨钨极, 钨钨极具有发射电流大、抗烧蚀性能好, 无污染的特点。20 世纪 80 年代后期, 首先由日本东邦金属株式会社推出钨钨电极产品。研究表明钨钨电极具有最突出的使用性能。首先,

* 通讯联系人 (E-mail: wangzhonghui@bupt.edu.cn)

收稿日期: 2005-05-15; 修订日期: 2005-06-21

基金项目: 国家 863 基金资助项目 (2002AA602012); 北京市自然科学基金暨北京市教育委员会科技发展计划重点资助项目 (Z200410017008)

作者简介: 王中辉 (1968-), 男, 山东泰安人, 博士研究生

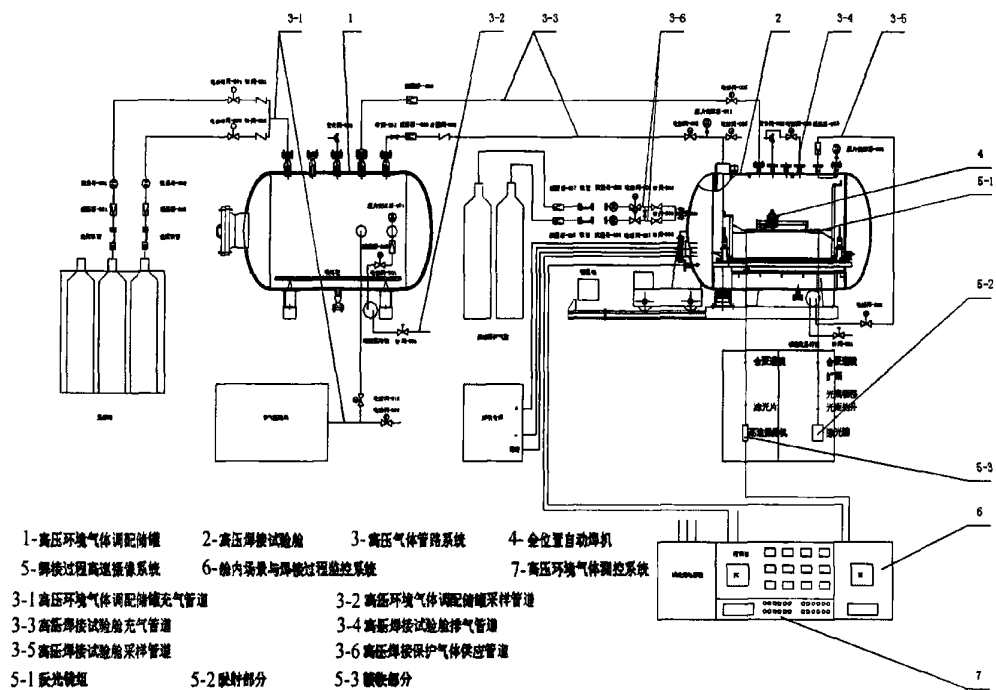


图1 高压焊接模拟实验装置示意图

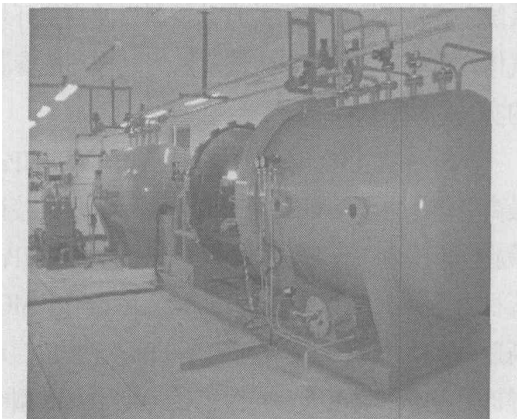


图2 高压焊接模拟实验装置

表1 16MnR 钢板化学成分(%，质量分数)

C	Mn	P	Si	S
[0. 20	1. 20~ 1. 60	[0. 035	0. 20~ 0. 60	[0. 035

表2 16MnR 钢板力学性能

抗拉强度PMPa	屈服强度PMPa	延伸率P%	冲击功PJ
510~ 655	\ 345	\ 21	\ 27(横向)

其引弧电压值最小，具有最佳引弧性能；其次，在燃弧较长时间时，钨钨电极保持尖端形状的时间最长，对烧损的抵抗力最大，而且钨钨电极的工作温度低，其电子发射本领最高。另外，认为添加 2% (质量分数) 稀土氧化物的电极具有可加工性^[1]。

