

## 焊接螺柱断裂原因分析

申志清 姜成利

通标标准技术服务(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000

**[摘要]** 某列车下变压器焊接螺柱出现早期断裂。采用宏观检验、化学成分分析、硬度分析、金相组织分析及扫描电镜等方法, 对焊接螺柱断裂的原因进行了分析。结果表明: 该焊接螺柱断裂原因是外表面存在焊接热裂纹及对中不良; 对中不良造成焊接螺柱产生弯曲应力, 在应力作用下造成焊接螺柱沿着焊接热裂纹处产生急速开裂。

**[关键词]** 焊接螺柱; 热裂纹; 偏焊

DOI: 10.33142/aem.v2i5.2118

中图分类号: TG115.57

文献标识码: A

## Fracture Causes Analysis of Welding Stud

SHEN Zhiqing, JIANG Chengli

SGS Qingdao Branch, Qingdao, Shandong, 266000, China

**Abstract:** The welding stud of transformer under a train was fractured early. The fracture reason of welding stud was analyzed by means of macroscopic examination, chemical composition analysis, hardness analysis, metallographic organization analysis and scanning electron microscope. The results show that: the fracture reason of the welding stud is that there are welding hot cracks and poor alignment on the outer surface; the bad alignment causes the bending stress of the welding stud, and under the stress, the welding stud produces rapid cracking along the welding hot crack.

**Keywords:** welding stud; hot crack; partial welding

某列车变压器下部固定用焊接螺柱在运行约 1 年时间后, 在例行检查时发生有 1 个螺柱出现断裂, 螺柱规格螺杆 ISO13918-M10x35-A2, 表面镀铬, 采用 COCO 焊机实现螺柱焊接, 并且通过带瓷环保护的螺柱焊接方式焊接在 Q345E 钢板上, 无热处理。为了查明该起螺柱断裂事故发生的原因, 笔者对其进行了理化检验和分析。

### 1 理化检验

#### 1.1 断口宏观分析

螺柱的宏观形貌如图 1 所示, 断面颜色较深, 为了便于观察分别在断口上标记 A、B、C 和 D, 采用扫描电镜对断口的微观形貌进行分析。由图 2 可知, 螺柱的裂纹源位于左下区域(见图 2 中黄色箭头区域), 由图 4~图 6 可知, 裂纹源区域存在液固转变时形成的枝晶形貌, 因此裂纹源存在焊接热裂纹缺陷; 由图 7~图 9 可知, A、B 和 C 区域裂纹呈现沿晶断裂+解理断裂形貌, 由图 10~图 11 可知, D 裂纹源区域存在液固转变时形成的枝晶形貌, 因此裂纹源存在焊接热裂纹缺陷<sup>[1-2]</sup>。



