

# 等离子气刨技术在工程机械结构件制造中的应用研究

李德明 吴 月

**【摘要】** 本文首先介绍了结构件焊接常见的缺陷类型，以及目前工程机械领域结构件焊接缺陷解决方案，描述了常用的碳弧气刨技术的应用特点和其无法弥补的缺点；其次通过对比试验重点阐述了等离子气刨的技术特点和适用性，并在山推系列产品上的应用试验，突出其优越性，为在工程机械领域应用打好了技术基础。

**关键词：** 焊接缺陷；碳弧气刨；等离子气刨；应用研究

## 1. 概述

焊接在工程机械结构件制造中应用广泛，无论是CO<sub>2</sub>气体保护焊还是混合气体焊接等焊接方法，总会出现部分焊接缺陷，如未熔合、未焊透、气孔、裂纹、夹渣或外观质量问题。根据焊缝设计和质量等级要求有些是不允许存在的，需要采取清根焊补等返修措施确保焊缝质量。目前主要采取碳弧气刨、氧燃料气刨、打磨和破碎锤等工艺手段进行焊接缺陷的清理。通过清理焊接坡口进行焊补，确保焊接质量，目前大多数工程机械厂家均采取碳弧气刨实施。

## 2. 碳弧气刨技术应用

(1) 工作原理 在焊接生产中，碳弧气刨相比其他工艺措施有较大优越性，因此广泛用来刨槽、消除焊缝缺陷和背面清根。其工艺原理为使用碳棒或石墨棒

作电极，与工件间产生电弧，将金属熔化，并用压缩空气将熔化金属吹除的一种表面加工沟槽的方法。其主要工作原理和设备如图1所示。

(2) 应用特点 碳弧气刨使用过程中对电流的要求较大，一般采取具有陡降外特性且动特性较好的大功率直流电源，交流电源因其电流过零点时间长会引起电弧的不稳定，其主要应用特点：①手工碳弧气刨时，灵活性很大，可进行全位置操作，可达性好，非常简便。②清除焊缝的

缺陷时，在电弧下可清楚地观察到缺陷的形状和深度。③效率高，用自动碳弧气刨时，具有较高的精度，可减轻劳动强度。

但碳弧气刨也有明显的缺点：如碳弧有较大的烟雾、粉尘污染、噪声较大和弧光辐射，对操作者的技术要求高，热输入值较高，如图2所示。此外，操作不当容易引起焊道处增碳，对后续补焊十分不利，需要砂轮修磨处理。近年来，虽然也研制成功交流方波电源，尤其是动特性和控制性能优良的逆变式交流方波

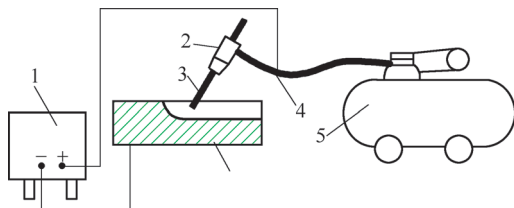


图1 碳弧气刨示意

1.电源 2.气刨枪 3.碳棒 4.电缆气管 5.压缩空气



图2 碳弧气刨现场

电源，但上述明显的不足也很难弥补。

### 3. 等离子气刨工艺研究

随着精细等离子在焊切领域的应用越来越广泛，它是利用高温在喷嘴处喷射出来的高速气流离子化，从而形成导电体。当电流通过时，该气体即形成高温等离子电弧，电弧的热量使工件切口处的金属局部熔化（和蒸发），并借助高速等离子气流的动力排除熔融金属以形成切口的一种加工方法。它利用环形气流技术形成的细长并稳定的等离子电弧，保证了能够平稳且经济地切割任何导电的金属，并具有切割精度高，切割速度快的优势。

近年来，越来越多的焊切设备厂家研究利用高能等离子来清理焊接缺陷，即等离子气刨工艺技术。采用等离子气刨清除缺陷时，只需要70A以上较低的电源，割炬和刨嘴即可实现等离子气刨，并且刨削倾角调整范围广，如图3所示。

通过大量的工艺试验，确定在气体压力、刨枪距工件工作面距离一定的情况下，对沟槽形状、尺寸和效率的影响，具体如表1所示。通过分析，在 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 倾角范围内刨削效率

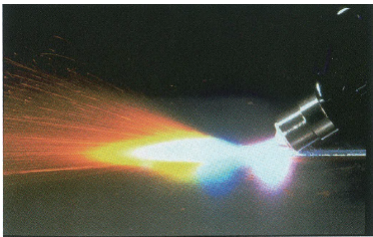


图3 等离子刨削示意

最高。

### 4. 等离子气刨的应用及对比

为了研究等离子刨削的先进性，我们分别采取某国际知名品牌的1000A碳弧气刨机和150A等离子气刨机进行对比试验。试验条件为：碳弧气刨采取8mm碳棒，等离子气刨气体采用普通压缩空气，试验材料采用推土机主机架关键焊缝（见图4），主要

