包钢70高碳钢炼钢工艺优化及铸坯质量分析

银志军[1],王文义[1],赵晓敏[2],张 顺[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要:为改善产品质量,包钢对70高碳钢炼钢工艺进行了优化改进,结果表明:工艺优化后,铸坯质量显著改善,中心裂纹、中心疏松、非金属夹杂物缺陷级别均不超过0.5级,柱状晶比例较小,组织结构致密;有效地降低了70钢铸坯中心碳元素的富集和偏析,中心碳偏析指数由1.10降至1.03,铸坯未见大颗粒非金属夹杂物;改善后,盘条拉拔断裂得到有效抑制,拉拔性能显著改善。

关键词:70高碳钢;铸坯;中心碳偏析;夹杂物
中图分类号:TF777 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2020)04-0037-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.010

Optimization for Steel-making Process and Analysis on Slab Quality of 70 High Carbon Steel of Baotou Steel

Yin Zhi-jun[1], *Wang Wen-yi*[1], *Zhao Xiao-min*[2], *Zhang Shun*[1]

(1. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In order to improve product quality, the steel-making process of 70 high carbon steel is optimized and improved by Baotou Steel. The results showed that the slab quality was significantly improved, levels of centre burst, center porosity and defect of non-metallic inclusions were all not over grade 0.5, proportion of columnar crystal was smaller and its texture was dense; the enrichment and segregation of carbon element in the center of casting blank of 70 steel were effectively reduced, central carbon segregation index decreased from 1.10 to 1.03 and no large-grained non-metallic inclusions were found in casting blank after the process optimization; the drawing fracture of wire rod was effectively suppressed and drawing property was significantly improved after the improvement.

Key words: 70 high carbon steel; casting blank; central carbon segregation; inclusion

70钢属于高碳硬线钢属优质碳素钢盘条,是钢制品工业应用广泛、需求量大、技术含量高的高附加值产品,具有广阔的应用前景,主要用于生产碳素结构钢丝、胎圈钢丝、钢丝绳、弹簧、钢芯铝绞线、预应力钢丝等[1]。由于盘条后续加工变形量较大,要求盘条具有良好的表面质量、通条成分波动小、夹杂物

收稿日期:2020-06-28
作者简介:银志军(1987-),男,内蒙古乌兰察布市人,助理工程师,现从事钢铁新产品及炼钢新工艺研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

含量低、尺寸偏差小、晶粒度适中和高的索氏体比例[2-3]。包钢早在2012年就开始采用小方坯工艺生产70高碳钢，但用户使用效果不理想，为了更好地满足用户使用要求，包钢炼钢厂对70高碳钢炼钢工艺进行了优化改进，提高稳定了70高碳钢产品质量，提升钢厂冶炼技术水平，优化了产品品种结构。

1 生产工艺流程及技术要求

1.1 工艺流程

高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF精炼→150 mm×150 mm小方坯连铸→钢坯加热→高压水除鳞→粗轧轧制→飞剪→中轧轧制→卡断剪→精轧轧制→控冷水箱→吐丝→斯太尔摩冷却→集卷→修剪→取样检验→收集打捆→称重→成品线材

1.2 化学成分

70钢是高碳硬线钢，是一种拉拔用高附加值产品，要求盘条要有较高强度的同时，还要有较好的韧性、塑性，这就要求钢中非金属夹杂物、成分均匀性、表面质量及尺寸精度、组织均匀性以及通条稳定性都有较高的要求。钢中碳含量的波动对控制盘条组织均匀性起决定性作用，由于碳元素波动较大，盘条组织容易出现网状铁素体、网状渗碳体等异常组织，造成盘条拉拔产生“笔尖状”断裂，因此要采用窄成分控制 w[C] 0.68%～0.71%。70钢属于镇静钢，冶炼要加入硅作为还原剂和脱氧剂，可提高钢的屈服强度和抗拉强度，但要加入适量的硅，内控要求加入量0.20%～0.30%，改善盘条通条性能或防止由于加入硅造成大量的硅酸盐夹杂物造成拉拔断裂现象。在冶炼过程中，锰是良好的脱氧剂和脱硫剂，使钢具有较好的强度和韧性，考虑盘条的拉拔性能，加入 w[Mn] 0.60%～0.70%。磷、硫是钢中的有害元素，为保证钢水的洁净度，要保证低磷低硫。根据以上分析，结合包钢冶炼水平，制定了70钢化学成分控制要求，具体见表1。

