

铝含量和表面淬火对 SWRCH22A 冷镦钢热送铸坯表面开裂的影响

李永超^{1,2} 李宝秀^{1,2} 郭明仪^{1,2} 阎丽珍¹

(1 邢台钢铁有限责任公司, 邢台 054027; 2 河北省线材工程技术研究中心, 邢台 054027)

摘要 SWRCH22A 钢炼钢工艺流程为 80 t 顶底复吹转炉-LF-280 mm × 325 mm 坯连铸。分析得出 SWRCH22A 钢热送铸坯表面开裂的原因主要是铸坯在冷却过程中, AlN 在晶界析出, 弱化了晶界, 在热应力和组织应力的作用下导致开裂。通过将铸坯的 Al 含量从 0.053% 降低至 0.042%, 氮含量从 0.005 5% 降至 0.004 1%, 以及铸坯加热前进行在线表面淬火, 有效抑制 AlN 析出, 使热送铸坯合格率由 77.9% 提高至 100%。

关键词 SWRCH22A 冷镦钢 280 mm × 325 mm 铸坯 热送表面裂纹 Al 含量 AlN 表面淬火

Influence of Aluminum Content and Surface Quenching on Surface Cracking of Hot-Charging Casting Bloom of Cold-Heading Steel SWRCH22A

Li Yongchao^{1,2}, Li Baoxiu^{1,2}, Guo Mingyi^{1,2} and Yan Lizhen¹

(1 Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027; 2 Hebei Engineering Research Center for Wire Rod, Xingtai 054027)

Abstract Steelmaking process flowsheet for steel SWRCH22A is 80 t top and bottom combined blown converter-LF-280 mm × 325 mm bloom casting. It is obtained by analysis that main cause for surface crack of hot-charging casting bloom of steel SWRCH22A is AlN precipitated at grain boundary during cooling to weaken the boundary and lead to crack under action of thermal stress and structure stress. With decreasing the Al content in bloom from 0.053% to 0.042%, decreasing nitrogen content from 0.005 5% to 0.004 1%, as well as in-line surface quenching bloom before heating, the AlN precipitation is effectively inhibited, and the qualified ratio of hot-charged casting bloom increases from 77.9% to 100%.

Material Index Cold-Heading Steel SWRCH22A, 280 mm × 325 mm Casting Bloom, Hot-Charging Surface Crack, Al Content, AlN, Surface Quenching

目前越来越多的钢铁企业开始采用铸坯热送热装工艺, 以达到节能降耗和提高生产效率的目的^[1-2]。但大量生产实践表明, 在低碳钢和低合金钢热送铸坯上常出现细小、成群分布的裂纹(称为红送裂纹), 难以磨削消除, 严重时导致铸坯报废, 造成很大的经济损失, 阻碍了热送工艺的推广^[3-7]。近期, 邢钢生产的 SWRCH22A 钢热送大方坯在开坯后, 热

轧坯表面出现大量裂纹, 呈撕裂或“Y”型裂(图 1a)。

1 生产工艺流程

SWRCH22A 钢的生产流程为: 高炉铁水 + 废钢 → 80 t 顶底复吹转炉 → 80 t LF 精炼 → 大方坯连铸 (280 mm × 325 mm) → 铸坯热送热装 → 大方坯加热 → 开坯 → 热轧坯 (160 mm × 160 mm) → 检验 → 步进