材质为Q460C低合金高强度钢板。

（1）刨削沟槽质量对比 针对两台同位置的焊接缺陷采取碳弧气刨（已修磨）和等离子气刨后，外观质量如图5所示。分析表明：本次试验碳弧气刨速度为 $0.6 \sim 0.8 \text{ m/min}$ ，焊缝刨削质量较差，且沟槽较宽对母材影响较大，刨削速度对刨槽尺寸和表面质量都有一定的影响。刨削速度太快会造成碳棒与金属相碰，使碳粘在刨槽的顶端，形成所谓“夹碳”的缺陷，必须经过砂轮修磨后的方可进行焊接。刨槽表面有厚度为 $0.54 \sim 0.72 \text{ mm}$ 的硬化层，硬化层是因处于高温的表层金属被急冷后而造成的，而不是渗碳的结果，并随工艺参数的变化而变化，但最深 $\leq 1.0 \text{ mm}$ 。采

表1 刨削倾角变化影响对比

| 沟槽形状                                      |  |  |  |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 速度/ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$     | 610                                                                                 | 1220                                                                                  | 610                                                                                   |
| 枪倾角/ $^{\circ}$                           | 30                                                                                  | 60                                                                                    | 0                                                                                     |
| 距工件距离/mm                                  | 3.2                                                                                 | 3.2                                                                                   | 3.2                                                                                   |
| 气体压力/MPa                                  | 0.34                                                                                | 0.34                                                                                  | 0.34                                                                                  |
| 刨槽宽度/mm                                   | 7.6                                                                                 | 6.6                                                                                   | 5.3                                                                                   |
| 刨槽深度/mm                                   | 6.3                                                                                 | 3.4                                                                                   | 5.5                                                                                   |
| 刨槽面积/ $\text{mm}^2$                       | 25.81                                                                               | 9.68                                                                                  | 14.19                                                                                 |
| 去除速率/ $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ | 15731.5                                                                             | 11798                                                                                 | 8685                                                                                  |

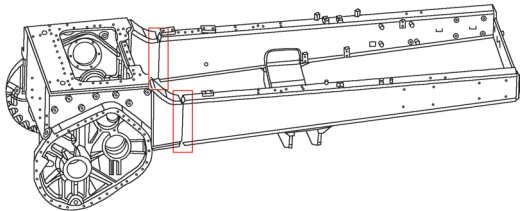


图4 试验工件及焊缝位置示意

用150A等离子气刨机，气刨速度为1.5m/min，刨削沟槽质量好，尺寸规则，且很少或基本上不需要打磨，同时无碳层；若采取氮气或氩气/氢气（H35）等介质保护实施屏蔽了空气，金属珠与空气不发生反应，可以留下一层氮化物，有助于进一步焊接。

（2）烟雾发尘量对比 考虑到刨削现场产生强弧光和大量烟尘，要求刨削操作人员必须穿戴防护，尤其是防护面罩。然后针对两种刨削方式进行防护罩内、工作区以及工作区外（2m）分别收集发尘量并进行检测对比，同时针对工作区刨削沟槽产生区附近进行发尘量的采集对比，结果如图6、7所示。

通过刨削烟雾和发尘量数据的收集进行分析，可以得出如下结论：①烟尘量浓度由高到低依次为：工作区、工作区外、防护罩内。②刨削产生区的烟尘量由高到低依次为熔化区、过渡区、母材区。③单位发尘量：等离子气刨发尘量远远低于碳弧气刨。

（3）成本效率对比 两种刨削设备负载持续率按分别为等离子40%、碳弧气刨20%，采取相应的刨削速度进行多批次工艺试验，得出综合使用成本如表2所示。由表2可以看出，等离子气刨较碳弧气刨无需碳棒电极，减少了消耗品损耗，使用综合成本较碳弧气刨低约50%；同时等离子气刨不剧烈，安全性高，没有潜在的火灾危险，噪声较小，同时拥有更快的气刨速度，在节约劳动力成本同时减少潜在缺陷，不需要专门配置除尘设备。