表1 70钢化学成分控制要求(质量分数) %

标准	C	Si	Mn	P	S
国标[4]	0.67～0.75	0.17～0.37	0.50～0.80	≤0.035	≤0.035
内控	0.68～0.71	0.20～0.30	0.60～0.70	≤0.020	≤0.015
目标	0.70	0.25	0.65	≤0.020	≤0.015

2 炼钢工艺控制情况

2.1 转炉冶炼

为保证钢中的磷、硫含量，要求控制对入炉铁水中的磷、硫含量，转炉入炉硫含量不大于0.015%，磷含量不大于0.120%。为促进钢水成分、温度均匀及钢水洁净度的改善，冶炼过程采用顶底复吹冶炼。转炉出钢合金化加入顺序低氮增碳剂+硅铁+硅锰(锰铁)，转炉顶加入，待合金加入完毕后加入石灰优化前的200 kg增加到300 kg。采用双挡渣操作，严禁下渣，防止回磷过量，使回磷量不大于0.004%。转炉冶炼实行定量装入，装入量按每炉(103±2) t执行，其中铁水91～93 t，废钢10～12 t，出钢量控制在93 t左右，利用冶炼前期形成的低碱度、较高还原性及合适温度的熔渣有效脱磷，采用高拉碳工艺，出钢终点成分 w[C] ≥ 0.10%，w[P] ≤ 0.020%，w[S] ≤ 0.015%，出钢温度1 610～1 630 ℃；为更好地发挥LF精炼效果，出钢采用渣洗工艺，为充分发挥其效果，对渣料的加入进行了优化改进。

2.2 LF精炼

精炼前期采用高电压、长弧、小电流操作，加入电石、硅铁粉造渣，生成 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 三元渣系，碱度按1.4～1.7控制，利用低碱度、低熔点、氧化性的精炼渣有效脱硫，吸附钢中夹杂物，降低钢中总氧含量，净化钢液；为更好地对夹杂物变性处理，促进钢水洁净度的改善，通电化渣结束后向钢包钢水喂入硅钙线，喂入量为1 m/t，控制钢液中的钙含量，生成低熔点液态夹杂物，改善钢水流动性；为更好地促进钢液中夹杂物上浮排除，喂线结束对钢水进行小氩气量软吹，流量控制在30 L/min左右，软吹时间大于15 min，LF精炼优化前后工艺参数具体见表2。

中国知网 https://www.cnki.net

表 2　LF 精炼优化前后工艺

时间	生石灰/kg	电石/kg	硅铁粉/kg	软吹氩气流量/(L·min^{-1})	软吹时间/min
优化前	40	60	75	20	15
优化后	50	70	80	30	18

2.3　连铸工艺

连铸采用弧半径为 10.5 m 的 6 机 6 流小方坯工艺进行浇注，铸坯断面为 150 mm×150 mm，采用大包长水口、结晶器浸入式水口全程保护浇铸，防止钢水二次氧化。采用大容量深熔池中间包，促进钢液流场的改善；浇铸过程采用中间包连续测温、结晶器液面自动控制、结晶器电磁搅拌、二冷自动配水等先进技术，通过适当增加电流强度，增强电磁力对结晶器内钢水对流作用，打断了柱状晶的“搭桥”现象，促进铸坯中心细小等轴晶的形成，减轻铸坯中心偏析；采用低过热度和典型拉速制度，过热度按 15～25 ℃控制，拉速按 1.9～2.1 m/min 控制；二次冷却采取弱冷自动配水，比水量按 0.80～1.0 L/kg 控制，具体工艺见表 3。

表 3　连铸优化前后工艺

时间	过热度/℃	比水量/(L·kg^{-1})	末端电搅电流强度/A	结晶器电磁搅拌参数
优化前	25～35	0.88	200	电流：200 A，频率 3.5 Hz
优化后	15～25	0.79	100	电流：270 A，频率 3.5 Hz

3　试制结果与分析

3.1　铸坯低倍组织

铸坯经过铣床加工，加工至表面粗糙度不大于 1.6 μm，然后试样经过 60～80 ℃盐酸腐蚀，对铸坯内部质量进行评级，评级结果见表 4。中心裂纹、中间裂纹、中心缩孔、角部裂纹、皮下裂纹等缺陷都为 0 级，中心疏松 0.5 级，夹杂物 1 级。图 1 是 70 钢铸坯热酸低倍照片，从低倍照片可以看到，柱状晶比例减少，基本都是细小的粒状晶。