图 1 失效螺柱宏观形貌

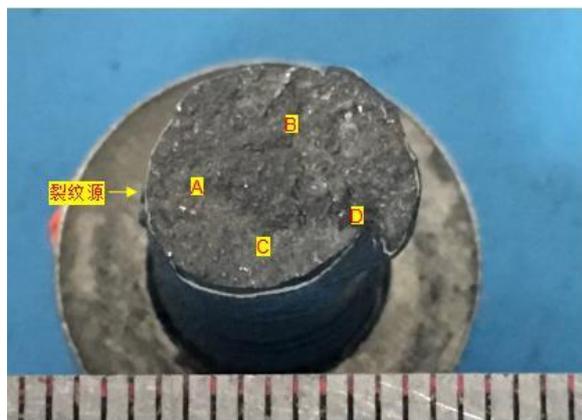


图 2 断口宏观形貌

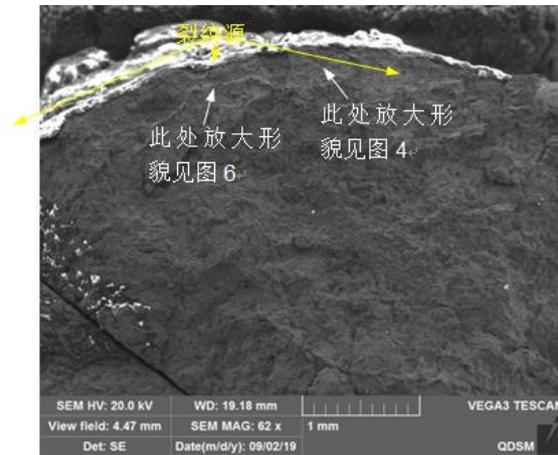


图3 裂纹源处扫描电镜形貌

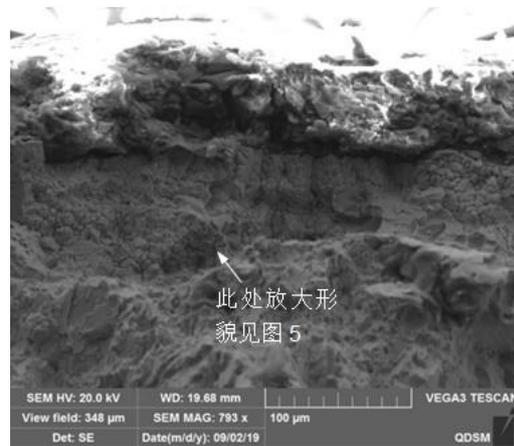


图4 图3中指定位置扫描电镜形貌

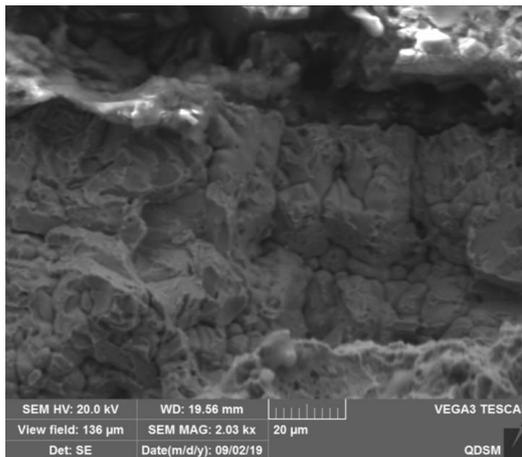


图5 图4中指定位置扫描电镜放大形貌, 断面存在液固转变时形成的枝晶形貌

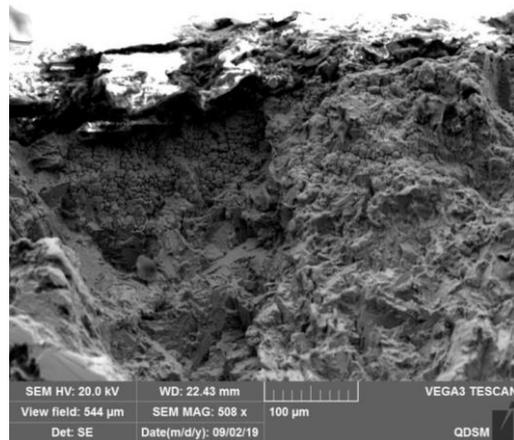


图6 图3中指定位置扫描电镜形貌, 断面存在液固转变时形成的枝晶形貌

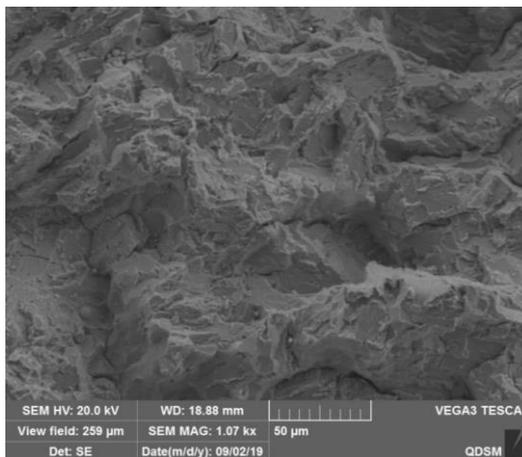


图7 图2中指定位置A处扫描电镜形貌, 断面呈现沿晶断裂+解理断裂形貌

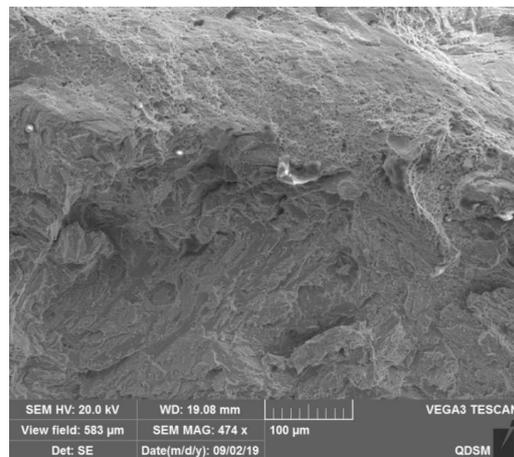


图8 图2中指定位置B处扫描电镜形貌, 断面呈现韧窝+解理断裂形貌

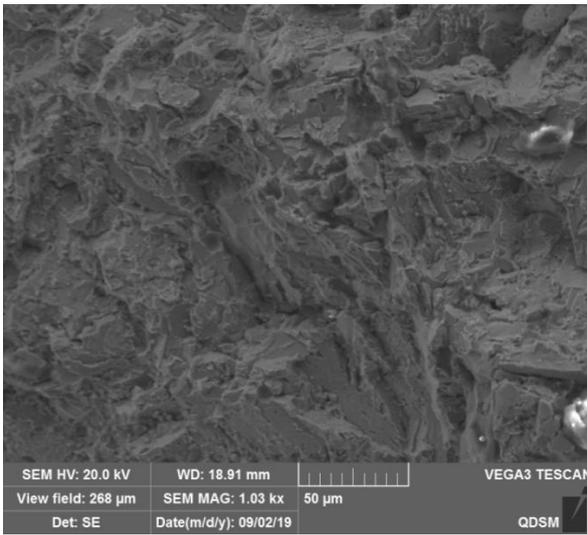


图9 图2中指定位置C处扫描电镜形貌，断面呈现沿晶断裂+解理断裂形貌

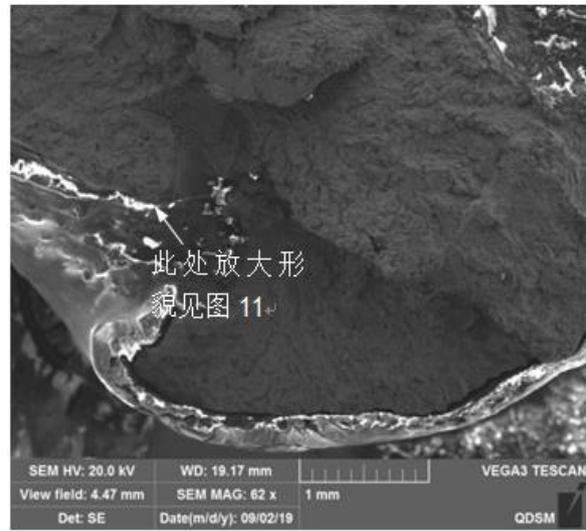


