

灰口铸铁焊接区氢的微观分布及逸出特点

任振安 孙大谦 周振丰
(长春 吉林工业大学)

摘要 采用显微镜下摄影测氢法, 从微观上研究了灰口铸铁母材同质焊缝及异质焊缝焊接区扩散氢的分布及其逸出动态过程。说明了由于石墨的储氢及阻碍氢向前扩散的作用, 使进入灰口铸铁焊接接头热影响区的扩散氢很少, 因此, 氢对灰口铸铁热影响区的冷裂纹倾向影响也小。

关键词: 灰口铸铁 扩散氢 冷裂纹

0 序 言

高强钢焊接的大量研究表明, 氢是影响焊接接头延迟裂纹倾向的重要因素¹, 而氢对灰口铸铁焊接接头热影响区冷裂纹的影响却不甚显著^{2 3}。可见, 氢在焊接接头中的行为与母材及焊缝类型有关, 有必要研究氢在灰口铸铁焊接区的分布特征及其动态逸出过程, 以便揭示氢对灰口铸铁接头冷裂纹倾向影响小的原因。

文献[4, 5]采用显微镜下录像测氢法对A3钢焊接区扩散氢的微观行为进行了研究, 发现氢的聚集多发生在夹杂部位及两相组织的交界处。在焊后立即入水的条件下, 随着时间的延续, 扩散氢峰值先自焊缝中心移向焊缝顶部, 然后再向熔合线移动, 进入HAZ中停留一段时间再返回焊缝中下部, 并用氢沿晶界扩散受阻说解释了上述现象。但氢在铸铁焊接接头的扩散及逸出微观行为尚未见报道。

本文采用显微镜下摄影测氢法, 从微观上研究了灰口铸铁母材同质及异质焊缝焊接区扩散氢的微观分布及逸出特点, 揭示了氢对灰口铸铁焊接接头HAZ冷裂纹倾向影响不大的原因。

1 试 验

试验焊条有E5015及自制铸铁同质焊条两种, 直径均为4mm, 前者焊前烘干为350°C×2h, 后者为250°C×2h, E5015焊条采用直流反接施焊, 铸铁焊条采用交流施焊, 焊接电流均为150A。

母材为HT150, 试块尺寸为25mm×15mm×10mm, 焊前经300°C×2h去氢处理。试验时, 取二块母材按图1所示夹持在同材质的二个试板内, 在两侧施加一定压力, 使二块母材紧密接触, 然后在二块中间以135mm/min的焊速堆敷一层长50mm的焊道。焊后待试块冷却至500°C左右(红色刚刚消失), 迅速将试样浸入冷水中, 20s后取出, 打掉两侧夹持板, 分开两个小试块作标记后置于干冰中冷藏。在试块磨抛过程中, 每次处理时间以试样表面凝霜刚刚融化为限, 保持在0°C左右, 每次处理后再冷藏5min才能进行下一次处理。

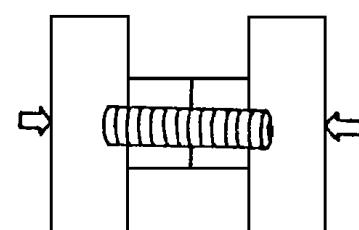


图1 试块夹持焊接示意图

Fig. 1 Schematic drawing of clamping and welding specimens

试块制备好后,用4%硝酸酒精溶液浸蚀抛光表面,涂一层甘油作为收集液,加盖一薄玻璃片以防止氢气泡从收集液中逸出。把试块安放到XJZ-6型显微镜上在室温下观察拍照,此时作为计时零点,当最大气泡直径接近膜厚时照像记录并更换甘油。每个试块观察至逸出氢不再变化为止。根据照片计算出该时刻焊接区不同位置的气泡直径和个数,换算出各位置的逸出氢数量,单位为 mm^3/mm^2 ,作图得到不同时刻的扩散氢分布曲线。把同一位置的扩散氢量相加,可作出扩散氢总量分布曲线。作图时,纵坐标原点取在熔合线上,焊缝方向为正,HAZ方向为负。