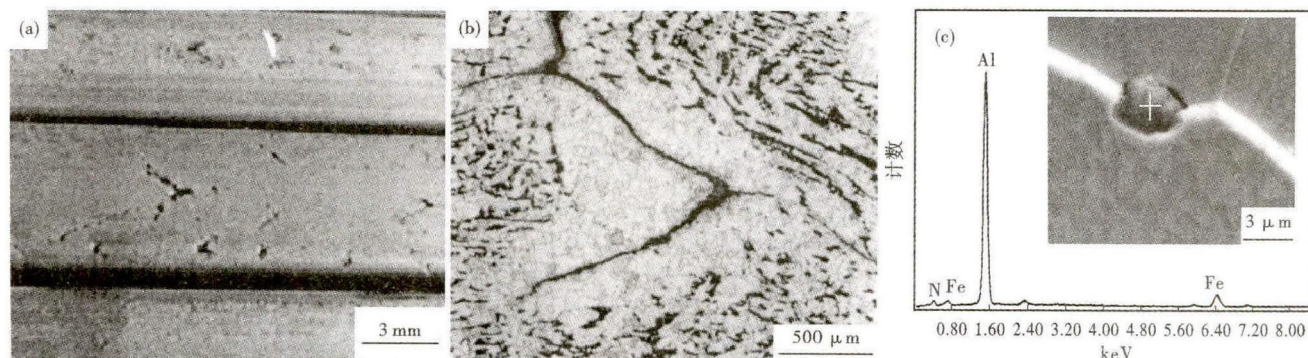


图 1 SWRCH22A 冷镦钢 160 mm × 160 mm 热轧坯表面裂纹(a)和附近组织(b)形貌;(c)析出 AlN 粒子形貌(SEM)和能谱图
Fig. 1 Morphology of surface crack (a) and nearby structure (b); (c) morphology of precipitated AlN particle (SEM) and energy spectrum, cold-heading steel SWRCH22A 160 mm × 160 mm hot rolled billet

梁式加热炉加热→高速线材轧制。

2 检验结果

采用直读光谱仪对开裂试样和正常试样的成分进行对比分析,结果见表 1 所示,成分符合 JIS 3507-1 2005《冷锻用碳素钢-第一部分:盘条》的要求。

图 1(b) 所示,裂纹深度较深,一般在 1.0~2.5 mm。裂纹周围有明显的脱碳,周围晶粒尺寸明显大于正常基体的晶粒尺寸。且随着向基体内部延伸,裂纹存在沿晶界分叉开裂的现象。说明铸坯在热装之前,裂纹已经存在。

通过扫描电镜对开裂样品进行观察,在晶间裂纹的周围发现了 AlN 粒子的存在(图 1c)。AlN 粒子大部分在晶界析出,大小约 3 μm,呈近似长条形。

表 1 SWRCH22A 冷锻钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of cold-heading steel SWRCH22A / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Cu	N
开裂试样	0.20	0.05	0.91	0.015	0.009	0.059	0.06	0.10	0.10	0.005 8
正常试样	0.19	0.06	0.90	0.016	0.008	0.035	0.08	0.08	0.09	0.005 6
JIS 3507	0.18 ~ 0.23	≤ 0.10	0.70 ~ 1.00	≤ 0.030	≤ 0.035	≥ 0.020	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.20	-

3 分析讨论

3.1 Al 含量的影响

由表 1 正常样品和开裂样品的成分对比可以看出,开裂样品的 Al 含量明显高于正常样品,其余成分基本相同。从图 2 中可以看出,Al 含量高于 0.045% 时,对钢的热塑性不利,铸坯开裂率明显升高。

从图 3 中可以看出,在同样的 N 含量(0.005 8%)下,Al 含量为 0.055%,AlN 开始析出温度为 1358 K;Al 含量为 0.035%,AlN 开始析出温度为 1311 K。前者开始析出的温度明显高于后者。随着钢中 Al 增加,钢的高温塑性转变温度升高,脆性谷的断面收缩率(R. A)值降低,脆性区间变宽,增加了钢在高温区的裂纹敏感性^[8-9]。

