

250 mm 铸坯红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂纹分析

曹 磊 王国连

(秦皇岛首秦金属材料有限公司, 秦皇岛 066000)

摘 要 利用金相观察、能谱分析、连铸坯红送与冷送工艺的对比试验等手段,对红送工艺生产微合金钢板出现的表面裂纹进行了分析研究。结果表明,红送工艺生产微合金钢板表面裂纹并不是因为连铸坯本身存在裂纹缺陷,而是由于铸坯在凝固后的冷却过程中,大量细小的 C、N 化合物在奥氏体晶界析出,降低了晶界强度,导致钢板表面裂纹形成。

关键词 Nb-V-Ti 微合金钢 红送 表面裂纹

Investigation of Surface Crack of Nb-V-Ti Micro-Alloyed Steel Plate by 250 mm Casting Slab Hot Charging Process

Cao Lei and Wang Guolian

(Qinhuangdao Shouqin Metal Material Co., Ltd., Qinhuangdao 066000)

Abstract Surface crack on micro-alloyed steel plate produced by hot charging process was investigated by means of metallographic analysis, energy spectrometer analysis and contrast test of HCR and CCR. The results show that the main factors of surface crack on micro-alloyed steel plate produced by hot charging process are not the cracks on slab but the precipitation of a large of fine carbon and nitrogen compound at the boundary of the austenite grains, which decreases the strength of the grain boundary sharply.

Material Index Nb-V-Ti Micro-alloyed Steel, Hot Charging, Surface Crack

连铸坯红送工艺不仅降低了能源消耗,提高生产效率,而且由于连铸坯加热时间减少,降低了铸坯烧损,提高了金属收得率,因此,在国内许多钢厂得到了广泛应用^[1-5]。与传统的冷送工艺相比,红送工艺在连铸坯的凝固特性、微合金元素的固溶和析出以及组织相变等方面存在明显差异,伴随的突出问题是,红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂纹发生率大幅度上升。本文针对钢厂采用红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板出现严重表面裂纹情况,进行了相关分析,研究了红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂纹形成的主要原因。

1 红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板

钢厂生产 Nb-V-Ti 微合金钢板的工艺路线为 100 t 顶底复吹转炉-100 t LF 精炼-100 t RH 真空处理-250 mm 厚板坯连铸机-加热炉-4300 mm 轧机,试验钢种为中碳 Nb-V-Ti 微合金钢 A1,生产断面为 250 mm × 2 200 mm,化学成分见表 1。红送工艺过程中,进入加热炉前连铸坯表面中心温度是 700 ~ 800 °C,冷送工艺是将铸坯冷却至室温后再送到加热炉加热,加热炉温度约 1 200 °C。

2 表面裂纹特征

红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板,厚度 40

mm,加热炉内加热时间 5.2 h,表面裂纹主要宏观形貌特征如图 1 所示,细小发裂,裂纹很浅、很细,不连续分布,裂纹长度一般在 10 ~ 20 mm,裂纹开口 0.2 ~ 1.5 mm,深度约 1.0 mm。发裂钢板表面大量分布,无明显方向性。

图 2 为红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面

表 1 A1 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition for A1 steel / %

C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti
0.16	0.40	1.53	0.015	0.007	0.020	0.025	0.015



图 1 宏观裂纹形貌(钢板厚度 40 mm)

Fig. 1 Macroscopic appearance of surface crack, 40 mm steel plate

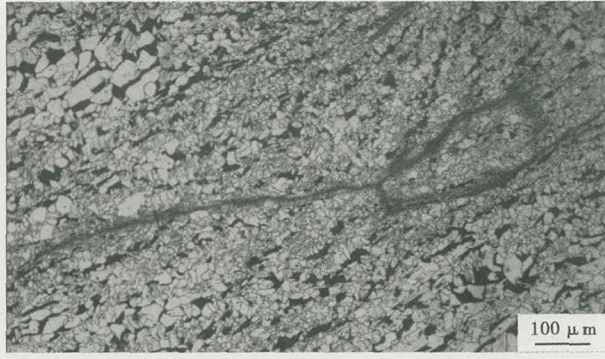


图 2 表面裂纹金相照片(钢板厚度 40 mm)

Fig. 2 Metallographic picture of surface crack, 40 mm steel plate

裂纹的光学显微镜和金相形貌,由图 2 中可以看出,裂纹处无明显的外来或内生夹杂物,同时在裂纹处脱碳不明显,特别是在深入铸坯基体的裂纹尖端处组织几乎未发生脱碳。这说明裂纹并不是来源于连铸坯,也不是在加热炉内产生的。

3 铸坯表面裂纹能谱分析

对红送工艺生产微合金钢板表面裂纹部位进行取样,取样位置为钢板端部,宽度中心位置,试样尺寸为 10 mm × 10 mm × 10 mm,首先对试样进行打磨、抛光,再进行能谱分析。