2 试验结果与讨论

2.1 E5015 焊条

用E5015焊条焊接灰铁试块时,由于母材含碳量高,焊接时母材熔化部分与焊条熔敷金属混合,焊后得到含碳量较高的焊缝,组织为屈氏体加网状渗碳体,半熔化区有不连续白口组织,焊缝与半熔化区交界处为熔合线。HAZ高温区为片状石墨、屈氏体及少量马氏体组织。

图2为试验结果曲线,图中记录时间由两个时间数之和表示。第一个数字为试块已观察过的时间,第二个数字为换甘油后本次收集扩散氢的时间。由(a)可知,扩散氢峰值由焊缝中部向下部移动,但未进入HAZ。由(b)的扩散氢总量曲线变化来看,扩散氢逸出量均以焊缝上部为多。试块放置480min后,焊缝中扩散氢总量最高为 $70 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}^2$,比用E5015焊接A3钢时少了将近一个数量级⁵⁾,且进入熔合区和HAZ的扩散氢量很少。这是由于熔池金属受灰铁母材影响含碳量升高后,高温下溶氢量降低,使焊缝扩散氢量相应减少。由于灰铁母材中的片状石墨具有储存氢并阻碍氢向前扩散的作用,所以只在HAZ的高温端观察到少量逸出氢。

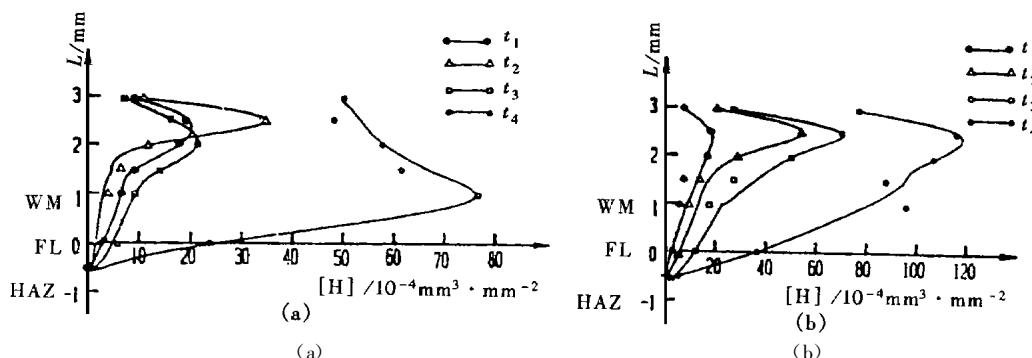


图2 E5015焊条焊接灰口铸铁母材的焊接区扩散氢分布曲线(a)及扩散氢总量曲线
(b)WM—焊缝金属,FL—熔合线,HAZ—热影响区

Fig. 2 Redistributive curves(a) and total amounts(b) of residual diffusible hydrogen in grey iron weldment welded with E5015 type of electrodes

WM—weld metal FL—fusion line HAZ—heat affected zone

$t_1=60\text{min}=(0+60)\text{min}$ $t_2=200\text{min}=(60+140)\text{min}$

$t_3=480\text{min}=(200+280)\text{min}$ $t_4=900\text{min}=(480+420)\text{min}$

图3为焊接区氢气泡分布及长大照片。可以明显看出,从220min放置到250min的30min内,焊缝相应位置的氢气泡体积长大了,且氢气泡主要分布在焊缝中上部,HAZ高温区氢气泡数量少,尺寸小,长大幅度也小。