3.2 高温热塑性试验

通过图 4 的高温热塑性曲线可以看出,在 700~800 °C,断面收缩率出现较大的“V”型低谷,在 750 °C

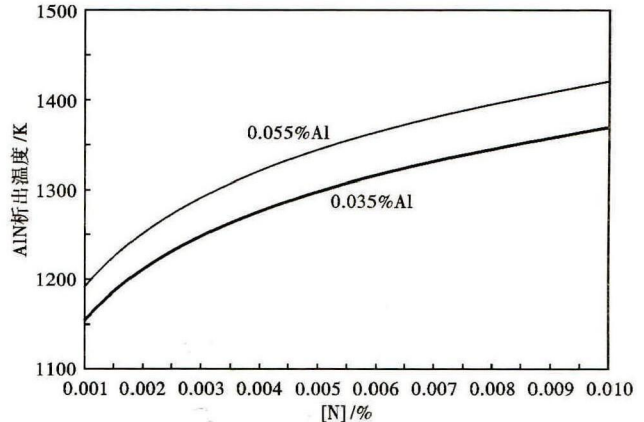


图 3 Al 含量对 AlN 的固溶积曲线的影响

Fig. 3 Influence of Al content on curves of solubility product of AlN

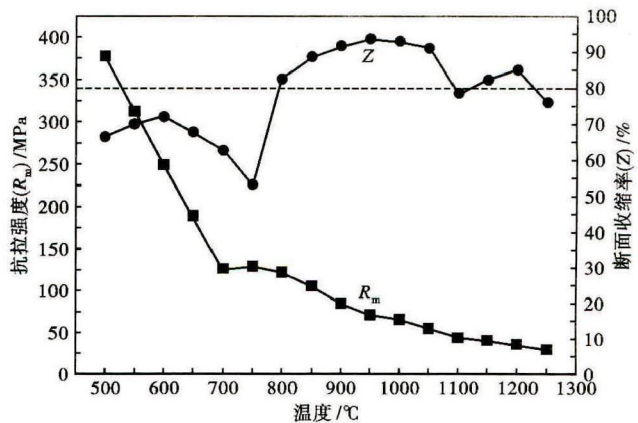


图 4 SWRCH22A 冷锻钢的热塑性和强度曲线

Fig. 4 Curves of hot plasticity and strength of cold-heading steel SWRCH22A

出现最低值,断面收缩率只有 51%。

“V”型低谷说明在 700~800 °C,AlN 在晶界大量析出,在受到热应力、组织应力和外加拉力的综合作用下,奥氏体晶界处易应力集中,原奥氏体晶界的 AlN 颗粒会与晶界产生空洞,这就是最初的空洞形核,当许多空洞形核后,随着应力的不断施加,这些空洞就会长大,长大到一定程度时,空洞之间就彼此融合,在原奥氏体晶界处形成晶间裂纹^[10]。图 1(c) 的扫描电镜观察也证实了这一点。

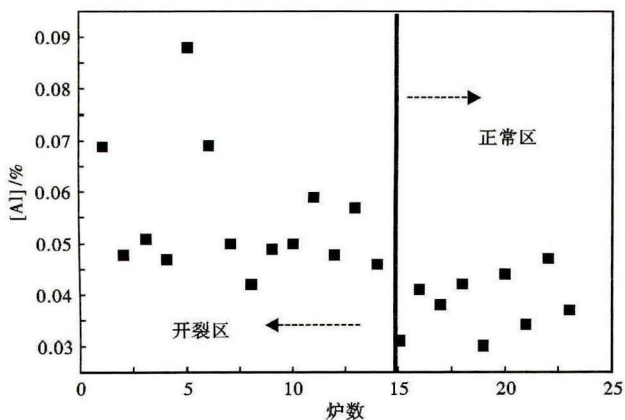


图 2 表面开裂炉次 Al 含量的统计图

Fig. 2 Statistical diagram of Al content in surface cracking heats

4 改进措施

4.1 Al 含量的控制

由表 2 可知,为避免钢中 Al 含量偏高,将铸坯铝含量的要求由 $Al \geq 0.020\%$ 修订为 $0.020\% \sim 0.045\%$,同时为保证钢中 Al 含量的精确度,加 Al 方式由原来转炉出钢时一次性加入,改为出钢时先加入部分铝合金,LF 精炼工序再喂 Al 线进行精准调整。通过采取以上措施,将铸坯 Al 含量由原来的 0.053% 降低为 0.042% ,铸坯全氧 T[O] 基本没有变化。因此,在脱氧效果不受影响的前提下,减少了因 Al 高对铸坯高温热塑性造成的不利影响。

4.2 N 含量的控制

氮含量的控制措施为:(1)定期维护出钢口,避免散流出钢;(2)LF 过程保证炉内微正压;(3)钙处理前将底吹氩气量由原来的 $90 \sim 110 \text{ L/min}$,降低到软吹氩气量 $60 \sim 80 \text{ L/min}$;(4)LF 软吹过程采用弱氩气搅拌,氩气量 $60 \sim 80 \text{ L/min}$,时间 $10 \sim 15 \text{ min}$;(5)连铸过程采用全程保护浇铸等措施,控制增氮小于 5×10^{-6} 。通过工艺改进后,铸坯氮含量由原来的 0.0055% 降低至 0.0041% 。

4.3 铸坯表面淬火

由表 3 可知,铸坯表面淬火是一种有效预防铝镇静钢和微合金钢热送裂纹的工艺。该工艺是指在铸坯出连铸机、进加热炉之前对表面进行在线淬火,使铸坯表层淬火后形成很细的马氏体组织,而铸坯心部仍将保持较高温度,对表层马氏体组织起到回火作用。目的主要是通过快速冷却,以抑制 AlN 等第二相的析出,改善钢的高温塑性,避免铸坯表面产

