

热轧 H 型钢腹板裂纹周围异质颗粒形成规律研究

冯岩青¹, 吴娟¹, 王厚昕², 赵一臣³

- 包头职业技术学院, 内蒙古 包头 014030;
- 中信金属有限公司, 北京 100004;
- 北京津西绿建科技产业集团有限公司, 北京 10020)

摘要: 文章研究了 SS400B 热轧 H 型钢腹板裂纹周围的氧化脱碳及异质颗粒的形成规律。依据现场实际工况设计试验, 采用金相分析、能谱定性定量分析不同工艺下氧化脱碳及异质颗粒的性态分布, 结果表明 SS400B 热轧 H 型钢在轧钢粗轧阶段产生的裂纹周围存在脱碳, 但不会出现异质颗粒。结合国内研究结果, 系统全面的说明了裂纹周围的氧化脱碳以及含硅异质颗粒的析出与钢种成分、工序位置、热工制度均有密切关系。

关键词: 热轧 H 型钢; 腹板裂纹; 脱碳; 异质颗粒

中图分类号: TG335.11

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)01-0050-05

Study on Formation Rule of Heterogeneous Particles around Cracks of Web for Hot Rolled H Beam

Feng Yan-qing¹, Wu Juan¹, Wang Hou-xin², Zhao Yi-chen³

- Baotou Vocational Technical College, Baotou 014030, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- CITIC Metals Co., Ltd., Beijing 100004, China;
- Beijing Jinxi Lujian Technology Industry Group Co., Ltd., Beijing 10020, China)

Abstract: In this paper, the oxidation and decarbonization as well as formation rule of heterogeneous particles around cracks of web for SS400B hot rolled H beam are studied. The experiment is designed based on the actual working conditions on site as well as oxidation and decarbonization and performance distribution of heterogeneous particles with different processes are analyzed qualitatively and quantitatively with metallographic analysis and energy spectrum. The results showed that there was decarburization around cracks of SS400B hot rolled H beam in the stage of rough rolling, but no heterogeneous particles appeared. It is systematically and comprehensively explained that the oxidation and decarbonization and precipitation of silicon containing heterogeneous particles around cracks are closely related to the composition of steel, process location and thermal regulation combining with domestic study results.

Key words: hot rolled H beam; crack of web; decarburization; heterogeneous particles

国内热轧 H 型钢生产厂家主要为马钢、莱钢、津西、日照、包钢等企业, 产品覆盖小、中、大、厚规格

及国标、美标、英标、日标、韩标、欧标、德标等。这些企业在投产初期均出现过成品批量腹板裂纹, 在稳

收稿日期: 2022-04-28

基金项目: 包头职业技术学院“新材料工艺改进及性能控制”2022年科研创新团队(2022BZYKC04)。

作者简介: 冯岩青(1977-), 女, 内蒙古包头市人, 博士, 副教授, 现从事新产品研发及智能焊接工作。

定生产中各企业也会不同程度出现批量腹板裂纹,给企业造成极大的经济损失。随着热轧 H 型钢产品钢级的提高、合金元素的增加以及特殊规格的轧制造成腹板裂纹比率增加,加之异型坯生产线设备复杂,控制难度大,生产过程中腹板裂纹究竟在哪些工序产生成为企业不断争论的焦点。国内外围绕腹板裂纹产生的原因、形成机理和解决措施做了部分工作,但对腹板裂纹周围的异质颗粒的形成规律研究非常少^[1]。本文通过试验手段并结合现场实际工况,重点对热轧 H 型钢在轧制阶段的粗轧工序产生裂纹后腹板裂纹周围是否会出现脱碳及析出含硅异质颗粒进行试验,为判定产生腹板裂纹的工序提供理论基础。

1 试样制备与试验方法

美国钢铁协会(ALSI)研究结论是异质颗粒(氧化圆点)可在连铸结晶器到热轧粗轧之间的任意位置产生^[2],以此推论,热轧 H 型钢腹板裂纹可能产生于铸坯,也可能产生于加热或轧制阶段。为了研究分析腹板裂纹与异质颗粒间的关系,采用日标 SS400B 热轧 H 型钢进行研究,该材质在实际工业生产过程中裂纹比率高,除添加微量硼元素外无其他 V、Ti、Nb、Cu、Cr、Ni 等合金,容易分析腹板裂纹与异质颗粒间的关系,试验设计了预制裂纹模拟试验,钢种成分见表 1。

表 1 SS400B 化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	S	P	B
0.17	0.23	0.59	0.018	0.015	0.000 9

