

# 改善船用锚链闪光焊接头组织和性能的研究

原晓波

(华东泰克西汽车铸造有限公司, 镇江 212002)

**摘要:**通过工艺试验、力学性能检验以及光镜、电镜等显微分析手段,对 M30Mn2 锚链钢闪光焊接头调质处理后的组织形态和冲击韧性进行了研究,确定了焊后原始组织、锚链调质炉及工艺参数对锚链接头冲击韧性的影响,提出了改善接头热影响区冲击韧性的调质工艺方案,以解决锚链闪光焊后调质处理一次合格率偏低的问题。

**关键词:**锚链;闪光焊;调质;冲击韧性

**中图分类号:**U671.83 **文献标识码:**A

**Abstract:**This article analyzed the effect of flash welded micro-structure, Q, T environment and heat treatment process parameters on the toughness of flash welding joint of anchor chains by means of process tests, mechanical properties, optical as well as TEM technology, proposed the suitable Q, T process to efficiently improve the toughness for welding H. A. Z in solving the problems of low percentage of one time passing the charpy test of Q, T.

**Key words:** anchor chains; flash welding; Q, T; toughness

## 1 前言

M30Mn2 锚链钢的冶炼成本低,轧制工艺性能好,是我国船舶行业广泛用来制造船用三级锚链的主要材料。由于使用锰作为主要合金元素(锰的质量分数为 1.6%~1.9%),其焊接性能却不尽人意。具体表现为:锚链经闪光焊接后,其接头处的晶粒粗大,却贝试样冲击值由焊接前的平均 130 J 急剧下降到 30~40 J;加之受到锚链的连续化热处理方式的限制,往往调质处理不能达到改善焊口冲击韧性的效果。然而各国船检规范对锚链接头处却贝冲击值验收的最低标准为  $A_{K-V}(\text{焊口}(0^\circ\text{C})) \geq 49 \text{ J}$ ,锚链经一次调质热处理后,经常达不到这个指标,不得不重新进行二次甚至三次回炉处理,给生产造成了极大的浪费。

生产过程中,在对棒料进行加热→弯环→焊接→去刺等循环工序按 27.5/节制成锚链后,再在如图 1 所示的锚链调质炉中进行调质处理。由图可见:在调质的过程中,对锚链焊口进行足够的保温使其奥氏体化过程得以充分进行和使其迅速淬火冷却得到良好的淬火组织的要求成为相互牵制的两个矛盾因素。在焊口处晶粒过分粗大和焊

接组织比较恶劣的情况下,不当的工艺参数选择

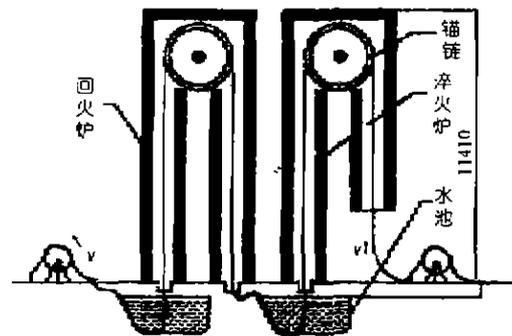


图 1 锚链调质炉结构示意图

和控制将导致在淬火过程中不良组织在焊口处析出,从而达不到通过调质处理来改善焊口组织和提高接头冲击韧性的效果。因此,研究锚链闪光焊后的原始组织和这些组织在特定工艺条件下的淬火产物和分布形态,以及它们在冲击试验时的表现行为是制定各种规格的锚链调质工艺的出发点。

本文通过对锚链试验环在调质炉中运行时加热和冷却时的心部温度测试,并与其在箱式炉中调质处理的情况相对照,分析了不同状态下的组织与性能,搞清了接头组织转变过程及其对性能影响的规律。

## 2 试验条件及方法

试验采用了三组直径 64 mm 的锚链环, A、B

收稿日期:2001-04-12

作者简介:原晓波(1955-),男,本科,工程师

15 m/min, 0.19 m/min 不同的运行速度在调质炉中运行, 淬火区环境温度为 870 ~ 900 °C, 回火区环境温度为 600 ~ 630 °C, 淬火和回火的冷却介质均为循环冷却水。在环体上钻孔安装热电偶对试验环进行跟踪测温(补偿导线 30 m); C 组在 45 kW 箱试炉中调质, 淬火加热温度与回火温度与上述相同, 淬火保温为 30 min, 保温结束后立即淬水。调质处理结束后, 对锚链接头按船检规范进行 0 °C 却贝冲击试验, 却贝冲击试样的取样位置在距锚链表面 1/3R 处; 用金相显微镜和 S-570 型扫描电镜(分辨率为 50 nm, 研究组织以及断裂类型与组织的对应关系。

M30Mn2 锚链钢化学成分质量分数(%)为:  
 C——0.28 ~ 0.34; Mn——1.60 ~ 1.90;  
 Si——≤0.35; S——≤0.04; P——≤0.04。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 冲击试验结果及断口分析

三组的平均冲击试验结果分别为:

A 组: 47.4 J; B 组: 55.2 J; C 组: 110 J。

对冲击断口扫描分析发现: C 组试样表现出良好的韧性断裂特征, 断口有明显的塑性区和剪切层区。图 2 为 C 组试样断口的中部的准解理花

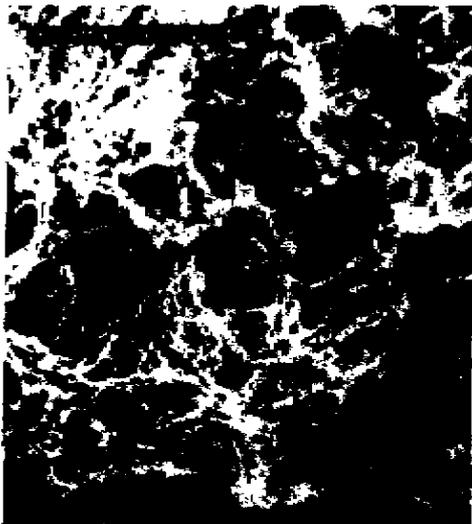


图 2 C 组试样断口上的准解理花样

样, 没有发现二次裂纹。图 3、图 4 分别为 A 组和 B 组的冲击断口形貌; 在图 4 所示的断口上有较多的解理型断裂区域, 并显出穿晶的二次裂纹, 沿解理面扩展, 进一步分析可以认为这些二次裂纹是晶界弱化所引起的。在图 4 所示的断口上, 存

在不同的断裂区域, 左侧 V 型根部为韧性断裂, 有较多的韧窝; 右侧为韧窝和准解理的混合断裂区域, 准解理面上可以观察到 4 ~ 6 μm 级的显微空洞。



图 3 A 组试样断口上的二次裂纹



图 4 B 组试样上的准解理花样及二次裂纹

由此可见, M30Mn2 锚链钢闪光焊后如经较理想的调质处理其接头的冲击韧性基本可以恢复或接近焊接前母材的平均水平, 冲击断口的形貌及接头材料在冲击过程中的表现行为和断裂方式, 取决于焊口在调质过程中所得到的组织。

#### 3.2 连续式调质炉慢速淬火时的焊口组织及对冲击韧性的影响

跟踪测温试验表明, A、B 组链环在一定的运行速度下均能得到很好的加热效果。其中 A 组试验环由于运行速度较慢, 心部温度保温时间约为 35 min, 而 B 组的心部保温时间约为 27 min, 两

通过炉口底部到淬火水池前的, 心部温度均有较大程度的降落。两组试验环在这一过程中其心部温度从 800 ~ 600 °C 降落所需的时间实际测量结果分别为: A 组, 32 s; B 组, 26 s。对金相组织的分析结果认为, 在这一过程中析出的淬火组织及中间产物的性态和分布对锚链接头的冲击韧性有重要的影响, 该时间的长短决定了中间产物的析出数量和对锚链接头冲击韧性的危害程度。

光镜和电镜分析确定, C 组调质后所得到的焊缝组织主要为回火索氏体组织和少量的下贝氏体(图 5)。而 A 组和 B 组则主要为上贝氏体和粒态贝氏体组织(图 6)。



图 5 C 组试样中的回火索氏体, 透射明场 10 000 ×

进一步分析表明, 在 A 组和 B 组的贝氏体组织的铁素体板条之间分布着不同数量的 M-A 结构(图 7)。在实际生产中, 由于不能充分使锚链在淬火过程得到快速冷却, 导致焊口在冷却过程中有一定量的上贝氏体析出是不奇怪的, 船检规范仅要求焊口的冲击韧性大于 49 J, 一定数量的贝氏体还不至于不能满足规范的要求。但在贝氏体铁素体板条间的 M-A 结构则对接头的冲击韧性危害为最大, 其数量的多少是确定焊口冲击值能否通过检验指标的主要因素。M-A 结构的生成是由于奥氏体状态的热影响区组织连续冷却时, 首先形成贝氏体中的铁素体, 使残余奥氏体的含碳量升高, 其含碳量的质量分数可以达到 0.5% ~ 0.8%, 继续冷却时仍然不分解, 直到 MS 点以下时, 生成马氏体, 同时残留少量奥氏体, 这便是

M-A 结构。<sup>[1]</sup>



图 6 A 组、B 组中的上贝氏体, 透射明场 12 000 ×

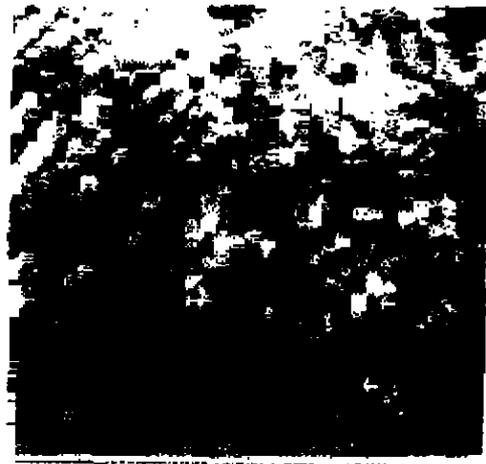


图 7 A 组、B 组中的上贝氏体和 M-A 组织透射明场 12 000 ×

在随后的回火过程中, M-A 结构中的残余奥氏体将分解出一定量的碳化物。呈链状沿晶粒边界分布, 造成晶界弱化, 导致脆性断裂。脆性裂纹是沿晶粒边界扩展。有资料表明低合金高强钢在焊接后冷却时, 将会有一定数量的 M-A 结构在焊缝析出, 其数量的多少与焊缝的冷却速度有关, 当  $t_{8/5} > 20$  s 时其数量明显增多, 并且 M-A 组织被拉长, 显著降低了接头的冲击韧性。<sup>[2]</sup>

