

# M30Mn2 锚链钢闪光焊对接接头的组织脆化研究

原晓波

(华东泰克西汽车铸造有限公司 镇江 212000)

**摘要:**根据闪光焊接工艺特点和接头的断裂规律,研究了 M30Mn2 船用锚链钢闪光焊接头的组织脆化问题.采用断口金相技术分析了冲击试样断裂方式与焊接组织之间的关系;冲击值下降的原因和影响因素.在分析闪光焊对接头组织脆化机理的基础上,提出了消除脆化的工艺方法和热处理工艺.

**关键词:**闪光焊;脆化组织;组织遗传

**中图分类号:** TB321

## 0 引言

M30Mn2 锚链钢是我国开发出来的替代进口材料的专用锚链生产材料,广泛用于船用三级锚链的生产与制造.在大批量的实际生产中,该种材料的性能还不够理想,特别是在经闪光焊接后,其焊接接头的组织发生脆化,冲击韧性显著降低,有时,经过热处理后也不能得到明显提高,给生产造成极大麻烦.

闪光焊对接接头的性能,不仅与采用的材料有关,而且与焊接过程形成的内部微观状态有关.因此,研究接头内部的微观状态,搞清接头组织转变过程及其对性能影响的规律,对改进对焊工艺和随后的热处理工艺,提高接头性能是有益的.

## 1 试验条件及方法

试验采用 M30Mn2 锚链钢,化学成分的质量分数(%)为:C,0.28~0.34;Mn,1.5~1.8;Si,≤0.35;S,≤0.04;P,≤0.04.

焊接设备为瑞典进口自动预热闪光对焊机,接头焊接后,经过 920℃,5~6 min 水淬;600~650℃,4~5 min 回火处理.

用金相显微镜和 S-570 型扫描电镜(分辨率

为 5 nm),研究了组织与断裂类型的对应关系,采用的判样方法是断口金相技术法.先将闪光焊接头制备成夏氏冲击试样,在制做 V 型缺口时使其正对着焊缝,为便于比较,同时制备了相应的母材冲击试样.冲击试验温度为 0℃.试样被冲断后,立即将断口保护起来,然后制成与断口成 30°角的金相磨面,组织腐蚀好后,再用丙酮把断口表面的保护层洗净,用扫描电镜观察断口与金相磨面边缘的组织与断裂特征.

## 2 试验结果及分析

大量试验发现,试样弯曲变形时接头断裂有以下三种类型.

I 型 从焊缝的缺陷处起裂(如焊接裂纹或空洞),以延性(韧窝)或脆性(解理或准解理)的形式沿焊缝扩展断裂.

II 型 从过热区的缺陷起裂,通过过热区或焊缝,以延性或脆断的形式扩展断裂.

III 型 以原材料本身缺陷(如各种夹杂物)为裂源,通过过热区延性扩展断裂.

接头中存在的缺陷,实质上是现存危险的裂源,接头断裂不需裂纹的萌生过程.而裂纹是否容易扩展又由裂纹周围的组织决定.组织的韧性越好,裂纹的扩展消耗的功愈大,裂纹愈不易扩展.

图1、图2为热处理状态的母材在冲击功为130 J时,断口形貌,即使有非金属夹杂物存在,也有明显的塑性区和剪切层区.图1是在该试样的V型缺口根部附近的一块非金属夹杂物脱落,成为起裂区的高倍像.有的试样断口的中部为准解理花样,但是没有发现二次裂纹,仍然为延伸断裂,如图2所示.



图1 冲击断口全貌



图2 断口上的准解理花样

组织脆化后,裂纹扩展时消耗的塑性变形功会明显减少,(裂纹扩展,主要是受塑性变形功所制约),裂纹就容易失效扩展.冲击功由130 J减小至30~50 J.试验还发现,由于脆化,虽然试样存在的缺陷并不多,但却在较小的冲击功下发生了断裂.