表 4　连铸坯热酸低倍检验结果　　级

熔炼号	中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下裂纹	角部裂纹	夹杂物
19101126	1.0	0	1.0	0	0	0	0.5
19101127	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.5
19101128	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.5
19101129	0.5	1.0	1.0	0	0	0	0.5

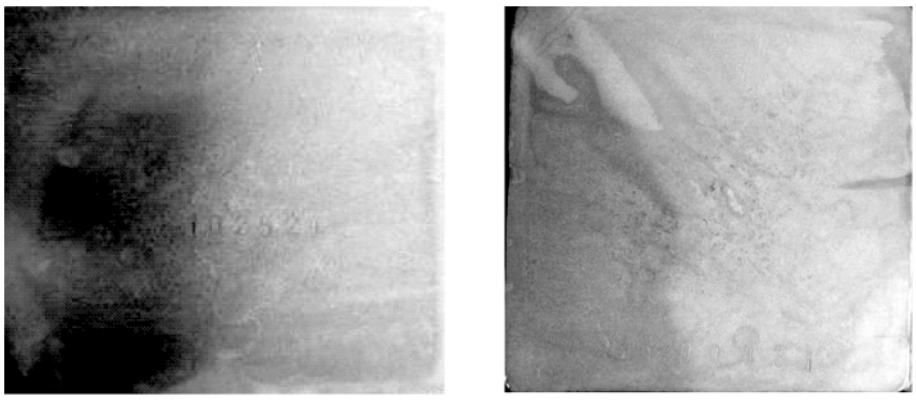


图 1　70 钢铸坯热酸低倍照片

中国知网　https://www.cnki.net

3.2 铸坯电磁搅拌参数对中心碳偏析指数的影响

铸坯从表壳到中心结晶过程中，由于钢种的一些溶质元素，如C、Mn、S等，在固溶边界上溶解并平衡移动，发生再分配，从柱状晶析出的溶质元素排到尚未凝固的金属液中，随着结晶的继续进行，把富集的溶质推向最后凝固中心，产生铸坯的中心偏析，可采用凝固末端电磁搅拌技术改善高碳钢中心偏析。适当增加电搅强度后，电磁力作用加强了结晶器内钢水对流，打断了柱状晶的“搭桥”现象，铸坯中心形成的细小等轴晶减少了凝固桥的形成，减轻了铸坯的中心偏析[5]。使用末端电磁搅拌时，相同拉速、二冷比水量、末端电磁搅拌频率条件下，研究搅拌电流强度对铸坯中心偏析的影响。频率为7 Hz时，改变末端电磁搅拌电流强度，分别选取0 A、100 A、200 A、300 A。横向截面取30 mm厚铸坯，磨床磨光断面后，采用Φ6 mm的全合金钻头钻取屑状样进行化学法分析检验碳含量，用几何法分析中心碳偏析指数。取样示意图如图2所示。不同电流强度下的中心碳偏析指数检验结果如图3所示，随着电流强度的增大，中心碳偏析指数逐渐减小，当电流强度为200 A时，中心碳偏析指数最小，电流强度大于200 A时，中心碳偏析指数逐渐增大。

通过对末端电磁搅拌进行改进优化，70钢铸坯中心碳偏析指数由1.10降至1.03，中心碳偏析得到改善，防止盘条在轧制过程中出现网状渗碳体或网状铁素体等异常组织。在用户进行拉拔过程中，70高碳钢盘条拉拔断口杯锥状率不大于4%，用户每百吨拉拔断丝率不超过5次，盘条拉拔断裂得到有效抑制，拉拔性能显著改善，基本达到国内先进水平。

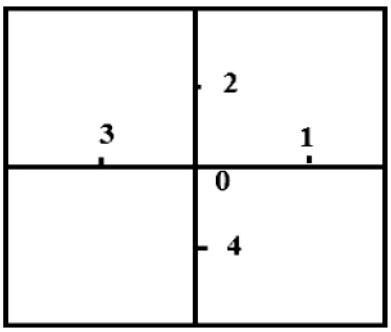


图2 150 mm×150 mm铸坯断面取样示意图

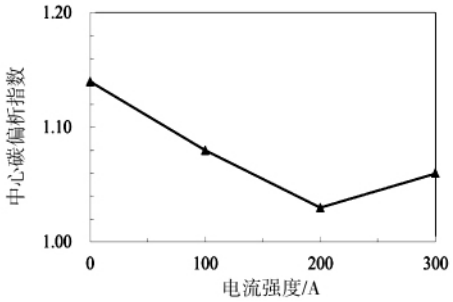


图3 不同电流强度下的中心碳偏析指数

3.3 铸坯夹杂物控制

70钢属于高碳硬线钢，主要用于生产预应力钢绞线、钢丝绳、胎圈钢丝等金属制品，需要拉拔道次较多，变形量较大。用途不同，成品拉拔直径不同，最终成品规格1.0 mm左右，盘条拉拔越细时，影响盘条拉拔性能的主要因素就是钢的洁净度，这就需要对钢的夹杂物的尺寸、形态以及分布都有严格的要求。70高碳钢连铸坯的金相非金属夹物检验结果见表5，工艺优化后，粗系夹杂物均控制在0.5级以内，细系夹杂物控制在1.0级以内，未出现大型夹杂物。