## 4 改善接头组织和提高韧性的途径

### 4.1 提高炉温, 加快锚链的运行速度

锚链在调质炉中的加热和奥氏体化, 是由锚链在炉中的运行速度和炉内环境温度两个因素决定的, 提高炉温, 可以使锚链得到快速加热; 及早到温, 为加快运行速度提供了条件。同时, 运行速度的增加, 使锚链在炉底部入水淬火前的降温时间缩短, 从而抑制了淬火中间产物和 M-A 结构的析出和数量, 使焊口的冲击韧性得到改善。实验证明, 将炉温提高到 900 ~ 950 °C 时, 直径 64 mm 的锚链的运行速度最高可以提高到 0.12 m/min, 此时仍可以保持较好的加热和保温效果。同时使  $t_{8/5}$  减少到 20 s 以下, 冲击试验检验结果为平均 84 J。

### 4.2 改造炉底部结构, 保持锚链在炉底出口前的温度

经过研究, 决定在炉口底部增设一个“气阻”装置, 即在炉底口四周设置数个气嘴, 以一定的风压向炉底口四周鼓风。在水平方向形成一个“气帘”, 可以有效地阻止炉底口下部的冷空气直接进入炉体。该区域的热电偶测试数据表明, 增加“气阻”后可以使该部位的环境温度增加 80 °C 左右, 有效地保持了锚链通过该区域时的温度。

### 4.3 调整和优化闪光焊工艺参数, 改善焊接后的原始组织

通过调整和优化焊接工艺参数, 可以在一定的程度上改善焊接后的原始组织。使调质处理的难度降低, 从而可以加快锚链的运行速度。

具体做法是:

1) 调整闪光焊参数, 使热场变陡, 热影响区变窄, 焊缝及过热区金属在高温停留时间缩短。减少晶粒长大倾向和降低上贝氏体的形成数量。

2) 调整顶锻参数, 控制好带电顶锻时间和顶锻电流、顶锻速度和顶锻量, 减少过热倾向。应用金属塑性变形理论, 利用顶锻挤压变形过程, 使接头金属充分塑变, 促使发生良好的动态回复再结晶过程。晶粒细化, 位错增加, 能在一定程度上抑制贝氏体转变。<sup>[3]</sup>

## 5 结论

1) M30Mn2 链钢闪光焊后接头组织脆化及冲击韧性降低可以通过合适的调质处理得到改善。

2) 锚链经连续式调质炉处理后, 其冲击韧性不能得到提高的主要原因在于: 由于不能得到迅速的淬火冷却, 在焊缝处形成上贝氏体和 M-A 结构。其中 M-A 对冲击韧性的危害最大。要显著提高焊缝的冲击韧性, 在保证能得到较好的加热和保温的情况下, 必须尽快提高冷却速度, 以抑制上贝氏体的析出和 M-A 结构的数量。

3) 改进闪光焊对焊工艺, 控制好焊接热场和塑变再结晶条件是提高接头性能的有效途径, 为降低调质处理难度及增加调质淬火速度创造了条件。

### 参考文献

- 1 刘云旭. 金属热处理原理. 北京: 机械工业出版社, 1981
- 2 吕德林, 李砚珠. 焊接金相学. 焊接金相分析. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 3 王治平, 王克争, 何方殿. 哈尔滨: 风光焊工艺与设备的发展焊接学报, 2000, 9(3)

## 5 000 t 级江海直达货船顺利通过方案设计审查

2001 年 6 月 12 日, 长江船舶设计院为江裕轮船公司设计的 5 000 t 级江海直达货船通过了由船东组织的方案设计审查, 随即转入了技术设计阶段。

江裕轮船公司通过周密的前期市场调研, 为适应矿石江海转运市场的新的要求, 确定在我院原设计 3 000 t/5 000 t 经济型江海联运矿石运输船“江夏”号的基础上, 通过采取优化船型、优化结

构, 扩大船舶载重量等技术措施设计本型船舶。江裕轮船公司于 2001 年 3 月 28 日正式与我院签订设计合同, 开始方案设计工作。

该船主要航行于舟山至武汉航线, 采用球首双尾船型, 航区为近海航区, 船长 102.00 m, 型宽 7.60 m, 设计吃水 4.5 m, 结构设计吃水 5.8 m, 载重量 4 500 t, 结构吃水载重量 6 500 t, 设计吃水试航航速 11 kn。

刘 皓 黎大江