

# Influence of Multiple Repair Welding on Microstructure and Properties of 30CrMnSi Steel Welded Joints

Lin Ma<sup>1</sup>, Xi Xiao<sup>2</sup>, Chun Xia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PLA Military Representative Office in 320 Factory, Nanchang Jiangxi

<sup>2</sup>Jiangxi Hongdu Aviation Industry Co., Ltd, Nanchang Jiangxi

<sup>3</sup>Nanchang Hangkong University, Nanchang Jiangxi

Email: xiachun2002@163.com

Received: Mar. 2<sup>nd</sup>, 2016; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2016; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In this paper, the influence of multiple repair welding on the microstructure and properties of 30CrMnSi steel welded joints was studied, and the continuous porosity in the weld center was taken as the representative. The results indicate that the grain coarsening in the complete quenching zone and tempering softening in the incomplete quenching zone occur, due to the repeated thermal effect of the multiple repair welding on the welded joints. As a result, the mechanical properties decrease, and the tensile strength of the welded joints for once, twice and three times repair welding decreases by 8.5%, 15% and 19.8% respectively, comparing with the non-repair welding.

## Keywords

30CrMnSi Steel, Multiple Repair Welding, Microstructure, Properties

---

# 多次补焊对30CrMnSi钢焊接接头组织与性能的影响

马林<sup>1</sup>, 肖熙<sup>2</sup>, 夏春<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国人民解放军驻320厂军代表室, 江西 南昌

<sup>2</sup>洪都航空工业集团有限公司, 江西 南昌

<sup>3</sup>南昌航空大学, 江西 南昌

Email: xiachun2002@163.com

收稿日期: 2016年3月2日; 录用日期: 2016年3月23日; 发布日期: 2016年3月29日

## 摘 要

以焊缝中心连续气孔为代表, 研究了多次补焊对30CrMnSi钢TIG焊接头组织与性能的影响。结果表明, 由于多次补焊对焊接接头的重复热作用, 导致完全淬火区晶粒粗化、不完全淬火区回火软化, 使焊接接头力学性能下降, 一、二、三次补焊接头的抗拉强度相比焊接接头分别降低了8.5%、15%和19.8%。

## 关键词

30CrMnSi钢, 多次补焊, 组织, 性能

## 1. 前言

30CrMnSi 钢是典型的 Cr-Mn-Si 系的中碳调质钢, 其碳和其他合金元素的含量较高, 通过调质处理可获得良好的综合力学性能, 因而被广泛地应用于飞行器、动力设备等需承受较高负荷的重要部件的制造[1] [2]。目前, 薄壁 30CrMnSi 钢零部件的连接方式主要是诸如 TIG 焊等的手工惰性气体保护焊, 由于焊接结构的特殊性, 一些零部件的制造过程中不可避免地会产生气孔、裂纹等焊接缺陷, 导致焊缝返修甚至多次返修。有关多次补焊对焊接接头组织、性能等的影响, 已有一定的研究报道[3]-[5], 但对于 30CrMnSi 钢多次补焊后的组织与性能尚缺乏必要的试验数据。本文以焊缝中心连续气孔为代表, 研究多次补焊对 TIG 焊接头组织与性能的影响, 为焊接构件可实施多次补焊提供试验数据。

## 2. 实验材料与方法

试板为调制态 30CrMnSiA 钢板, 尺寸 150 mm × 50 mm × 2 mm, 加工 45°坡口, 钝边 0.5 mm。采用 TIG 的方法进行焊接, 焊丝为  $\phi 2.0$  mm 的 H18CrMoA, 焊接时气体流量为 5~6 L/min, 焊接电流 80~82 A, 焊接电压 11~15 V。

将两试板对接焊后, 沿焊缝中心加工 U 型槽(如图 1), 槽宽约 2 mm、深 1 mm、长 12 mm, 槽与槽之间间隔 6 mm, 用来模拟连续气孔的根除, 补焊时利用 TIG 焊的方法填满 U 型槽, 二次、三次补焊皆在前次补焊的基础上在同一位置加工 U 型槽后完成补焊操作。按图 2 截取拉伸和金相试样, 拉伸实验在 WAW-300B 试验机上进行, 拉伸速率为 2 mm/min; 显微组织观察在 Zeiss MicroImaging GmbH 型光学显微镜下进行; 利用数显显微硬度仪 401MVDTM 由焊缝中心向母材方向每隔 0.5 mm 进行显微硬度测试, 选择 1 kg 力为加载力、保压 10 s。