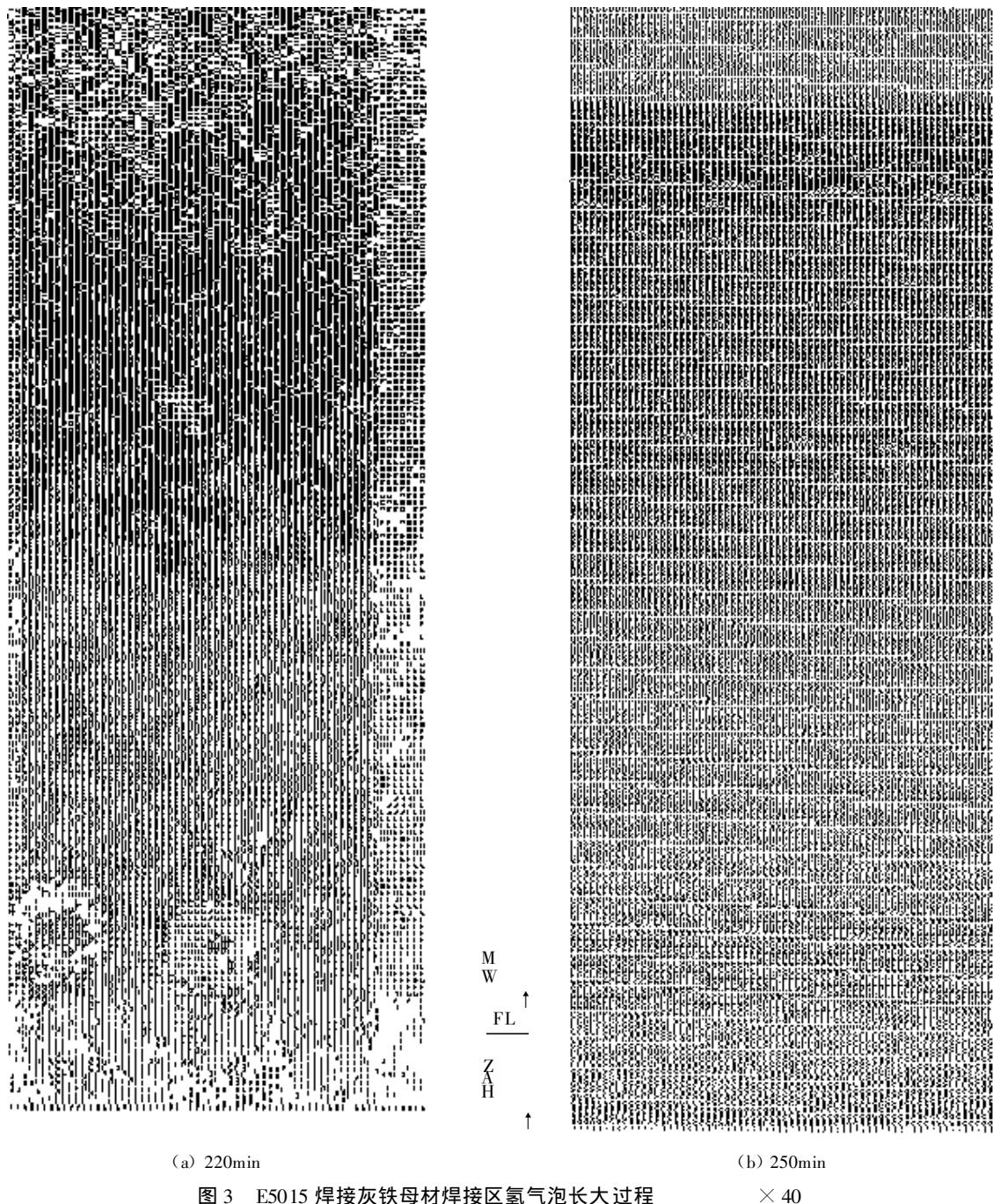


图3 E5015 焊接灰铁母材焊接区氢气泡长大过程

× 40

Fig. 3 Dynamic course of hydrogen bubbling up from grey iron weldment welded with E5015 electrode

2.2 铸铁焊条

用H08A焊芯在药皮中加入石墨化剂、造气造渣剂自制灰铁同质焊条,焊接灰铁母材时,得到含有点、片状石墨的铸铁焊缝。由图4的焊接区扩散氢分布曲线及扩散氢总量曲线可见,灰铁焊缝扩散氢分布曲线的峰值随时间的推移有从焊缝中下部向焊缝中上部移动的趋势,扩散氢总量变化趋势相同。其扩散氢总量最多处为焊缝中部,达 $69.5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}^2$ (放置900min)。其值与灰