1.1 试样制备

研究 SS400B 无腹板裂纹缺陷的异型坯在加热过程中是否开裂意义不大,这是因为 SS400B 合金含量非常少,与 Q235B 成分接近,完好的普碳钢 SS400B 异型坯在炉况稳定的连续生产过程不易产生裂纹。而对于含有较多 Ti、Nb、Cu、Cr、P 等合金元素的热轧异型坯应考虑缓冷措施、吊装方式、铸坯在加热炉中的升温速度及在炉时间。

本试验主要模拟粗轧阶段产生的腹板裂纹周围是否会出现氧化脱碳及异质颗粒,最终判断成品 SS400B 腹板裂纹产生于连铸阶段还是轧钢阶段。设计预制裂纹模拟试验,从成品 SS400B 腹板处取样,在规格为 H300 × 300 × 10 × 15 的 SS400B 成品腹板上沿轧制方向取六条 300 mm × 30 mm 拉伸试

样,编号分别为 1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、5[#]、6[#]。

1.2 试验方法

1[#]试样模拟轧钢粗轧阶段产生裂纹,即完好无缺陷的试样在 1 200 °C 时保温 10 min,出炉后用尖锐物快速制造裂纹,再放回加热炉中保温 5 min 出炉空冷。

2[#]、3[#]、4[#]、5[#]、6[#]试样沿拉伸试样的横向方向,线切割出 5 mm 深度后进行裂纹植入,在压力机上使该线切割处扩展出裂纹尖端。将这五根预制裂纹的试样同时放入高温热处理炉中,在 1 000 °C 入炉并快速升温至 1 200 °C 下分别保温 3 min、5 min、15 min、30 min、60 min 出炉空冷,观察不同保温时间下氧化脱碳程度,以及异质颗粒与在炉保温时间的关系。图 1 为热处理工艺图,图 2 为预制裂纹试样的宏观形貌。

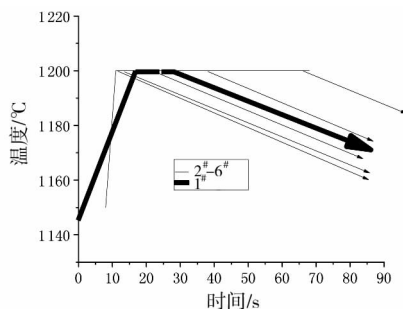


图 1 热处理工艺图

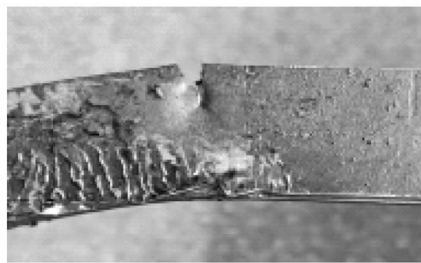


图 2 预制裂纹宏观形貌

生产过程中异型坯表面的细小腹板裂纹在氧化皮的遮掩下肉眼不易观察到,裂纹缺陷在加热炉中加热 4 ~ 8 h 后会被带到轧钢工序,经轧制后裂纹被放大暴露于钢材表面,这样的裂纹经历过高温加热过程,基体中的 C 元素与空气中的氧反应贯穿形成脱碳,同时脱硅形成氧化圆点,即显微组织中观察到的氧化圆点及氧化脱碳,产生这一过程的主要原因是带有裂纹缺陷的钢坯在加热炉中长时间高温加热

造成的。实际轧钢生产过程中,钢坯从加热炉出炉后,轧件在粗轧工序 1 180 ℃ 的高温段最多停留 2~3 min,之后轧件在中轧及精轧阶段连续降温,5 min内降至 900 ℃ 左右,这时一支 H 型钢成品轧制完成。如果在粗轧工序产生裂纹缺陷,那么该裂纹就会经历 1 180 ℃ 高温下粗轧 2~3 min,然后连续降温至 900 ℃ 左右,裂纹具有在高温阶段停留时间短、连续降温速度快的特点。本试验针对钢坯完好无裂纹缺陷提出,假设在粗轧阶段由于刮伤等原因产生裂纹,那么这个阶段产生的裂纹周围是否也会出现氧化圆点和脱碳。如果出现氧化圆点和脱碳,则难以区分裂纹究竟产生于连铸阶段还是粗轧阶段;如果不出现氧化圆点和脱碳,则可明确判断出裂纹产生工序位置。所以该试验重点研究在 1 200 ℃ 下保温 5 min 裂纹周围是否会析出异质颗粒(氧化圆点)。