图3、图4是冲击功分别为30 J,55 J时发生断裂的断口形貌.图3断口形貌上有较多的解理型断裂区域,并有出穿晶的二次裂纹,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型缺口根部为韧性断裂,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 断口上的解理花样

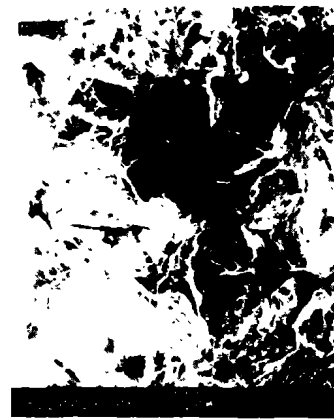


图4 断口上微空洞

由此可见,缺陷的多少固然是影响接头性能的主要因素,但接头组织自身的韧性同样也是影响到接头性能的另一重要因素.

### 3 接头组织脆化的特征及对性能的影响

#### 3.1 接头处的晶粒组织粗大

M30Mn2 闪光焊接头处的晶粒组织粗大,是由于进行闪光焊时需将待焊接的两个端面在极短的时间内加热到金属的熔化温度,而且在M30Mn2 钢中含有较高的锰,在这一过程中,锰使热影响区的晶粒急剧地长大.由于闪光焊的后期需用较大的顶锻力,把熔化金属和氧化物从接口内挤出,熔化金属结晶的特征并不明显,倒像是两个端面上的晶粒直接被“粘”到了一起,焊口上再结晶的晶粒在这个过程中将急剧地长大,并与已经粗化的原始晶粒保持着较好的位向关系,使随后的热处理带来组织遗传.

脆性开裂应力  $\sigma_f$  与晶粒直径  $d$  的关系为:

$$\sigma_f = \sigma_0 = \beta d^{1/2}$$

式中： $\sigma_0$ ——在试验温度下单晶体的屈服强度；  
 $\beta$ ——实验常数。

因为焊接和过热区晶粒直径  $d$  大于母材晶粒直径，所以焊缝和过热区的脆性开裂应力  $\sigma_i$  小于母材的开裂应力。

### 3.2 焊缝与过热区的不良组织和链状碳化物

电镜分析确定，焊后焊缝组织为珠光体和不同形态的贝氏体的混合组织。其中，贝氏体组织的形态对钢材的韧性的影响尤其重要。近期的研究表明：在对焊条件下，贝氏体类组织在接头中经常出现。而 M30Mn2S 材料，低合金高强钢对焊后在连续空冷条件下，可能形成三种典型的贝氏体和粒状贝氏体，即  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  和  $B_{粒}$ 。

$B_1$  的特征是铁素体 (F) 切变生长为平行的板条束，在铁素体条间无碳化物析出。 $B_2$  的特征是在板束之间平行地析出碳化物，它是一种典型的上贝氏体组织。 $B_3$  是在铁素体板条内或板条间的晶面上析出碳化物，并与板条束成  $60^\circ$  角，类似高碳钢中的下贝氏体。根据上述贝氏体形态特征，发现 M30Mn2 钢闪光焊接接头过热区焊后组织为大量的  $B_1$  (图 5)，少量的  $B_2$  (图 6) 和粒状贝氏体  $B_{粒}$  (图 6)，而  $B_1$  和  $B_{粒}$  经过热处理后，因碳化物在贝氏体板条间溶解和均匀化过程进行的不充分，导致了在冷却后板条状马氏体边上有链状碳化物析出 (图 7)。这些链状碳化物使板条晶结合强度降低，裂纹易沿板条晶间扩展，因此这种组织对韧性不利。



图 5  $B_1$  透射明场 1 000×

此外，对接头焊缝区宽窄不同，焊后组织中粒状贝氏体块的大小亦不同。焊缝越宽， $B_{粒}$  块愈大，淬火加热时，奥氏体均匀化进行得不充分，因而淬火冷却后形成组织不良，接头的韧性也变差。