表 2 改进前后铸坯 Al 含量和 T[O]

Table 2 Al content and T[O] in casting bloom before and after process improvement

工艺	Al 含量要求/%	实测 Al 含量/%	实测 T[O]/%
改进前	≥ 0.020	0.053	0.001 1
改进后	$0.020 \sim 0.045$	0.041	0.001 3

表 3 表面淬火工艺对热送铸坯合格率的影响

Table 3 Influence of surface quenching process on qualified ratio of hot-charging casting bloom

工艺	热轧坯/支数	开裂/支数	合格率/%
淬火前	340	75	77.9
淬火后	988	0	100

生裂纹^[11-14]。这种方法最初由达涅利公司提出,并在低合金钢方坯上进行了应用实践。

邢钢通过在 7#连铸机安装表面淬火装置,对低碳铝镇静钢进行试验。通过现场生产实践表明,经过表面淬火处理的热送热装铸坯,热送的铸坯表面温度可降低到 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下,经开坯后热轧坯表面质量良好,未出现类似热送铸坯开坯后开裂的情况。

5 结论

(1)铸坯在凝固过程中,大量 AlN 在奥氏体晶界析出,引起晶界脆化, $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变产生的组织应力使晶界强度进一步弱化,并在热应力和组织应力的综合作用下形成初始表面裂纹,于开坯过程使裂纹进一步扩展。

(2)通过控制钢中 Al、N 含量,采取铸坯表面淬火工艺,有效抑制了 AlN 的析出,可较好预防热送热装铸坯表面裂纹的形成。

参考文献

- [1] 陈红雨,于长春,张建方. 宁波钢铁连铸坯热装热送生产实践[J]. 山东冶金,2012,34(1):57-58.
- [2] 孙永乐,刘德义,张吉伟,等. 连铸坯热送热装生产工艺的实践[J]. 中国冶金,2006,16(2):16-19.
- [3] 卢秉军,杨子江. 齿轮钢 SCM822H 热送裂纹的研究[J]. 轧钢,2003,20(5):62-64.
- [4] 夏文勇,朱正海,干勇. 微合金钢热送裂纹形成的试验研究[J]. 钢铁,2011,46(12):29-32.
- [5] 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.
- [6] 刘志明,张炯明,罗衍昭. 热装热轧微合金钢板表面裂纹分析[J]. 钢铁,2012,47(2):67-71.
- [7] 王贵,赵利萍,刘红彪,等. 低合金钢钢锭热送裂纹的形成机理[J]. 钢铁研究学报,2001,13(3):15-17.
- [8] 陈宏豫,岳尔斌. 钢中 Al 含量对 16Mn 系列板坯表面裂纹的影响[J]. 连铸,2002(6):31-33.
- [9] 孙彦辉,赵长亮,蔡开科,等. CSP 板卷边部裂纹影响因素分析[J]. 钢铁研究学报,2007,19(4):39-43.
- [10] 唐广波,赵军,裴英豪,等. 热送热装微合金钢板坯轧制过程表面裂纹分析[A]. 2010 钢材质量控制技术、形状、尺寸精度、表面质量控制与改善学术研讨会论文集[C]. 北京,2010:106-115.
- [11] Yasuhiro Maehara, Ken Kakai, Kunio Yasumoto, et al. Hot Cracking of Low Alloy Steel in Simulated Continuous Casting-Direct Rolling Process[J]. ISIJ Transactions, 1988, 28:1021-1027.
- [12] 李江. HSLA 钢连铸板坯热送过程组织演变及析出物行为研究[D]. 重庆:重庆大学,2013:14-16.
- [13] 钟婧,张少达. 用于热送的表面快冷工艺及其节能效果的分析[J]. 冶金能源,2015,34(1):16-19.
- [14] 鲁永剑,王谦,李江,等. 淬火温度对含 Nb 微合金钢热送铸坯组织转变的影响[A]. 2012 年微合金钢连铸裂纹控制技术研讨会论文集[C]. 九江,2012:35-39.

李永超(1985-),男,硕士(2012年北京科技大学),工程师,2009年河北理工大学冶金与能源学院(本科)毕业,中低碳冷锻钢的开发和工艺控制。

E-mail:liyongchao1220@163.com

收稿日期:2015-08-10