2 试验结果

2.1 金相分析结果

磨制有缺陷部位的试样,分别观察抛光和腐蚀后的样品,1#试样周围没有脱碳现象,同时也没有析出异质颗粒。2#试样裂纹周围存在脱碳,脱碳层深度为 72 μm,但无异质颗粒形成。3#试样裂纹周围存在脱碳,脱碳层深度为 159 μm,但无异质颗粒形成。4#、5#和 6#试样裂纹周围存在严重的脱碳现象,裂纹周围有大量的异质颗粒,脱碳层存在细小的异质颗粒并深入到基体内部,其尺寸大部分小于 1 μm,个别达到 3~5 μm,组织为铁素体+珠光体,存在铁素体晶粒长大现象。随保温时间的延长,裂纹缺陷周围的氧化脱碳及异质颗粒情况见图 3。表 2 统计了不同保温时间下,裂纹周围脱碳及异质颗粒情况。

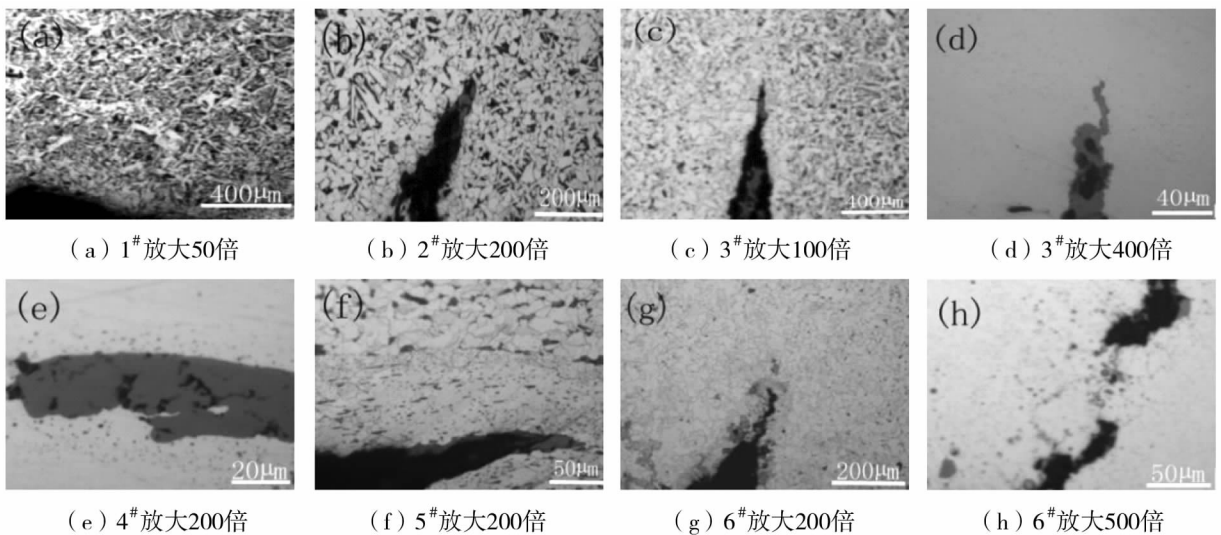


图 3 裂纹周围氧化脱碳及异质颗粒

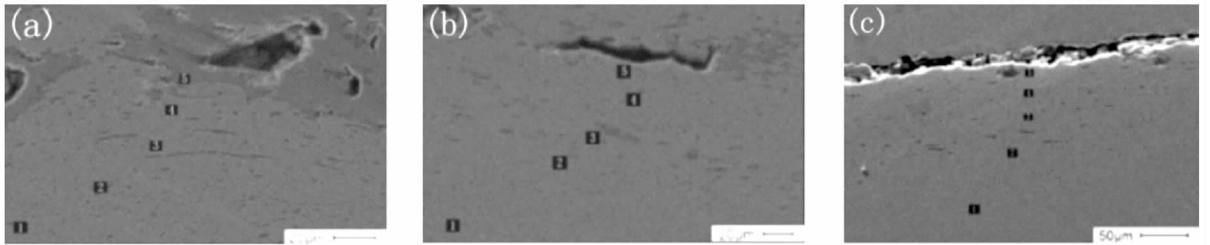
表 2 不同工艺下裂纹周围脱碳及异质颗粒情况

编号	工艺	保温时间 /min	脱碳深度 /μm	异质颗粒层厚度 /μm
1#	无缺陷试样 1 200 ℃ 时保温 10 min, 出炉后快速制造裂纹, 再放回炉中保温。	3	无	无
2#	预制裂纹试样在 1 200 ℃ 下保温后出炉空冷	3	72	无
3#	预制裂纹试样在 1 200 ℃ 下保温后出炉空冷	5	159	无
4#	预制裂纹试样在 1 200 ℃ 下保温后出炉空冷	15	464	43
5#	预制裂纹试样在 1 200 ℃ 下保温后出炉空冷	30	720	156
6#	预制裂纹试样在 1 200 ℃ 下保温后出炉空冷	60	2 900	369

