

80 t 顶底复吹转炉-1[#] LF-2[#] LF-VD-CC 流程帘线钢 XLX72A 的开发

吴胜军

(湘潭钢铁有限公司,湘潭 411101)

摘 要 通过转炉终点控制- $\% \geq 0.12\text{C}$ 、 $\leq 0.008\text{P}$ 、 $\leq 0.010\text{S}$ -1[#] LF 碱性渣精炼 $\geq 40\text{ min}$,2[#] LF 酸性渣($R = 0.8 \sim 0.9$)精炼 30 min-VD 67 Pa $\geq 10\text{ min}$,软吹氩 $\geq 15\text{ min}$ -保护浇铸(钢水过热度 $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$),结晶器和末端电磁搅拌等工艺措施,开发了帘线钢 XLX72A($\% : 0.69 \sim 0.73\text{C}$, $0.20 \sim 0.28\text{Si}$, $0.47 \sim 0.55\text{Mn}$, $\leq 0.015\text{P}$, $\leq 0.015\text{S}$, $\leq 0.05\text{Ni}$, $\leq 0.08\text{Cr}$, $\leq 0.05\text{Cu}$, $\leq 0.005\text{Al}$)。结果表明,钢中 Cu、Al 含量分别为 0.02% ~ 0.03% 和 0.002% ~ 0.003%, $\Phi 5.5\text{ mm}$ 材的抗拉强度 R_m 为 1 050 ~ 1 090 MPa,断面收缩率 Z 为 43.5% ~ 48.0%,钢中低倍组织和显微夹杂物级别均符合标准要求,使用性能良好。

关键词 帘线钢 XLX72A 转炉-1[#] LF-2[#] LF-VD-CC 流程 Al 含量 夹杂物 工艺实践

Development of Tire Cord Steel XLX72A by 80 t Top and Bottom Combined Blown Converter-LF No1-LF No2-VD-CC Flow Sheet

Wu Shengjun

(Xiangtan Iron and Steel Co Ltd, Xiangtan 411101)

Abstract The tire cord steel XLX72A ($\% : 0.69 \sim 0.73\text{C}$, $0.20 \sim 0.28\text{Si}$, $0.47 \sim 0.55\text{Mn}$, $\leq 0.015\text{P}$, $\leq 0.015\text{S}$, $\leq 0.05\text{Ni}$, $\leq 0.08\text{Cr}$, $\leq 0.05\text{Cu}$, $\leq 0.005\text{Al}$) has been developed by using the operation measures including converter end controlling - $\% \geq 0.12\text{C}$, $\leq 0.008\text{P}$, $\leq 0.010\text{S}$ -LF No1 basic slag refining for $\geq 40\text{ min}$ -LF No2 acid slag ($R = 0.8 \sim 0.9$) refining for 30 min-67 Pa VD refining for $\geq 10\text{ min}$ and soft argon blowing for $\geq 15\text{ min}$ -shielding casting (liquid overheating $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) with mold and end electromagnetic stirring. Results show that the Cu and Al content in steel are respectively 0.02% ~ 0.03% and 0.002% ~ 0.003%, the tensile strength R_m of $\Phi 5.5\text{ mm}$ product is 1 050 ~ 1 090 MPa and its reduction of area Z is 43.5% ~ 48.0%, the ratings of macrostructure and micro inclusions in steel meet the requirement of standard, and its service performance is better.

Material Index Tire Cord Steel XLX72A, Converter-LF No1-LF No2-VD-CC Flow Sheet, Al Content, Inclusions, Process Practice

帘线钢主要用于轮胎子午线和胎圈钢丝,广泛用于各类汽车轮胎,具有高强度、高韧性、耐腐蚀等性能。帘线钢的生产是将 $\Phi 5.5\text{ mm}$ 的盘条拉拔成 $\Phi 0.2\text{ mm}$ 左右的钢丝,此过程接近钢材拉拔工艺的极限,对原料的化学成分、夹杂物含量^[1]与形态及盘条表面质量要求严格。

关于帘线钢的生产及质量控制,国外钢厂积累了许多经验,形成了较为成熟的工艺。近年来,国内钢厂陆续进行了帘线钢的研发,2008 年起湘钢通过控制钢中夹杂物含量和形态、降低连铸坯碳偏析、优化轧制工艺参数及制定合适的控冷程序等,成功地开发出帘线钢 XLX72A。

