

首钢连铸 H08A 钢的开发与生产

熊万平 刘建辉 龚 坚 冬媛华

(首钢总公司)

摘 要 重点介绍了首钢总公司连铸 H08A 的开发与生产情况, 通过不断调整和优化 H08A 的生产工艺, 已逐步形成了稳定的低成本连铸 H08A 生产工艺路线, 质量稳定, 各项性能指标均能满足用户要求。

关键词 H08A 开发 生产

ShouGang Corporation Researching and Producing H08A

Xiong Wanping Liu Jianhui Gong Jian Dong Aihua

(Shougang Corporation)

Abstract This paper describes researching and producing H08A in ShouGang Corp., with the optimization and adjustment of process parameters, H08A has been produced with low-cost by continuous casting, the quality of billet and coil is stable, performance figures can satisfy the requirements of the user.

Key words H08A development production

1 前 言

2002 年 4 月起首钢第二炼钢厂及高速线材厂在公司的总体安排下, 进行了连铸 H08A 的试制开发工作, 经过技术人员的不断探索与实践, 逐步形成了 1 条稳定的低成本、高质量连铸 H08A 生产工艺路线, 月产量达到 2 万 t, 合格率稳定在 99 % 以上, 已成为我公司的主要产品之一。

2 基本技术要求和生产工艺

2.1 基本技术要求

H08A 做为生产焊条的主要用钢, 与其它钢种的最大差异之一, 就是要确保成品钢材的化学成分(其它钢种一般只需保证熔钢成分)。由于

不采用电磁搅拌, 钢水凝固过程中的选分结晶以及个别情况下宏观上的成分不均匀, 造成坯、材的成分不同于熔炼成分, 为确保钢材的化学成分符合要求, 并从生产实际出发, 我公司规定将 H08A 的熔炼成分做为目标成分, 以铸坯成分做为最终判定依据。具体要求见表 1。

2.2 生产工艺流程

根据首钢生产设备实际状况和该钢种的特点, 并综合考虑成本、质量的要求, 确定我公司 H08A 钢种的生产工艺路线如下:

高炉铁水→铁水包脱硫扒渣→210 t 顶吹氧气转炉→精炼吹氩喂丝→120 mm 方坯连铸→轧制→加热→粗、中轧→无扭高速精轧→ ϕ 6.5 mm 盘条→入库

表 1 H08A 焊接用钢的化学成分(质量分数)

项目	C	Si	Mn	P	S	Ni, Cr, Cu
国标	≤0.10	≤0.03	0.30~0.60	≤0.030	≤0.030	≤0.020
冶炼	≤0.08	≤0.03	0.35~0.55	≤0.025	≤0.027	≤0.020
铸坯	≤0.08	≤0.03	0.30~0.55	≤0.025	≤0.027	≤0.020

联系人: 熊万平, 工程师, 北京市(100041)首钢总公司技术研究院

3 炼钢工艺控制

如表 1 所示, H08A 钢种的成分要求决定了该钢种生产的难度在于成分和钢水氧化性的控制, 为此, 在 H08A 开发生产过程中, 重点对炼钢生产各工序中钢水氧化性的变化进行了重点分析研究。

3.1 冶炼工艺

入炉铁水首先经过脱硫扒渣处理。第二炼钢厂拥有具世界先进水平的铁水包单吹颗粒镁铁水脱硫工艺, 可使入炉铁水 $w(S)$ 稳定在 0.003 % 以下, H08A 要求入炉铁水 $w(S) \leq 0.015\%$, 经扒渣后铁水带渣量控制在 0.1 % 以下。转炉公称容量为 210 t, 采用 5 孔组合式氧枪喷头, 开吹氧气总管压力要求大于 1.4 MPa, 开吹枪位 2.3 ~ 2.5 m, 过程枪位 1.8 ~ 2.4 m, 终点降枪枪位 1.7 m, 时间大于 2 min。要求保持全程化渣良好, 炉渣碱度 3.2 ~ 3.6, 以保证良好的去 P、S 能力; 拉碳时按 $w(C)$ 0.10 % ~ 0.15 % 控制, 终点碳按 $w(C)$ 在 0.04 % ~ 0.07 % 控制, 终点 $w(S) \leq 0.025\%$ 、 $w(P) \leq 0.018\%$; 后吹 2 次以上要改为其他钢种; 用铝锰铁作主要脱氧剂, 按终点碳量配加铝粒, 出钢时加入二元合成渣 700 ~ 1 000 kg, 采用挡渣锥挡渣, 尽可能减少下渣, 钢包渣层厚度控制在 80 mm 以内; 出完钢后根据下渣情况在渣面加入一定量铝粒, 降低钢渣氧化性。