图10 图2中指定位置D处扫描电镜形貌

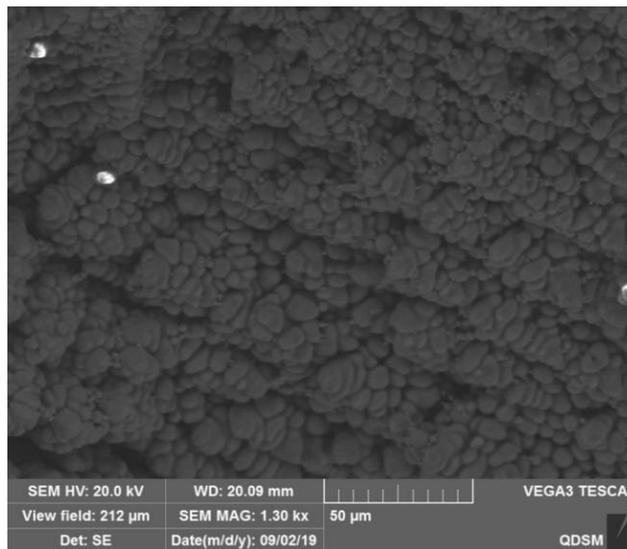


图11 图10中指定位置处扫描电镜放大形貌，断面存在液固转变时形成的枝晶形貌

### 1.2 化学成分分析

从螺柱上截取分析样品，按照 GB/T 11170-2008 对其化学成分进行分析，分析结果见表 1

表 1 化学成分分析结果（质量分数）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
要求, wt%	≤0.10	≤1	≤2	≤0.05	≤0.03	15~20	8~19	≤4
结果-X025, wt%	0.02	<1	2	0.03	<0.01	18	8	3

注：测试结果符合 ISO 3506-1:2009 中级别 A2 的要求。

### 1.3 焊接宏观分析

从样品焊接位置取样，经镶嵌研磨抛光后参照 ISO 17639:2003 对其进行分析，分析结果见表 2 和图 11。由图 11

可知，焊缝存在明显的对中不良现象。

表 1 样品宏观形貌

试样	裂纹(mm)	单个气孔(mm)	固体夹杂物(mm)	未熔合 (mm)	未焊透 (mm)
试样	无	无	0.07	无	无

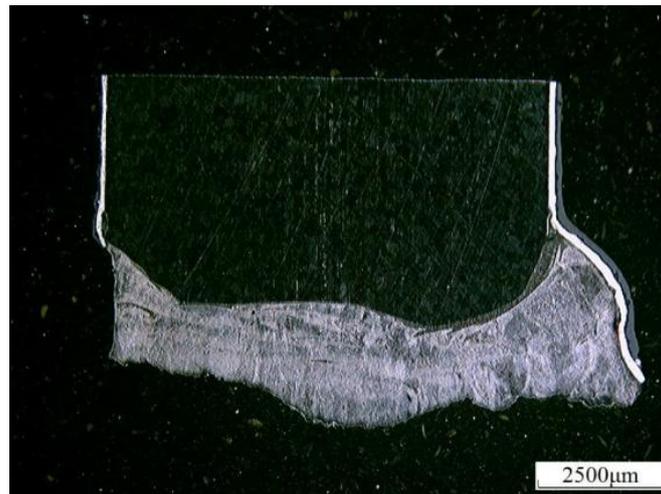