1 帘线钢 XLX72A 的工艺流程和成分设计

生产设备为:3 座 80 t 顶底复吹转炉;3 台 90 t LF,1 台单盖双坑 VD 装置;1 台 Concast 150 mm × 150 mm 四机四流高效连铸机;步进式加热炉,摩根 5 代 28 架平立交替轧机。

工艺流程为:铁水预处理-顶底复吹转炉-1[#] LF-2[#] LF-VD-连铸-铸坯检查判定-高线轧制-成品检验判定-包装入库。

XLX72A 对成分要求严格,不仅要求同批次成分均匀,不同批次成分稳定,而且要求钢中有害元素含量低。

国内企业现有帘线钢 72A 生产并无统一的国家标准,其化学成分基本以 YB/T146-1998《预应力钢丝及钢绞线用热轧盘条》与目标 JIS G3506-1996《高碳钢盘条》的 SWRH72A 和 72A 为准(表 1),力学性能参考 GB/T4354-1994《优质碳素钢热轧盘条》,湘钢通过大量的市场调查和对用户信息的收集,依据以上标准并结合各元素对钢材性能的影响,制订了 XLX72A 钢企业生产标准(见表 1)。

硫只能溶于钢液中,在固态钢中很难溶解,而是以 FeS 和 MnS 等夹杂形式存在。硫的最大危害是引起钢的热脆。通过对盘条取样分析,发现硫含量越高,其拉拔性能有变差的趋势。

表 1 SWRH72A、72A 和 XLX72A 钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of steel SWRH72A, 72A and XLX72A / %

牌号		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al
SWRH72A		0.69 ~ 0.76	0.15 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	≤0.030	≤0.030				
72A		0.70 ~ 0.75	0.12 ~ 0.32	0.30 ~ 0.60	≤0.025	≤0.025			≤0.20	
XLX72A	判定	0.69 ~ 0.73	0.20 ~ 0.28	0.47 ~ 0.55	≤0.015	≤0.015	≤0.05	≤0.08	≤0.05	≤0.005
	内控	0.70 ~ 0.72	0.23 ~ 0.27	0.48 ~ 0.52	≤0.012	≤0.012	≤0.05	≤0.08	≤0.05	≤0.005
实测	1 [#]	0.70	0.24	0.49	0.010	0.008	0.009	0.03	0.02	0.003
	2 [#]	0.71	0.24	0.50	0.009	0.010	0.008	0.04	0.02	0.002
	3 [#]	0.71	0.24	0.51	0.011	0.009	0.006	0.03	0.03	0.003
	4 [#]	0.70	0.25	0.52	0.010	0.011	0.007	0.04	0.02	0.002

磷在钢中具有一定的溶解度,可固溶于钢中。磷具有固溶强化作用,能提高钢的强度和硬度,同时会降低钢的韧性,尤其是低温韧性,引起钢的冷脆。此外,磷还具有严重的偏析倾向,并且它在 γ -Fe 和 α -Fe 中的扩散速度很小,很难用热处理的方法予以消除。

其他微量元素的影响,Cu 含量过高会引起红脆,Cr、Ni 等元素会影响热处理工艺及产品性能,Ti、Al 生成氧化铝和氮化钛等脆性夹杂物导致拉拔和合股过程中断丝。

钢中有害元素和夹杂物等严重影响帘线钢的相关性能,只有比较彻底地去除杂质元素,同时改变夹杂物形态和分布状态才能保证钢的性能,当夹杂物无法去除时,则应通过改变夹杂物形态并使其细小均匀地分布于钢中,以减少其危害。因此,从炼钢到连铸各工序的操作重点是对钢中夹杂物和有害元素的控制,轧钢工序使帘线钢盘条获得良好的组织及表面质量。

2 XLX72A 夹杂物的控制和工艺实践

帘线钢要求钢中全氧含量控制在较低水平,以

减少夹杂物的总量,国外高品质帘线钢的全氧含量一般 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 。帘线钢不允许钢中含有尺寸 $\geq 10 \mu\text{m}$ 的 Al_2O_3 、TiN 等脆性夹杂,且要求夹杂物在加工过程中变形性较好,在拉拔及合股过程不断丝。夹杂物中 Al_2O_3 理想的存在形式是以锰铝榴石 ($3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$)、钙斜长石 ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 及相邻的低熔点区域存在。