2 钨极失效的故障树分析

2.1 钨极失效的故障树建立

由于故障树分析法具有直观、形象、灵活、多用的特点，所以，特别适合于复杂的动态系统的可靠性分析中，目前，故障树分析法已被公认为是可靠性、安全性分析的一种简单、有效、很有发展前途的方法。钨极失效是多种因素综合影响的总体反映，以往采用单因素的分析方法已不能从本质上解决问题，把电源控制箱、焊接机头、导环、高压环境气体作为一个整体系统，用故障树分析法对钨极进行失效分析就显得特别重要。通过对钨极失效的故障树分析，找出钨极失效的主要因素、次要因素，从而提出有针对性的深入研究途径和改进措施。

钨极失效的故障树如图 3 所示。本故障树是在控制系统正常的情况下建立的，主要考虑工艺方面的因素。

2.2 钨极失效故障树的定性和定量分析

对故障树进行定性分析的主要目的是为了找出它的最小割集，也即弄清造成电弧稳定性破坏有多少种可能性，求最小割集的方法很多，这里应用下行法，即从上而对故障树进行分解，通过布尔代数求出其全部割集，再找出最小割集。

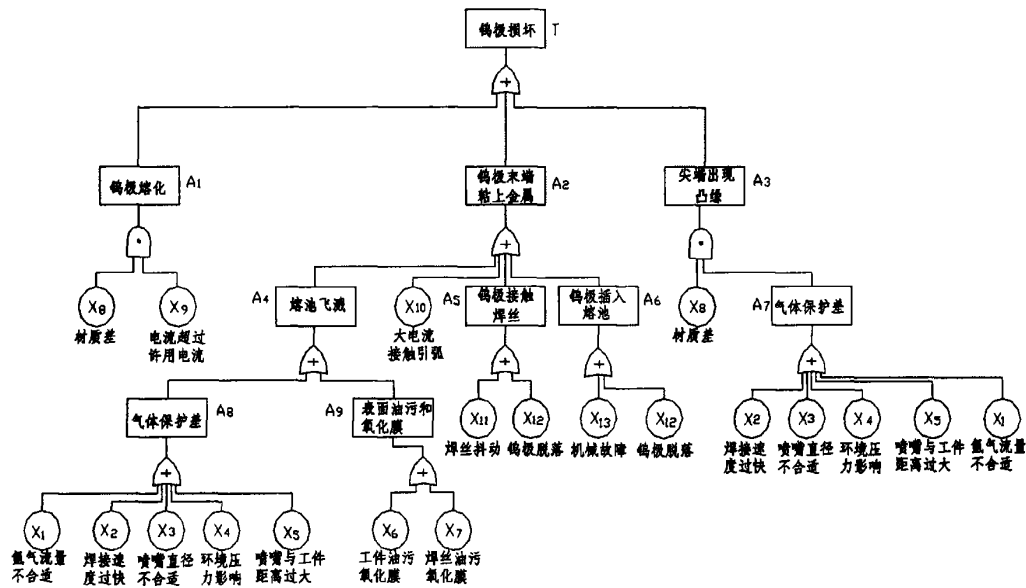


图3 钨极失效的故障树

$T = A_1 + A_2 + A_3$

$A_1 = X_8 X_9$

$A_2 = A_4 + X_{10} + A_5 + A_6$

$A_3 = X_8 A_7$

$A_4 = A_8 + A_7$

$A_5 = X_{11} + X_{12}$

$A_6 = X_{13} + X_{12}$

$A_7 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$

$A_8 = X_6 + X_7$

整理得:

$T = A_1 + A_2 + A_3 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_8 X_9$

这样,得到高压下钨极失效故障树的所有最小割集,分别是:

$k_1 = (X_1), k_2 = (X_2), k_3 = (X_3), k_4 = (X_4), k_5 = (X_5), k_6 = (X_6), k_7 = (X_7), k_8 = (X_{10}), k_9 = (X_{11}), k_{10} = (X_{12}), k_{11} = (X_{13}), k_{12} = (X_8, X_9)$

由以上分析知,一事件最小割集 11 个,二事件最小割集有 1 个。

定量分析主要是进行结构重要度分析,即从故障树结构上分析各基本事件的重要程度,也就是说分析各基本事件的发生对顶事件发生的影响程度。用上述求得的最小割集,利用下式求得各基本事件的结构重要度系数。

- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
- (5)
- (6)
- (7)
- (8)
- (9)