能谱分析结果如图 3 所示,可以看出,裂纹处主要是金属氧化物,同时能谱分析出现了 Cl 元素与 Na 元素,为 NaCl 化合物,说明在高压水柱除鳞前,裂纹已经形成。

4 红送与冷送对比试验

4.1 试验方案

(1)每次对比试验时,试验炉次的奇数连铸坯(第 1、3、5……块铸坯)下线 48 h 后实施冷送轧制,偶数连铸坯(第 2、4、6……块铸坯)红送。

(2)红送连铸坯在入炉前按照连铸坯顺序号,在连铸坯上表面中心部位进行测温。

(3)实施冷送铸坯按照加热时间 4 ~ 5 h 控制,实施红送铸坯分批按照不同加热时间(2 ~ 5 h)进行控制。



区域	在状态	O	Na	Si	Cl	Ca	Mn	Fe	总计
谱图1	是	11.64	1.15	3.31	0.61	1.06	1.08	81.15	100.00
谱图2	是	25.46	0.93	1.69	0.40	4.26	0.86	66.41	100.00
谱图3	是	21.75	-	-	-	-	1.12	77.13	100.00
最大		25.46	1.15	3.31	0.61	4.26	1.12	81.15	
最小		11.64	0.93	1.69	0.40	1.06	0.86	66.41	

图 3 表面裂纹能谱分析

Fig. 3 Energy spectrum analysis of surface crack

4.2 试验结果

试验进行了 4 个批次 16 炉钢,试验结果见表 2。

4 批 Nb-V-Ti 微合金钢连铸坯红送与冷送对比试验是在铸坯质量状况相同,轧制工艺条件完全符合现有技术规范条件下进行的,具有较强的可比性。试验结果表明,冷送工艺生产 1 698 t 钢板,未发现任何表面裂纹缺陷;红送工艺生产微合金钢的表面裂纹与连铸坯加热时间关系密切,加热时间小于 3.5 h 时,试验了 591 t 钢板,未发现表面裂纹缺陷;红送铸坯加热时间 3.5 ~ 4.5 h 时,钢板开始出现表面裂纹,裂纹发生率为 23.5%;随着红送铸坯加热时间的增加,钢板表面裂纹发生率不断上升,加热时间 4.5 ~ 5.5 h 时,裂纹率达到 50%,加热时间 > 5.5 h 时,裂纹率达到了 90%。说明,红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂纹并不是由连铸坯本身存在的裂纹遗传至钢板所致,而与红送铸坯在加热炉内加热工艺关系密切。在目前工艺技术条件下,红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板需要严格控制加热时间在 3.5 h 以内。

表 2 微合金钢红送与冷送试验结果

Table 2 Results of surface cracks on micro-alloyed steel by HCR and CCR

加热时间 2.5 ~ 3.5 h		加热时间 3.5 ~ 4.5 h		加热时间 4.5 ~ 5.5 h		加热时间 ≥ 5.5 h		冷送工艺	
生产量/t	裂纹率/%	生产量/t	裂纹率/%	生产量/t	裂纹率/%	生产量/t	裂纹率/%	生产量/t	裂纹率/%
591	0	521	23.5	410	50	280	90	1 698	0

5 红送微合金钢表面裂纹机理分析

如图4所示,连铸坯凝固后的冷却过程中,发生碳-氮化合物的析出,析出物存在于奥氏体晶界上,在加热保温过程中又发生碳-氮化合物的重熔,但是依然有一些碳-氮化合物继续存在于奥氏体晶界,这些存在于奥氏体晶界的碳-氮化合物降低了奥氏体的塑性,降低了奥氏体晶界强度^[6-7]。红送铸坯加热时,奥氏体开始逐渐长大,同时碳-氮化合物在晶界不断析出,奥氏体塑性逐渐降低,裂纹倾向性逐渐增加,如果红送连铸坯在加热炉内长时间加热保温,奥氏体晶粒急剧长大,这是因为晶粒长大是靠原子扩散进行的,而扩散速度随温度升高呈指数关系增加,奥氏体晶粒急剧长大,晶粒变得很粗大,塑性进一步降低,晶界强度进一步降低。在随后轧制过程中,在轧制应力作用下,产生表面裂纹^[8]。这也解释了红送连铸坯加热炉加热时间越长,裂纹产生率越高。

冷送铸坯由于发生了奥氏体向铁素体和珠光体的转变,晶粒变得很细小,同时一些析出物存在于晶粒内,而不是晶界。当冷送铸坯再加热时,冷态组织重新转变为奥氏体,这时的奥氏体不仅晶粒度和热送状态有很大不同,而且一些析出物存在于奥氏体晶粒内,这样析出化合物就不会对连铸坯的热塑性与晶界强度产生明显影响。同时,由于此时的奥氏体晶粒是由晶粒细小且均匀的铁素体转化而来,奥氏体晶粒细小且均匀^[9-10],加热炉内较长时间加热保温后,奥氏体塑性不会像直接热送铸坯一样塑性急剧降低,裂纹产生倾向性较低。