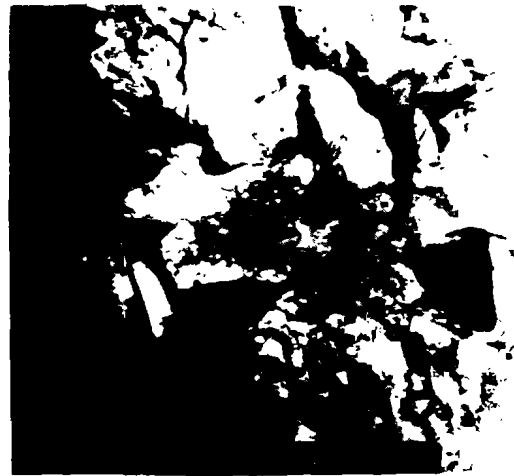


图 6  $B_2$  透射明场 1 000×



图 7 链状碳化物析出扫描像 1 000×

## 4 改善接头组织的途径

### 1) 调整焊接工艺，改善焊态组织

(1) 调整闪光焊参数，使热场变陡，热影响区变窄，焊缝及过热区属在高温停留时间缩短减少晶粒长大倾向和缩短碳化物富集过程，使  $B_{粒}$  块尽量变小，形成的  $B_1$  尽量少。

(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恢复再结晶过程。使晶粒细化，位错增加，能在一定程度上抑制贝氏体转变。

(3) 改变冷却条件，抑制对韧性有害的  $B_{粒}$  和  $B_1$  组织的形成，促使对韧性有利的  $B_2$  和马氏体的形成。

2) 改变热处理工艺，适当提高淬火温度和延长淬火保温时间，使奥氏体均匀化充分进行。

## 5 结 论

1) M30Mn2 闪光焊接头组织脆化主要发生在焊缝和过热区。晶粒粗大, 组织组成物不佳, 是造成接头韧性降低的根本原因。

2) 接头组织不佳表现在: 焊后焊缝形成  $B_{\text{H}}$  和  $B_{\text{I}}$ 。热处理后, 焊缝产生不良组织, 过热区  $B_{\text{I}}$  转变为  $M_{\text{H}}$  时沿板条晶间有链状碳化物析出。

3) 改进对焊工艺, 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。

### 参 考 文 献

- 1 许吉鸿, 张文忠, 王积昌. 高锰钢与钢的二次闪光焊接接头的组织和冲击韧性. 焊接学报, 1999(1): 4~5
- 2 盖伊 A G, 赫论 J J. 物理冶金学原理. 徐记楠译, 北京: 机械工业出版社, 1984. 298~299
- 3 康诛狂, 杨思品. 钢中贝氏体. 上海: 上海科学技术出版社, 1990. 12~13
- 4 王治平, 王克争, 何文殿. 闪光焊工艺及设备的发展. 焊接学报, 2000(3): 3~4

## Micro-structural Brittleness in Flash Welded Joint of M30 Mn2 Anchor Chain Steel

Yuan Xiaobo

(Huadong Teksid Automotive Foundry Coltd, Zhenjiang, 212002)

### Abstract

Based on the character of flash welding process as well as fracture behave of the joints, this article studies brittle microstructure of flash welding joint of M30Mn2 anchor chains steel and analyzes the relationship between microstructure and fracture properties of Charpy test. It also explains the reasons of  $A_k$  drooping and effect factors by TEM technology. On the mechanism of brittle microstructure forming, it gives the eliminating methods and its heat-treatment process.

**Key words:** flash welding; brittle microstructures; eliminating methods

· 我校院系介绍 ·

### 材料科学与工程学院

材料科学与工程学院设有材料科学系、金属材料工程系、无机非金属材料工程系、高分子材料与工程系、复合材料与工程系、材料成型及控制工程系、材料加工工程系等 7 个系, 现有教职工 231 人, 其中院士 1 名, 教授 28 名, 副教授 105 名, 有 64% 的教师具有硕士、博士学位; 本科生 2668 人, 研究生 295 人; 拥有材料物理与化学、材料学、材料库工工程 3 个博士, 材料科学与工程一级科学博士点; 其中材料为国家级重点学科, 材料加工工程是省级重点学科; 1997 年, 材料科学与工程学科被列为“211 工程”重点建设学科; 学院还有材料复合新技术国家重点实验室、光纤传感技术国家重点工业试验基地、硅酸盐材料工程教育部重点实验室、材料研究与测试中心、生物材料工程研究中心作为科研支撑基地和高层次人才培养基地。近两年, 学院承担了“863”、国家自然科学基金、国家攻关、军工专项等科研项目, 科研到账经费 1350 万元; 攻省部级以上科研奖励 12 项; 承担了国家及省部级教学改革研究项目 6 项, 获省级以上优秀教学成果奖励 3 项。

本刊通讯员