$I_U(i) = 1 - \prod_{i \in k_j} (1 - \frac{1}{2^{(n_j - 1)}})$

式中 $I_U(i)$ 为第 i 个基本事件的结构重要度系数;
 k_j 为第 j 个最小割集; $n_j(j \in k_j)$ 为基本事件 i 位于 k_j 的基本事件数; n_j 为第 i 个基本事件所在 k_j 中各基本事件总数减去 1; $x_i \in k_j$ 为第 i 个基本事件属于第 j 个最小割集;

$I_U(1) = I_U(2) = I_U(3) = I_U(4) = I_U(5) = I_U(6)$
 $= I_U(7) = I_U(10) = I_U(11) = I_U(12) = I_U(13)$
 $= 1$
 $I_U(8) = I_U(9) = 0.5$

由计算知, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}$ 事件的结构重要度系数都是 1, 也就是说, 它们中只要有一个事件发生, 就导致钨极破坏。 X_8 和 X_9 事件的结构重要度系数都是 0.5。

2.3 结果讨论

X_1, X_2, X_3, X_4 和 X_5 都属于气体保护方面的因素, 由此可以看出, TIG 焊时, 氩气保护是相当重要的。采用纯度高的氩气, 选择合适的喷嘴直径及气体流量, 可以保证氩气的保护效果。高压环境下, 还要考虑环境压力对保护气体(氩气)的影响, 采取的措施是要保证氩气的压力大于环境空气的压力。

X_6 和 X_7 属于焊前准备的因素, TIG 焊对工件或焊丝表面油污、氧化膜特别敏感, 如果表面存在

油污、氧化膜等,电弧或者不能引起来,或者电弧不能稳定燃烧,加快钨极的烧损。因此,焊前必须对焊件的接头附近及焊丝表面进行清理,去除金属表面的氧化膜、湿气、污垢、油脂等杂物,以保证引弧及电弧稳定燃烧。清理的方法大致有机械、化学等几种^[2],根据材料选用。

x_{10} 属于接触引弧的因素,TIG 焊的引弧方式有两种:接触引弧和高频引弧。因高频引弧对电路有干扰,所以采用接触引弧。钨极接触工件时,在接触面积很小的情况下,电流密度相当大,容易引起钨极烧损,这是不可避免的,唯一解决的办法是在保证引弧的情况下,尽量采用小的电流。

x_{11} , x_{12} , x_{13} 属于机械方面的故障,焊前一定要检查钨极是否夹紧,送丝是否通畅,工件安装是否到位,如果做不好,这些都会影响焊接的进程。

x_8 和 x_9 属于导致钨极熔化的因素,本试验选用钨钍极,它具有发射电流大、抗烧蚀性能好,无污染的特点。另外,电流不要超过它的须用电流,否则,钨极将熔化、蒸发。

3 结 论

设计了高压环境下的 TIG 焊试验装置,该装置主要有高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱、高压气体管路系统、全位置自动焊机、焊接过程高速摄像系统、舱内场景与焊接过程监控系统 and 高压环境气体测控系统七部分组成。

高压下影响钨极失效的因素有多种,包括工件表面状态、保护气体效果、钨极烧蚀等因素。建立了高压钨极失效的故障树,对故障树进行了定性和定量分析,找出它的最小割集,计算出事件的结构重要度系数。在此基础上,提出了防止钨极失效的措施。

参考文献:

- [1] 陈文革,丁秉均,张 晖. W-La₂O₃ 电极材料的研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2002, 25(4): 55.
- [2] 殷树言. 气体保护焊技术问答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004. 58.

Tungsten Failure Analysis of TIG Welding under High Pressure Condition

Wang Zhonghui^{1,2*}, Jiang Lipei², Jiao Xiangdong², Zhou Canfeng², L Tao²(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract: The high pressure welding simulative examination equipment was fabricated. It is composed of high pressure environment gas preparing tank, high pressure welding habitat, high pressure gas pipeline system, all position automatic welding machine, high speed photographing system of welding process, watch system to the scene in the habitat and welding process, and measuring and controlling system to the high pressure environment gas. The TIG examination

Key words: high pressure; tungsten; fault tree; failure

was done in the high pressure simulative examination equipment. The factors that influence tungsten failure were analyzed, and then a fault tree of tungsten failure was constructed. Through qualitative and quantitative analysis to the fault tree to find its minimal cutset, the events structure significance degree coefficients were calculated, based on which measures of preventing tungsten failure were pointed out.