2.2 异质颗粒形貌及能谱分析

采用扫描电镜分析抛光后 4[#]、5[#]、6[#]试样的异质颗粒成分,图 4 中的 1 点为钢材基体,2 点、3 点、4 点、5 点依次为钢基体向裂纹处靠近的异质颗粒。图 5 为钢材基体及典型异质颗粒成分的定性分析。

能谱分析结果表明大部分异质颗粒均由 Si、O、Mn 元素组成,不同的异质颗粒,其各元素成分含量存在差异,少部分异质颗粒中含有 Ca、S 等元素,Fe 元素为基体。图 6 为试样每点位置的各元素能谱定量分析结果。

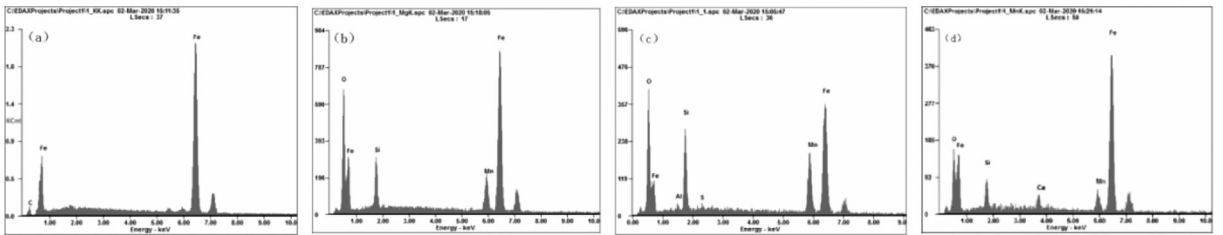


(a) 4[#]试样

(b) 5[#]试样

(c) 6[#]试样

图 4 不同位置的异质颗粒



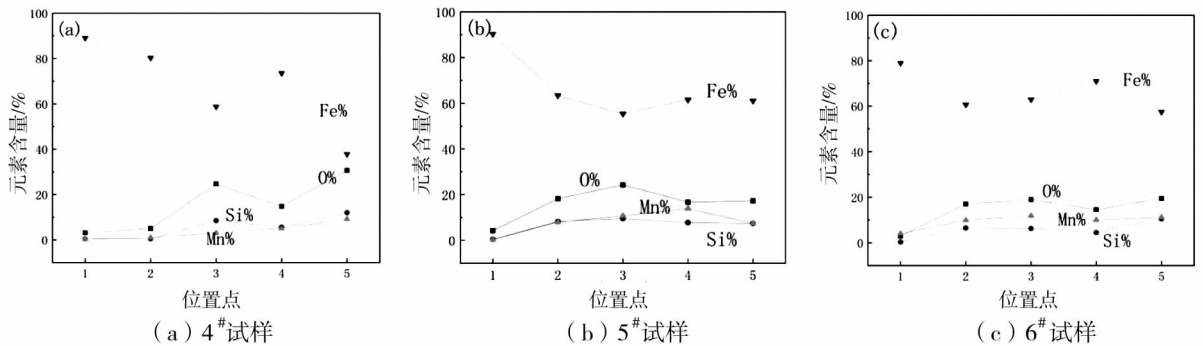
(a) 钢材基体

(b) 异质颗粒

(c) 异质颗粒

(d) 异质颗粒

图 5 能谱定性分析



(a) 4[#]试样

(b) 5[#]试样

(c) 6[#]试样

图 6 不同位置异质颗粒成分的定量分析图

从图 6 可以看出,4[#]、5[#]及 6[#]试样的 1 点位置均为钢材基体成分,主要为 Fe 元素。随着测试点向裂纹靠近,能谱定量分析的异质颗粒的主要成分变化表现为 Fe 元素含量降低,O、Si、Mn 元素含量增加,其中 O 元素的含量是 Si 元素含量的 2~3 倍。每个试样的 3 号位置、4 号位置、5 号位置的异质颗粒各