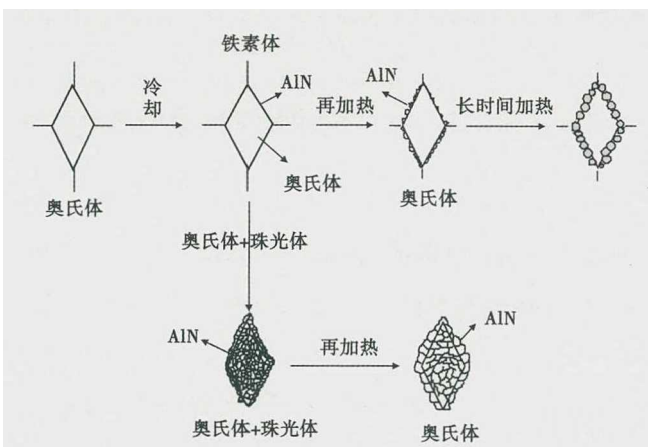


图4 碳-氮化合物在红送与冷送工艺条件下不同析出状态
Fig.4 Precipitation status of carbon-nitrogen compound in condition of HCR and CCR

6 结论

(1) 红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂

纹处无明显的外来或内生夹杂物,裂纹处脱碳不明显,深入铸坯基体的裂纹尖端处组织几乎未发生脱碳,裂纹并不是来源于连铸坯原始裂纹。

(2) Nb-V-Ti 微合金钢板红送与冷送对比试验表明,红送工艺生产 Nb-V-Ti 微合金钢板表面裂纹与加热时间关系密切,加热时间越长,钢板表面裂纹率越高。在目前工艺技术条件下,红送工艺生产微合金钢板需要严格控制加热时间在 3.5 h 以内。

(3) 红送铸坯加热时,奥氏体逐渐长大,同时碳-氮化合物在晶界不断析出,奥氏体塑性逐渐降低,裂纹倾向性逐渐增加,如果红送连铸坯在加热炉内长时间加热保温,奥氏体晶粒急剧长大,晶粒变得很粗大,塑性进一步降低,晶界强度进一步降低。在随后轧制过程中,在轧制应力作用下,产生表面裂纹。

(4) 冷送铸坯由于发生了奥氏体向铁素体和珠光体的转变,晶粒细小,同时一些析出物存在于晶粒内,而不是晶界。析出化合物就不会对连铸坯的热塑性与晶界强度产生明显影响。同时,由于奥氏体晶粒是由晶粒细小且均匀的铁素体转化而来,奥氏体晶粒细小且均匀,加热炉内较长时间加热保温后,奥氏体塑性不会像红送铸坯一样塑性急剧降低,裂纹产生倾向性较低。

参考文献

- [1] Zarandi F, Yue S. Improvement of Hot Ductility in the Nb-microalloyed Steel by High Temperature Deformation [J]. ISIJ International, 2005, 45(5): 686-690.
- [2] 万友堂. 热送中厚板生产线钢板表面裂纹的机理分析[J]. 钢铁研究, 2008, 36(3): 14-16.
- [3] 于宏伟. 热送热装工艺的研究[J]. 宽厚板, 2011, 17(2): 4-7.
- [4] 赵萌, 郭强, 胡贤磊. 邯宝公司集批热送热装轧制的实现[J]. 中国冶金, 2011, 21(3): 28-32.
- [5] 杨建洲. Q460C 钢表面星状裂纹产生原因探析[J]. 连铸, 2009(2): 35-38.
- [6] 姜振峰. 连铸坯热装热送的技术改造[J]. 中国冶金, 2004, 14(9): 30-32.
- [7] 王新华, 昌波, 李景捷, 等. 700~1000℃ 间含 Nb 钢铸坯的延塑性降低与 Nb(C/N) 析出[J]. 金属学报, 1997, 23(5): 485-489.
- [8] 于志远, 张红梅, 赵红阳, 等. C/N 化物析出对中厚板表面裂纹的影响[J]. 材料热处理技术, 2007, 37(24): 42-45.
- [9] Yoshiko Kamada, Tamotsu Hashimoto and Seiichi Watanabe. Effect of Hot Charge Rolling Condition on Mechanical Properties of Nb Bearing Steel Plate. ISIJ International, 1990, 30(3): 241-246.
- [10] Zarandi F and Yue S. Effect of Boron on Hot Ductility of Nb-microalloyed Steel [J]. ISIJ International, 2006, 46(4): 591-595.

曹磊(1984-),男,硕士(2010年东北大学),工程师,2008年武汉科技大学(本科)毕业,炼钢连铸工艺研究。

E-mail: 2290566367@qq.com

收稿日期:2018-02-10