图 11 样品宏观形貌 8x

## 2 讨论及分析

失效螺柱的化学成分符合标准要求即材质无异常。由宏观形貌可知螺柱焊接过程中没有明显的对中，这一程度上会造成螺柱存在弯曲应力。螺柱断口的宏观形貌显示裂纹源区域存在液固转变时形成的枝晶形貌，考虑到螺柱使用环境不会存在高温，所以可以断定枝晶形貌是焊接过程中所形成，即螺柱焊接过程异常从而造成在裂纹源存在焊接热裂纹缺陷。裂纹扩展时形貌主要呈现沿晶断裂+解理断裂形貌，解理断裂形貌为过载脆性断裂形貌，这也证明焊接后焊缝晶界强度有一定程度的弱化。

综合上述分析可知，螺柱在裂纹源处存在焊接热裂纹，而且螺柱和焊缝存在不对中现象，这些综合因素将造成螺柱在使用过程中沿着薄弱的热裂纹处产生开裂，随着裂纹的扩展，最终造成螺柱断裂。

## 3 结论

焊接热裂纹及螺柱和焊缝不对中是造成螺柱早期断裂的主要原因。

### [参考文献]

- [1]王荣. 机械装备的失效分析(待续)第1讲现场勘探技术[J]. 理化检验-物理分册, 2016, 52(6): 361-369.
  - [2]王荣. 机械装备的失效分析(续前)第3讲断口分析技术(上)[J]. 理化检验-物理分册, 2016, 52(10): 698-704.
- 作者简介: 申志清(1984-), 男, 山东大学, 硕士, 材料科学与工程, 目前就职于通标标准技术服务(青岛)有限公司, 技术主管, 5年, 中级工程师。