铁母材碳钢焊缝在同一时间的数值 $117 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}^2$ 相比小了很多。这是由于虽然同质焊条烘干温度低, 但与钢焊缝相比, 灰铁焊缝含碳量更高, 而氢的溶解度随碳的增加而降低, 铸铁的吸气能力比钢差^[6], 所以铸铁焊缝溶入的氢比钢焊缝少, 扩散氢量相应减少。另外, 灰口铸铁是在钢的基体上分布着较多的石墨, 石墨组织比较疏松, 片层间距较大, 其中能容纳一部分氢。即石墨具有一定储氢能力, 这与非金属夹杂物有捕捉氢的能力一样, 氢(H, H^+ 或 H^-)一旦扩散进入石墨中, 就会在其中滞留。因此, 石墨的数量、尺寸及分布形态对铸铁焊缝中氢的扩散及逸出必然有很大影响。由于焊缝中片状石墨数量少、尺寸小, 使焊后过饱和的氢向焊缝上方及母材方向扩散。向母材方向扩散的氢穿过熔合线后遇到尺寸大数量多的 HAZ 片状石墨, 因其储氢及阻碍氢扩散的能力强, 使半熔化区及 HAZ 的扩散氢逸出量很小。而向焊缝上方移动的扩散氢受到的扩散阻力相对较小, 逸出量峰值不断上移。

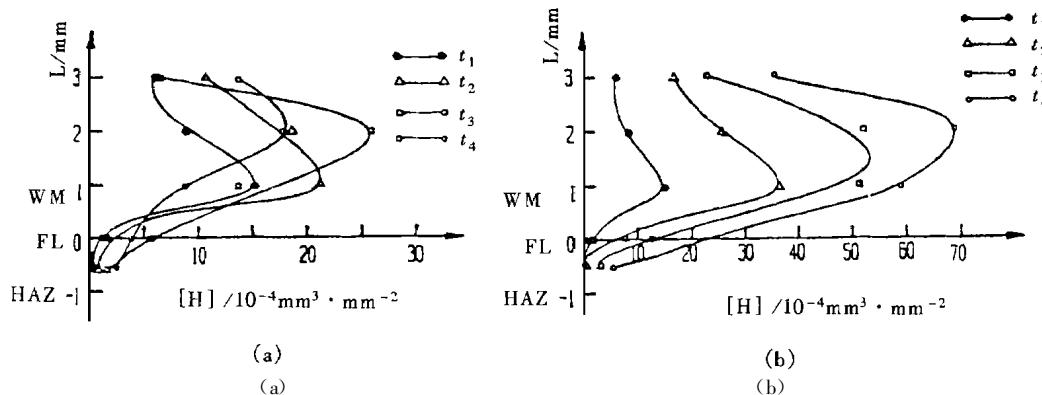


图 4 灰铁母材同质焊缝焊接区扩散氢分布曲线(a)及扩散氢总量曲线(b)

Fig. 4 Redistributive curves (a) and total amounts (b) of residual diffusible hydrogen in grey iron weldment welded with grey iron electrode

$t_1 = 60\text{min} = (0+60)\text{min}$, $t_2 = 200\text{min} = (60+140)\text{min}$

$t_3 = 480\text{min} = (200+280)\text{min}$, $t_4 = 900\text{min} = (480+420)\text{min}$

试验发现, 氢气泡主要从石墨部位析出, 在焊缝和 HAZ 都观察到了此现象(图 5), 这与上述石墨具有储氢能力及阻碍氢向前扩散的作用的论点是吻合的。当扩散进入片状石墨的氢较多, 聚集化合成分子氢, 内部压力超过外界大气压时, 便以气泡形式逸出。

2.3 氢对灰口铸铁焊接接头 HAZ 冷裂纹

倾向影响小的原因分析

把 2.1 节中用 E5015 焊条焊接灰铁与文献[5]中用 E5015 焊条焊接 A3 钢时焊接区扩散氢分布及逸出特点进行比较, 虽然二

者焊条种类相同且焊接条件相近, 但由于母材不同, 差别很大。首先, 用 E5015 焊条焊接灰铁时, HAZ 扩散氢含量较少, 480min 时为 $12.5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{mm}^2$, 而母材为 A3 钢的 HAZ 扩散氢却很多, 400min 时为 $28 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{mm}^2$, 二者相差一个数量级还多。其次, 从焊接区扩散氢分布曲线变化