元素含量基本相当,主要元素均为 O、Si、Mn 元素,定量分析的元素总质量按 100% 计算,除去 C、O、Si、Mn、S、Ca 等元素,其余为 Fe 元素。

3 分析与讨论

上述试验表明,6 个试样的组织为粗大的铁素

体 + 珠光体,说明试样已经烧透且比实际生产的热工条件更为恶劣。1 200 °C 高温快速出炉制造的裂纹放回炉中再保温 3 min,缺陷周围没有氧化脱碳现象,也没有含 Si、Mn 的异质颗粒析出。带有裂纹的试样在 1 200 °C 保温 3 ~ 5 min,裂纹周围脱碳,但不出现异质颗粒,而带有裂纹的试样在炉保温时间达到 15 ~ 60 min 时,随保温时间的延长裂纹缺陷周围的脱碳层深度增加,异质颗粒层厚度也增加。实际工况中,SS400B 型钢轧钢开轧温度最高为 1 180 °C,轧制一支钢材所需时间为 3 ~ 5 min,高温段停留时间最多 2 min,该试验条件比实际轧钢更为苛刻,所以粗轧阶段产生的裂纹在高温段停留时间短会出现脱碳现象,但缺陷周围不出现异质颗粒。

有文章表明冷轧硅钢在热轧阶段也可产生裂纹及异质颗粒,但没有进行脱碳的深入研究,这是因为冷轧硅钢是低碳钢种,缺陷附近脱碳现象难以被观察到,但硅含量较高,缺陷处容易伴随出现异质颗粒现象,并根据硅钢热轧裂纹与加热炉中铸坯裂纹脱硅性差异,作为硅钢缺陷产生工序的判定^[2-3]。而 SS400B 较之冷轧硅钢碳含量高,硅含量低,所以高温短时保温缺陷处可以观察到脱碳现象,但无异质颗粒,随着 SS400B 高温保温时间的延长,裂纹缺陷处氧化脱碳严重并伴有异质颗粒层厚度增加。通过本试验及相关报道可以看出,脱碳及异质颗粒形成与钢种的碳含量和添加的合金元素密切相关,碳含量低的钢种不易观察脱碳,碳含量高的钢种高温短时保温也能出现裂纹周围的脱碳;Cr、Si 含量较高钢种易形成异质颗粒,而 Si 含量较低的钢种需要在高温阶段保温足够的时间才会达到析出异质颗粒的条件,P 含量较高的钢种异质颗粒形成温度较低。所以裂纹周围的氧化脱碳和异质颗粒形成与钢种成分、热工制度均有关系^[4-7]。

4 结论

(1)SS400B 热轧 H 型钢粗轧阶段引起钢材裂

纹,则会出现裂纹周围的脱碳现象,高温短时轧制过程不会出现异质颗粒。SS400B 成品腹板裂纹周围有脱碳及析出含 Si、Mn 异质颗粒,则说明该裂纹缺陷曾经历了足够时间高温氧化脱碳脱硅过程,裂纹起源于铸坯并非粗轧阶段。

(2)裂纹周围的氧化脱碳和异质颗粒形成与钢种成分、热工制度均有关系。钢材的碳含量决定了脱碳程度,合金元素含量、种类与异质颗粒的形成密切相关。

参 考 文 献

- [1] 霍喜伟,刘春伟,孙晓庆,等. H 型钢腹板裂纹内部异质颗粒形成机理研究[J]. 连铸,2015,40(2):64-66.
- [2] 彭凯,刘雅政,谢彬. 硅钢裂纹处氧化圆点及脱硅现象的实验研究[J]. 北京科技大学学报,2007,29(11):1086-1090.
- [3] 彭凯,刘雅政,谢彬,等. 等温条件下氧化圆点的生成行为[J]. 炼钢,2007,23(6):55-57.
- [4] 王畅,于洋,王林,等. 不同钢种氧化圆点形成规律研究[J]. 矿冶,2015,24(S1):118-121.
- [5] 张新文,江宏亮,轩康乐,等. 热轧圆钢 Q345E 表面裂纹的研究与控制[J]. 中国冶金,2021,31(4):44-47.
- [6] 曹小军,李明林,黄宇,等. Nb-H13 钢中一次碳化物的析出机理和控制[J]. 中国冶金,2020,30(3):21-27.
- [7] 李静远,杨树峰,李京社,等. 冷镦钢开裂的原因分析及改进[J]. 中国冶金,2019,29(3):19-23.