表5 铸坯非金属夹杂物检验结果 级

夹杂物类别	A类		B类		C类		D类		Ds类
	细系	粗细	细系	粗细	细系	粗细	细系	粗细	
级别	0.5	0	1.0	0.5	0.5	0	1.0	0.5	0

4 结论

(1) 包钢制定的70高碳钢生产工艺合理可行，钢中磷、硫含量、铸坯质量以及中心碳偏析控制达到国内先进水平。

(2) 通过对70高碳钢转炉渣洗工艺、LF造渣工艺、连铸中包控流装置、末端电磁器电搅工艺等优化，铸坯质量显著改善，中心裂纹、中心疏松、非金属夹杂物缺陷级别均不超过0.5级，柱状晶比例较小，组织结构致密。 （下转第55页）

中国知网 https://www.cnki.net

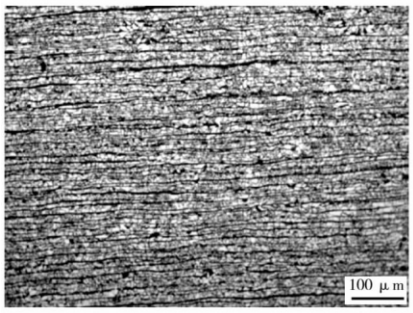


图 1　含 V 成品翼缘组织

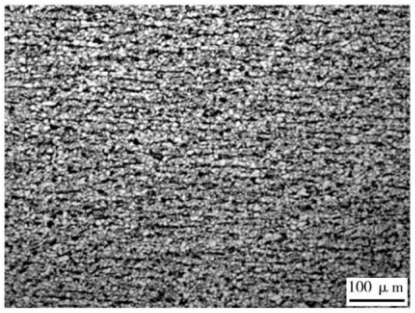


图 2　含 Nb 成品翼缘组织

3　结论

(1) 通过对低成本含 Nb 热轧 H 型钢的冶炼工艺、加热制度、开轧温度、终轧温度等关键工艺控制与优化，保证了性能稳定波动小；实现了产品批量化生产及供货。

(2) 影响包钢低合金高强度 H 型钢屈服强度的主要元素是 C、Si、Mn、V、Nb，在低合金高强度 H 型钢的成分设计中，通过添加适当的 V 元素可以起到强化作用，满足产品力学性能的效果。通过成分优化，以 Nb 替代 V，适当降低 Mn，可以降低产品的生产成本，提高公司的经济效益，各项性能符合标准要求，优化后未产生因性能不合的降级品，提高了产品的市场竞争力。

参　考　文　献

[1] 王建军，张盼荣. 提高 Q345B 钢板屈服强度的 TMCP 工艺 [J]. 山西冶金，2011，(4)：57－59.

[2] 齐俊杰，黄运华，张跃. 微合金化钢 [M]. 北京：冶金工业出版社，2006.

[3] 苏世怀，孙维，潘国平. 热轧 H 型钢 [M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

(上接第 40 页)

(3) 通过对炼钢工艺优化，降低中心碳偏析指数，盘条拉拔断裂得到有效抑制，拉拔性能显著改善。

参　考　文　献

[1] 何丽珠，王宁，喻爱喜. 高碳硬线 70 钢的生产实践 [J]. 工艺装备，2010，(2)：50－52.

[2] 王晓峰，马杰. 浅谈高碳硬线钢中非金属夹杂物 [J]. 冶金丛刊，2006，(4)：4－7.

[3] 邵主彪. 转炉生产高碳硬线钢的工艺实践 [J]. 河南冶金，2006，4(2)：155－157.

[4] GB/T 699—2015，优质碳素结构钢 [S].

[5] 张卫强，陈伟，李金柱. 昆钢 70 高碳钢炼钢工艺优化及铸坯质量分析 [J]. 炼钢，2012，28(5)：38－42.

中国知网　https://www.cnki.net