## 3. 实验结果及讨论

### 3.1. 显微组织分析

一般认为, 热影响区是焊接接头的最薄弱环节, 为此本文主要分析多次补焊对焊接接头热影响区显微组织的影响。图 3 为补焊次数对热影响区完全淬火区显微组织的影响。焊接条件下, 由于完全淬火区

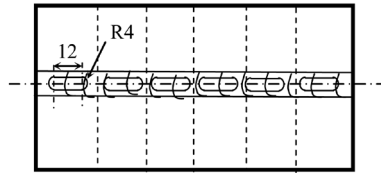


Figure 1. Location of U-groove in the weld center  
图 1. 焊缝中心 U 形槽的位置

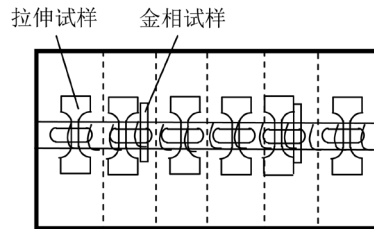


Figure 2. Sample location of welded workpiece  
图 2. 焊接试板取样位置

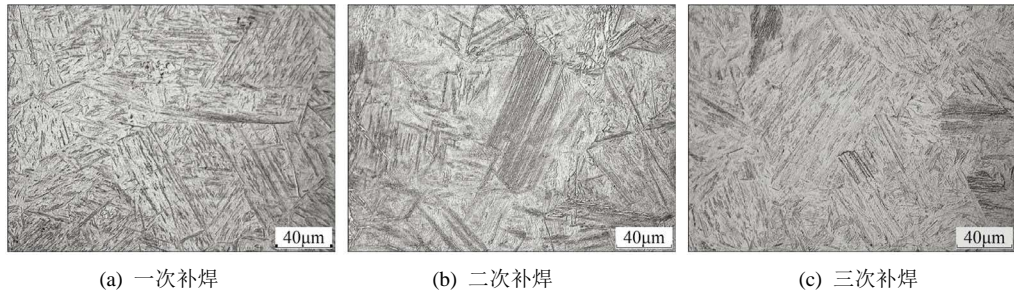


Figure 3. Influence of multiple repair welding on microstructure of complete quenching zone  
图 3. 多次补焊对焊接接头完全淬火区显微组织的影响

的温度高于奥氏体转变温度，在冷却过程中发生奥氏体转变，因焊接接头的冷却速度较快，过冷奥氏体首先转变为大量的针状贝氏体，穿过晶粒散乱分布，随着温度的降低，剩余过冷奥氏体向马氏体转变[6]。补焊时，完全淬火区相当于重新受到焊接热的作用，由图 3 可发现，随着补焊次数的增加，完全淬火区受到焊接热循环作用的次数也不断增加，晶粒有粗大的趋势，片状马氏体含量减少，板条状马氏体含量逐渐增加。

图 4 为补焊次数对焊接接头不完全淬火区显微组织的影响。在不完全淬火区，部分组织发生回火转变，转变为细小的铁素体与珠光体。随着补焊次数的增加，相当于发生多次回火，铁素体和珠光体含量相对增加，铁素体发生长大(如图 4)。

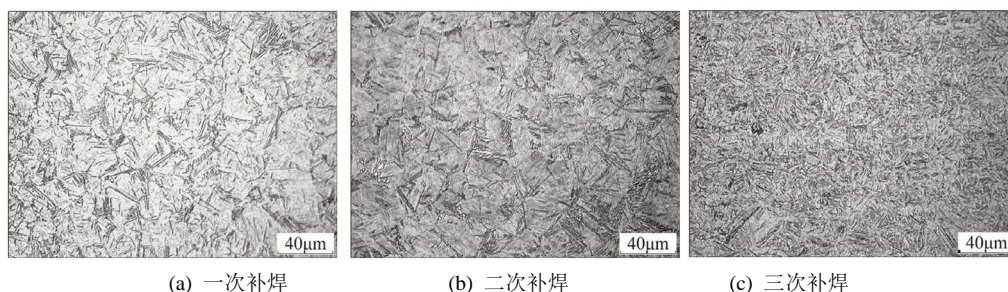
### 3.2. 显微硬度分析

图 5 为多次补焊对焊接接头显微硬度的影响，图中的虚线表示为母材的平均硬度，以此为标准对焊接接头的硬度变化进行分析。从图中可以看出，多次补焊对焊接接头淬火区显微硬度的影响不大，但随着补焊次数的增加，回火区明显出现了的软化，在三次补焊时，接头回火区最小硬度仅为母材平均硬度的 79.9%。这归因于补焊热循环对焊接接头的多次回火作用，加剧了接头的回火软化作用。