通过上述等离子气刨和碳弧

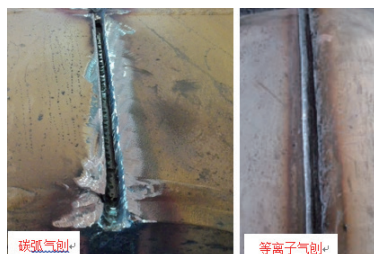


图5 刨削焊缝外观质量

示。

## 5. 等离子刨削技术应用展望

综上所述，等离子刨削技术在公司结构件焊接缺陷的清根处理中表现出了一系列优点，例如

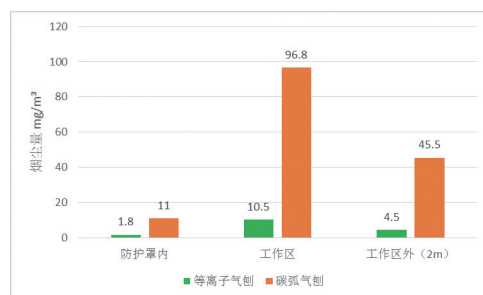


图6 发尘量数据对比1

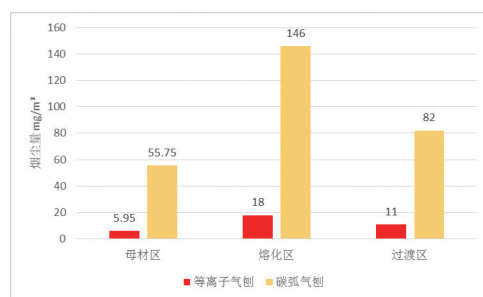


图7 刨削发尘量数据对比2

表 2

| 比较项目                       | 等离子气刨                            | 碳弧气刨  |
|----------------------------|----------------------------------|-------|
| 设备负载持续率 (%)                | 40                               | 20    |
| 气体                         | Ar (65%) + H <sub>2</sub> 35 (%) | 压缩空气  |
| 气体流量/L·min <sup>-1</sup>   | 132                              | 1700  |
| 清根速度/cm·min <sup>-1</sup>  | 2.5                              | 0.63  |
| 气体消耗成本/RMB·m <sup>-1</sup> | 32.12                            | 8.5   |
| 人工成本/RMB·m <sup>-1</sup>   | 6                                | 7.9   |
| 碳棒成本/RMB·m <sup>-1</sup>   | 0                                | 31.4  |
| 电能消耗/RMB·m <sup>-1</sup>   | 15                               | 54    |
| 单位使用成本/RMB·m <sup>-1</sup> | 53.12                            | 101.8 |

气刨在三个方面的对比试验分析，等离子刨削具有明显的使用优越性，同时针对焊接缺陷的工件修复的沟槽焊道无需进行二次打磨，形成的一层氮化物对后续的焊接起到了促进作用，确保焊缝返修的质量效果，如图8所



图8 工件焊缝修复效果



# 转台法兰环缝裂纹分析及修复方案

张晓刚

**【摘要】** 本文针对公司生产的某型号起重机转台Q960E法兰闭合焊缝裂纹进行研究, 分析裂纹产生的原因。通过制定科学的焊接修复方案, 改进了焊接工艺, 对该焊缝进行了修复。经过长期在风电现场的吊装作业, 经历了各种工况的验证, 现场人员跟踪检查, 该起重机转台法兰修复后的焊缝未出现开裂现象, 整车使用状态良好, 完成了多次风机吊装任务。实践验证了转台法兰环焊缝裂纹分析的准确性和修复方案的合理性。

**关键词:** 低碳调质钢; 延迟裂纹; 闭合焊缝; 拘束应力

## 1. 概述

我公司生产的某型号起重机, 转台结构底部焊接一环形法兰, 利用法兰加工面与回转支承定位, 实现转台与车架的装配。该环形法兰材质为Q960E, 尺寸为30mm × D2740/d2440。法兰内外环焊缝焊接后, 经过一段时间

自然时效, 环焊缝上出现分布密集的横向裂纹, 如图1所示。

## 2. 裂纹原因分析

(1) 裂纹理论分析 该裂纹不是焊后立即出现, 而是几天后才出现的, 开始时少量出现, 随着时间增长和焊缝的清磨、除渣过程逐渐增多, 最终环焊缝上



图1 环缝横向裂纹

创削沟槽质量好、形状规则、无需二次打磨处理等, 同时使用成本较低, 安全性高, 尤其创削弧光弱、噪声小、烟雾少深受广大一线操作人员喜爱, 更好地保护了操作者的身心健康。

随着国家对环保的逐步重视和工业生产面临的种种严苛的挑战, 越来越多的企业也开始注重选择环保类产品, 等离子气刨作为等离子切割技术衍生出的一种环保产品。在技术架构和应用性

等方面具备卓越性, 表现出明显的可操作性、可靠性、安全性和高效性等功能特性。等离子气刨优越的创削特性决定了今后的发展前景: 即在提高环保的同时也为用户解决了成本之忧, 必将被越来越多的企业所采用, 也会在工程机械领域中广泛应用, 逐步取代传统的清根、创槽技术。

## 参考文献:

[1] 丁强, 张自祥, 许荣平. 等离

子弧切割机在不锈钢气刨中的应用[J], 金属加工(热加工), 2015(20): 21-23.

[2] 刘立, 李爱国, 陈德善. 碳弧气刨电弧的稳定性及其对创削质量的影响[J], 沈阳工业大学学报, 1995(9): 26-29.

作者简介: 李德明等, 山推工程机械股份有限公司推土机技术部。

MW 20160922