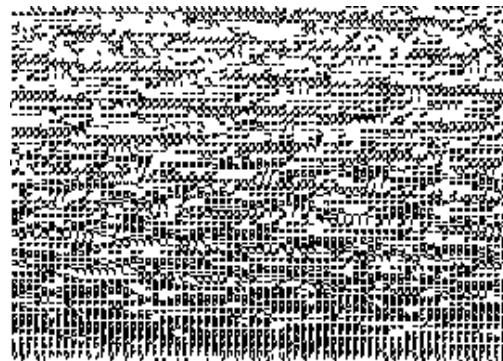


图 5 氢气泡从片状石墨处析出 $\times 250$

Fig. 5 Hydrogen bubble spilling out from graphite flakes

分析,母材为灰铁时,扩散氢峰值一直在焊缝中,不进入 HAZ。而母材为 A3 钢时,扩散氢峰值能进入 HAZ,氢还能扩散到 HAZ 以外的母材金属中。可见钢焊接接头中,扩散氢容易进入到 HAZ 中,且其量大,对钢的 HAZ 冷裂纹必然有较大促进作用。而在灰铁焊接接头中,无论是碳钢焊缝还是同质焊缝,扩散氢扩散进入 HAZ 的量很少,对 HAZ 冷裂纹倾向影响亦变小。

3 结 论

- (1) 氢在焊接接头中的扩散及逸出受焊缝成分、组织及分布的影响,也受母材类型的影响。
- (2) 用 E5015 焊条焊接灰口铸铁时,焊接区扩散氢分布曲线的峰值从焊缝中部向下部移动,但不进入 HAZ。受母材中片状石墨的影响,HAZ 中的扩散氢逸出量很少。
- (3) 焊缝为灰口铸铁时,焊缝扩散氢分布曲线的峰值从中下部向中上部移动,焊缝扩散氢逸出总量少于钢焊缝的逸出氢总量。氢气泡易从焊缝及 HAZ 的石墨处析出。HAZ 的扩散氢逸出量很少。
- (4) 灰铁接头从焊缝进入 HAZ 的扩散氢量很少,因此,氢对灰口铸铁插销试验的临界应力值影响不大,即对灰口铸铁焊接接头冷裂纹倾向影响不大。

(1998—04—28 收到初稿, 1998—08—13 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 周振丰, 张文钺合编. 焊接冶金与金属焊接性(修订本). 北京: 机械工业出版社, 1988. 212~244
- 2 信英华. 用插销试验法研究氢对灰口铸铁焊接裂纹的影响. 吉林工业大学学报, 1985(3): 131~138
- 3 任振安. 灰口铸铁电弧冷焊同质焊缝与其热影响区的冷裂纹研究: [博士学位论文]. 长春: 吉林工业大学, 1993. 108~115
- 4 张文钺, 大久保曙. 焊接区氢的微观分布及其逸出动态过程的研究(之一). H—IXa—051—86.
- 5 秦伯雄等. 焊接区氢的微观分布及其逸出动态过程的研究(之二). H—IX a—039—86.
- 6 李庆春主编. 铸件形成理论基础. 北京: 机械工业出版社, 1982. 191

**Microscopic Redistribution Behaviours and Bubbling—up
Characteristic of Residual Diffusible Hydrogen
in the Grey Iron Weldment**

Ren Zhenan, Sun Daqian, Zhou Zhenfeng

(Jilin University of Technology)

Abstract A measuring method taking views of hydrogen behaviours under microscope is applied to study the redistributive and bubbling—up course of the residual diffusible hydrogen in the grey iron weldments welded with both the homogenous and the heterogenous electrodes. Because the flaky graphite can not only store the hydrogen but also block the hydrogen to diffuse forward, the amounts of the residual diffusible hydrogen which can come into the HAZ of the grey iron joint is very small, and so the influence of the hydrogen on the cold cracking tendency of the HAZ of grey iron joint is little too.

Key words grey iron, residual diffusible hydrogen, cold cracking

作者简介 任振安,44岁,男,博士,副教授。现在吉林工业大学焊接教研室任教。1994年吉林工业大学焊接专业博士毕业。主要从事灰口铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁焊接冶金及焊接新材料研究。参加过省部级科研项目四项,发表科研论文10余篇。还在材料表面冶金强化领域开展了研究工作。