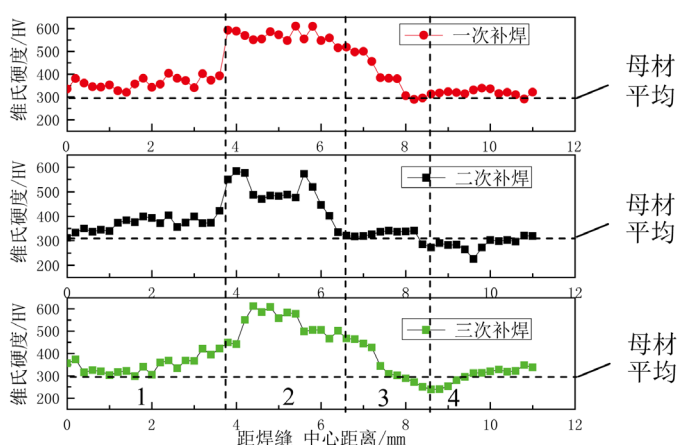
### 3.3. 接头强度分析

图 6 为多次补焊对焊接接头抗拉强度的影响。由图可见，随补焊次数的增加，接头抗拉强度明显下

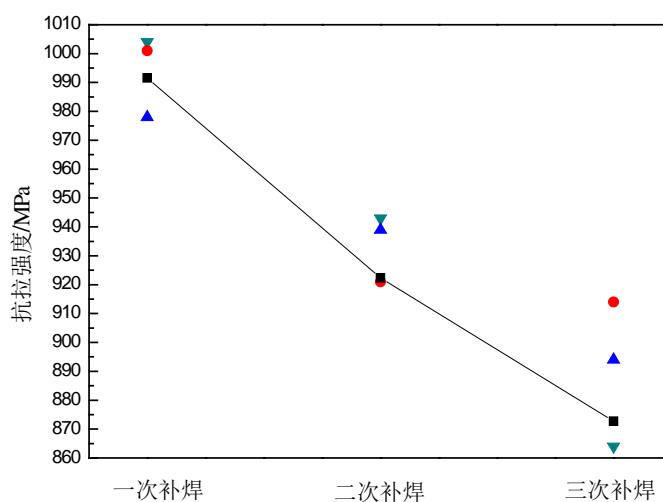
降,一、二、三次补焊接头平均抗拉强度分别为 993 MPa、922 MPa 和 870 MPa,相比于焊接接头 1085 MPa 的抗拉强度分别降低了 8.5%、15%和 19.8%。结合显微组织和显微硬度分析,可以认为补焊时的再次热作用促使完全淬火区的晶粒粗化以及不完全淬火区的回火软化,使接头力学性能明显下降。



**Figure 4.** Influence of multiple repair welding on microstructure of incomplete quenching zone  
**图 4.** 多次补焊对焊接接头不完全淬火区显微组织的影响



**Figure 5.** Influence of multiple repair welding on microhardness of welded joints. 1. weld seam, 2. complete quenching zone, 3. incomplete quenching zone, 4. base metal  
**图 5.** 多次补焊对焊接接头显微硬度的影响。1: 焊缝区、2: 淬火区、3: 回火区、4: 母材



**Figure 6.** Influence of multiple repair welding on tensile strength of welded joints  
**图 6.** 多次补焊对焊接接头抗拉强度的影响

#### 4. 结论

1) 多次补焊相当于对焊接接头的重复加热, 促使焊接接头完全淬火区的晶粒粗化, 不完全淬火区的回火软化, 因此接头软化现象更为严重。

2) 补焊致使接头抗拉强度明显下降, 相比焊接接头, 一、二、三次补焊接头的抗拉强度分别降低了 8.5%、15% 和 19.8%。

#### 参考文献 (References)

- [1] 刘会杰, 闫久春, 魏艳红, 等. 焊接冶金与焊接性[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 邹增大, 李亚江, 尹士科, 等. 低合金调质高强度钢焊接及工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [3] 朱援祥, 张小飞, 杨兵, 等. 基于有限元的多次补焊焊接残余应力的数值模拟[J]. 焊接学报, 2002, 23(1): 65-68.
- [4] 李丹丹, 张志毅, 史春元. 多次补焊对 SMA490BW 钢焊接过热区冲击性能的影响[J]. 热加工工艺, 2011, 40(17): 161-166.
- [5] 汪之平, 付宁宁, 隋显庭, 等. 多次补焊对 5083-H111 铝合金焊接接头组织与性能的影响[J]. 电焊机, 2014, 44(6): 130-134.
- [6] 李建萍, 陶智俊, 夏春, 等. 随焊红外照射对 30CrMnSi 钢焊接接头组织与性能的影响[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2015, 29(1): 61-65, 88.