3.1.1 转炉熔池 [C]-[O] 平衡及对钢水氧化性的影响

转炉终点碳对转炉熔池氧含量影响较大, 图 1 作出了 1 600 ℃ 理论的 [%C]-[%O] 平衡曲线及现场实测 [%C]-[%O] 平衡曲线。

二炼钢炉前实测 [%C], [%O] 数据见表 2。

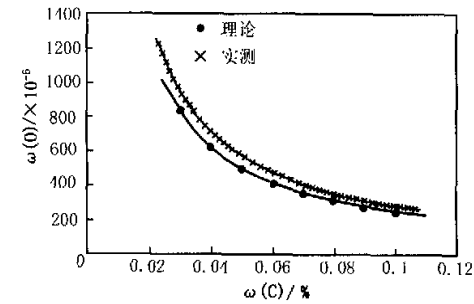


图 1 [%C]-[%O] 平衡曲线

理论 [%C]-[%O] 平衡曲线由下式得出:

$[C] + [O] = CO$
 $\lg K = 1\,168/T + 2.07$
 $[\%C]-[\%O] = 0.0025$

从图 1 可以看出, 由于转炉熔池中存在过剩氧, 转炉熔池实测氧含量比理论平衡值偏高, 实测数据回归分析公式为: $Y = 28.222 \times X^{-1.0034}$, 基本可以认为二炼钢厂转炉终点 [%C]-[%O] = 0.00282, 好于国内相关企业大型顶吹转炉实测 [%C]-[%O] 积。

表 2 二炼钢炉前实测 [%C], [%O] 数据

项 目	数 据										
$w(C)/\%$	0.098	0.092	0.083	0.064	0.065	0.053	0.05	0.044	0.041	0.031	0.026
$w(O)/\times 10^{-6}$	284	313	350	456	430	526	544	671	712	936	1 076
$T/^{\circ}C$	1 652	1 679	1 690	1 693	1 651	1 655	1 628	1 688	1 695	1 701	1 669

由于炉前终点碳过低时, 炉内钢水氧化性急剧增加, 为避免钢水过氧化现象的发生, 转炉终点碳在后吹情况下 $w(C)$ 在 0.04 % ~ 0.07 % 之间控制, 一次拉碳 $w(C)$ 在 0.04 % ~ 0.06 % 之间控制。

3.1.2 转炉后吹对炉渣氧化性的影响

由于二炼钢现无副枪动态控制, 为保证炉前操作的稳定性, H08A/S08A 要求后吹一次控制终点碳。通过对转炉后吹前后炉渣取样分析, 后吹后炉渣 ΣFeO 平均上升 6 %, 对炉渣氧化性影

响较大。为减少钢渣对钢水氧化性的影响, 转炉出钢过程采用挡渣锥进行挡渣。为提高挡渣效果, 对挡渣锥定位进行了优化并加强了对出钢口的维护, 在个别炉次出钢口状况不好和个别炉次挡渣锥定位不好的情况下, 一方面增加渣面铝粒的加入量, 渣面铝粒加入量的上限至 60 kg。另一方面在精炼采取了相应补救措施。

3.2 精炼工艺控制

3.2.1 精炼操作

预吹氩采用顶吹, 顶吹流量在标准状态下 1

$\times 10^3$ L/min, 预吹氩 3 min 后测温, 取样。预吹氩后钢水停止吹氩镇静 2~3 min 后再定氧, 氧活度 3 min 目标值为 $(40 \sim 60) \times 10^{-6}$ 。3 min 氧活度 $> 100 \times 10^{-6}$ 时, 先补加 FeSi, 底吹 3 min 后再喂铝线, 如定氧时 $w(O) > 40 \times 10^{-6}$, 继续加铝线脱氧, 吊包定氧要求 $w(O)$ 在 $(25 \sim 45) \times 10^{-6}$, 最好 35×10^{-6} L/min 左右。氧活度达到要求后, 根据 Si 含量确定钢水喂 CaSi 线的量, 一般控制在 200~600 m, 喂线速度 4~5 m/s。完成喂线后进行软吹氩, 时间 5~8 min, 氩气流量在标准状态下 100~300 L/min。精炼结束温度控制: 第一炉为 1 600~1 610 ℃; 连浇时 1 590~1 600 ℃。精炼结束目标成分见表 3。

表 3 精炼结束目标成分(质量分数)

C/%	Si/%	Mn/%	P, S/%	O/ $\times 10^{-6}$
≤ 0.07	0.02~0.03	0.40~0.50	≤ 0.025	25~45

3.2.2 精炼加 FeSi 及对操作和质量的影响

H08A 的化学成分国标为 $w(Si) \leq 0.03\%$, 从几次试验来看, 应尽可能控制钢水中 $w(Si)$ 在 0.02%~0.03% 之间。 $w(Si)$ 为 0.01%~0.04%, 钢水凝固时硅可降低树枝晶间浓缩相中的氧^[1]; $w(Si)$ 为 0.02%~0.03% 时, 铸坯气泡很轻微; $w(Si)$ 为 0.01% 时, 铸坯易出现气泡。在钢水和炉渣氧含量较高情况下, 使用少量 FeSi 予脱氧, 可以保证整炉钢水氧活度的均匀性, 同时也可降低炉渣氧化性, 降低了精炼活度氧异常波动的炉次。但为避免钢水增 Si, 要求加入 FeSi 后保证吹氩 3 min 以上再喂 Al 线继续脱氧。从生产实践来看, 在钢水氧含量较高的情况下, 加入适量 FeSi 钢水增 Si 不明显。

3.2.3 精炼加 BaCaSi 脱氧的效果分析

生产初期此钢种在精炼处理较为困难, 主要为部分炉次精炼过程中 $[O]$ 含量波动较大, 且其变化无规律可循。造成此种现象的主要原因为炉渣的氧化性较高, 不断向氧化性较低的钢水传氧, 导致钢水氧活度波动, 致使精炼处理时间过长, 个别炉次出现大批量气泡。表 4 为原有工艺条件下精炼 3 min 渣样及精炼结束渣样。

从表 4 可以看出, 精炼 3 min 和精炼结束相比较, 渣中 $FeO + Fe_2O_3$ 总量基本没有大的变化,

表 4 原有工艺精炼渣样成分(质量分数) %

炉号	时间/min	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃
2B6040	3	15.20	17.16	47.43	7.70	4.39	4.31	1.34
2B6040	结束	15.26	17.45	47.05	7.82	4.51	4.31	1.13
2B6042	3	13.13	14.75	51.06	7.97	3.87	4.67	1.37
2B6042	结束	13.36	16.24	50.10	7.19	4.16	4.45	1.41
2B6044	3	11.44	18.55	50.20	6.24	3.82	4.74	1.59
2B6044	结束	12.33	19.06	48.80	7.08	4.09	3.81	1.46

精炼 3 min 炉渣 $w(FeO + Fe_2O_3)$ 总量平均为 6%, 炉渣氧含量过高对钢水在精炼脱氧有较大的不利影响。

为进一步降低精炼顶渣的氧化性, 保持良好的渣钢之间氧平衡, 保证精炼脱氧操作有规律可循, 稳定精炼操作, 以保证铸坯质量。10 月份以来炉前提高了渣面铝粒的加入量, 同时精炼调整工艺加入 Si 含量较低的 BaCaSi 脱氧。精炼加入 BaCaSi 前后炉渣成分分析见表 5。

表 5 现有工艺精炼炉渣成分(质量分数) %

炉号	加合金顺序	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃
2A7453	加前	13.69	46.16	20.74	9.08	4.52	4.02	1.31
2A7453	加后	14.50	44.39	19.84	9.15	4.31	3.12	1.20
2C6974	加前	12.59	49.95	18.48	8.52	3.26	3.30	1.21
2C6974	加后	15.30	47.07	18.95	8.59	3.21	2.75	0.92

从表 5 可以看出, 精炼到站加 BaCaSi 后 3 min 顶吹, 一方面部分 BaCaSi 对 Al_2O_3 夹杂进行变形处理, 一方面部分 BaCaSi 降低了炉渣的氧化性。通过精炼加入 BaCaSi 与喂入 CaSi 线对钢水进行钙处理, 较大幅度的降低了连铸过程中水口“套眼”的发生。

3.3 连铸工艺

首钢第二炼钢厂连铸机为 CONCAST 8 机 8 流小方坯连铸机, 断面为 120 mm \times 120 mm, 15.5 mm 定径水口浇注, 中间包内衬为镁钙质, 中包采用低碳覆盖剂, 中包液面大于 550 mm, 结晶器使用油润滑, 拉速 2.8~3.0 m/min, 结晶器冷却水流量控制在标准状态下 $(1.45 \sim 1.6) \times 10^3$ L/min; 二冷比水量: 1.4 L/kg。H08A 钢的液相线为 1 525 ℃, 中包钢水温度控制在 1 540~1 560 ℃, 过热度为 15~35 ℃。

保证焊条钢质量的关键之一是控制铸坯气泡。气泡生成的机理为: 树枝晶间的浓缩相中形成针孔气泡源, 针孔气泡源长大形成临界气泡,

临界气泡长大形成宏观气泡。

气泡生成和发育的条件为:

$$P_g - 2\sigma^{1/2}/r \geq P$$

式中 P_g ——钢液中溶解气体压力, Pa

σ ——表面压力, N

r ——液面气泡半径, mm

P_1 ——钢水局部压力, Pa

钢水局部压力 P_1 大于大气压 101.33 kPa 时, 铸坯会出现气泡, 若 $r > 200 \mu\text{m}$, 则 $2\sigma^{1/2}/r$ 可忽略不计, 因此 $P_g \geq 101.33 \text{ kPa}$ 时出现临界气泡。为保证铸坯不出现气泡需控制临界气泡的形成, 要求 $P_g = P_{\text{CO}} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{H}_2} < P_1$ 。对 P_g 影响最大的是 P_{CO} , 生产中主要控制一氧化碳临界气泡的生成条件, 避免铸坯产生气泡。

从气泡形成的机理来看, 合理控制钢中硅、锰、氧、氢和氮含量是避免气泡产生的必要条件, 同时从气泡生成的动力学来考虑, 破坏枝晶间浓缩相中元素(O、H、N等)的富集, 使钢液在枝晶间均匀化也是减轻气泡生成的1个重要因素。因此使用结晶器电磁搅拌(EMS), 就是破坏枝晶间形成的针孔气泡源(临界气泡), 也就不会使临界气泡长大形成宏观气泡。通过提高拉速, 加强结晶器内钢液的流动可部分弥补无EMS搅拌的影响。采取的措施之一为将定径水口的直径由试验初期的 $\phi 15 \text{ mm}$ 改为 $\phi 15.5 \text{ mm}$, 并在保持连铸操作稳定的情况下将试用 $\phi 16 \text{ mm}$ 的定径水口。在浇注过程中尽可能提高中包液面, 使拉速维持在 $2.9 \sim 3.0 \text{ m/min}$ 左右。试验表明铸坯气泡较试验初期有较大改善。

从铸坯气泡的部位来看, 靠近供结晶器润滑油管的铸坯两面, 其针孔气泡明显高于另两面, 其原因是润滑油进入结晶器内会产生沸腾使针孔气泡增加。通过控制结晶器用油量, 铸坯表面的针孔气泡大幅下降。

3.4 低碳中间包覆盖剂效果

为避免铸坯增碳, 中间包使用低碳覆盖剂, 连铸坯增C较轻微。钢水C含量较低 $w(\text{C}) \leq 0.05\%$ 时, 个别炉次增碳量在 $w(\text{C})$ 0.02%左右。成品样与铸坯样化学成分波动范围不大。成分的波动范围: $w(\text{C})$ 在 $0 \sim 0.02\%$ 、 $w(\text{Si})$ 在 $0 \sim 0.01\%$ 、 $w(\text{Mn})$ 在 $0.02\% \sim 0.03\%$ 、 $w(\text{P})$ 在 $0 \sim 0.004\%$ 、 $w(\text{S})$ 在 $0.001\% \sim 0.002\%$ 。

4 轧制工艺

4.1 轧制工艺流程

加热→粗、中轧→无扭高速精轧→控冷→集卷→输送→检查→打捆→入库

4.2 工艺参数控制

H08A 盘条做为焊条、建筑编网、大帽钉等的原材料, 一般用于拉拔加工。因此要求有低的强度及较好的延伸性。为使 H08A 具有良好的拉拔性能, 在轧制过程中要控制较高的终轧温度和吐丝温度, 减少随后冷却相变时铁素体的形核率。同时, 吐丝温度高可使奥氏体分解在高温区进行, 降低奥氏体分解速度, 有利于先共析铁素体的充分析出和长大, 粗大的奥氏体转变为粗大的铁素体和少量的珠光体组织, 得到低强度、高塑性, 满足拉拔的要求^[2]。为此确定了开轧温度 $1000 \sim 1050^\circ\text{C}$, 吐丝温度 $900 \sim 950^\circ\text{C}$ 。从盘条性能分析, 可以保证用户使用用途。

5 产品质量

5.1 钢的化学成分波动范围

钢的化学成分波动范围如图2、图3、图4。

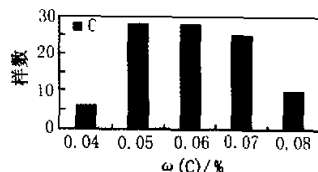


图2 碳含量成分波动范围

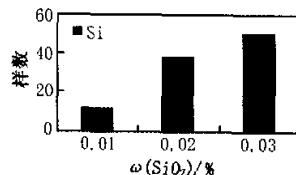


图3 硅含量成分波动范围

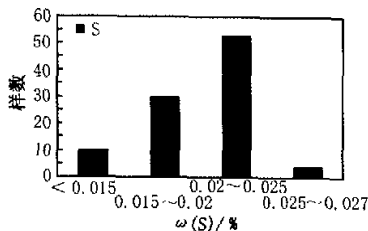


图4 硫含量成分波动范围

5.2 铸坯低倍结果

连铸坯低倍检验结果见表 7, 通过各项工艺优化, 连铸坯低倍质量较好。

表 7 铸坯低倍检验结果

炉号	中心疏松	非金属夹杂	缩孔	皮下气泡	中心裂纹
2C4879	0.5	0.5	0.5	0.5	0
2C4880	0	0.5	0.5	0.5	0.5
2A5306	0.5	0.5	0	0.5	0.5

5.3 铸坯供高线厂轧制

φ6.5 mm 盘条, 表面质量、性能均良好。各项性能指标均符合用户要求。138 批盘条力学指标分布情况见图 5、图 6、图 7。

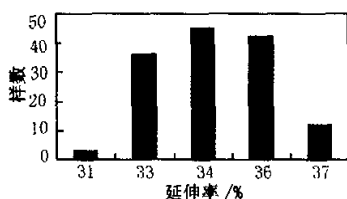


图 5 延伸率

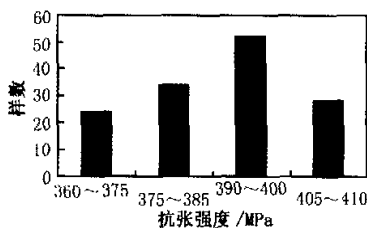


图 6 抗张强度

6 用户使用情况

用户采用我公司生产的 H08A 盘条, 基本上

(上接第 3 页)

CaO 为 2.45 kg, Mg 为 0.45 kg; 喷粉时间: 5 min 左右, 脱硫率可达 80 % 以上, 处理温降平均为 11.4 ℃。

(2) 马钢三钢厂铁水脱硫站经过 1 年多的生产实践证明, 设备运转正常, 工作可靠, 能够满足马钢冶炼新钢种的需要, 为炼钢厂开发优质钢

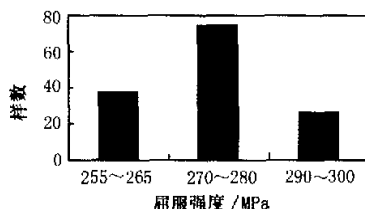


图 7 屈服强度

有 3 种用途: (1) 主要用途为拔成 φ 2.0~4.2 mm 后用做焊条; (2) 拔成 0.8 mm 或 1.2 mm 后出口美国用于建筑编网; (3) 用于生产大帽钉, 帽部 φ10 mm, 钉尖 φ2 mm。从用户的不同用途可以看出, 我公司生产的 H08A 钢种具有良好的内部质量, 能够满足不同用户的不同需要, 自二炼钢厂大规模生产 H08A 以来, 用户一直反映良好, 尚未接到过质量异议。

7 结 论

(1) 首钢第二炼钢厂经过对炼钢、精炼、连铸工艺的不断调整、优化, H08A 生产过程中钢水氧化性控制稳定, 钢水氧活度控制在 $(25 \sim 45) \times 10^{-6}$ 之间, 连铸浇注顺利, 工艺已成熟稳定。

(2) 生产出的铸坯低倍评级均 ≤ 0.5 级, 皮下气泡评级 0.5 级, 铸坯合格率达 99 % 以上。

(3) H08A 盘条成分、性能稳定, 可拉拔至 φ 0.8 mm, 各项性能指标均能满足用户要求。

参 考 文 献

- 1 桥普正史, 森一美. 钢水凝固时硅对气泡生成的影响. 铁和钢, 1979(6)
- 2 王有铭主编. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京: 冶金工业出版社, 1995
- 3 孙永乐. LS08 拉丝用钢盘条的研制与开发. 炼钢, 2002(1)
- 4 宋维锡主编. 金属学. 北京: 冶金工业出版社, 1997

(收稿日期: 2002-10-28)

种提供了可靠的技术保证。但三钢厂铁水脱硫站铁水脱硫的能力尚未发挥, 应从钢种开发、高炉生产等方面考虑, 协调炼铁与炼钢之间的关系, 进一步发挥脱硫站的生产能力, 提高公司的综合经济效益。

(收稿日期: 2002-07-08)