夹杂物中理想的 Al_2O_3 含量在 20% 左右,而夹杂物中 Al_2O_3 含量取决于钢中 Als 浓度,图 1(a) 所示,钢中 Als 含量越高,夹杂物中 Al_2O_3 含量越高。如要将夹杂物中 Al_2O_3 含量控制在 20% 左右,必须控制钢中 Als 在 $(3 \sim 6) \times 10^{-6}$ 。实际生产时即使用高纯硅和金属锰进行脱氧合金化处理,钢中 Als 含量也远高于 $(3 \sim 6) \times 10^{-6}$,必须通过精炼技术来进一步控制钢中的 Als 含量。

钢中 Als 含量主要受精炼渣中 Al_2O_3 含量、渣的碱度和精炼温度的影响。如图 1(b) 表示,在 1550 $^{\circ}\text{C}$ 时通过热力学计算得出钢中 Als 含量与精炼渣的碱度和温度的关系。从图 1(b) 中可看出,钢中 Als 含量随精炼渣碱度、渣中 Al_2O_3 含量和精炼

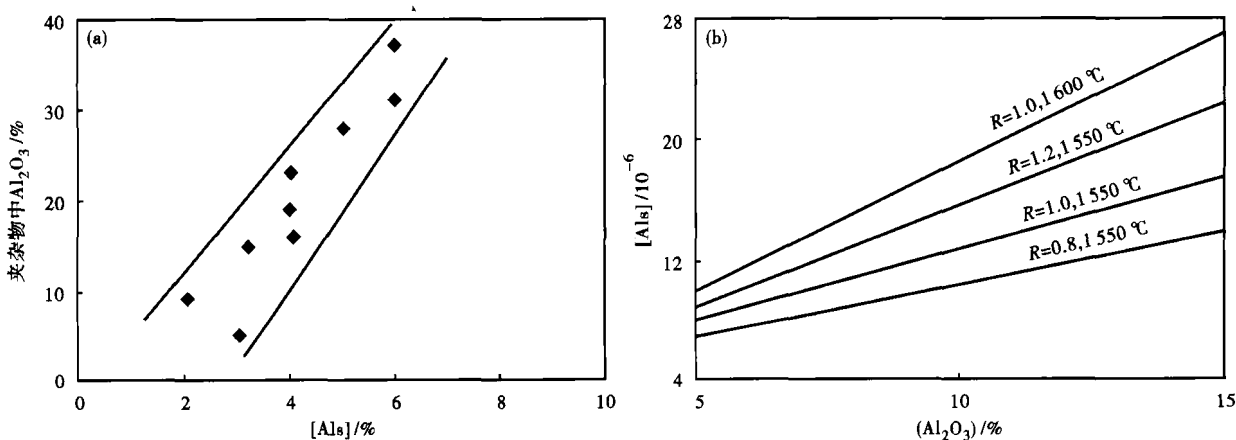


图 1 帘线钢中 Als 对夹杂物中 Al_2O_3 含量的影响 (a); 钢中酸溶铝、渣中 Al_2O_3 与渣的碱度 ($R = \text{CaO}/\text{SiO}_2$)、精炼温度的关系 (b)
Fig. 1 Effect of Als content in tire cord steel on Al_2O_3 content in inclusions (a); Relation between acid-solution aluminium in steel, Al_2O_3 content in slag, basicity of slag ($R = \text{CaO}/\text{SiO}_2$) and refining temperature of liquid (b)

温度的升高而升高,当精炼渣的碱度比较高时,渣中 Al₂O₃ 含量和精炼温度对钢中 Als 含量的影响更大。因此在选择低碱度和低 Al₂O₃ 含量精炼渣的同时,防止温度的大幅波动,可有效降低钢中 Als 含量^[1]。

2.1 转炉冶炼

铁水量 80 ~ 84 t,铁水中 ≤0.005% S,使用切头、切尾等优质废钢;终点控制 ≥0.12% C、≤0.008 0% P、≤0.010% S;出钢温度1 550 ~ 1 560 ℃,出钢量 82 ~ 86 t,钢包内下渣 ≤50 mm;使用无铝钢水罐,钢水罐烘烤温度 ≥800 ℃;用高纯硅和金属锰进行脱氧合金化。

2.2 二次精炼

采用 2 座 LF 进行精炼,造渣材料严禁含铝;1[#] LF 造碱性渣进行钢水脱氧、脱硫,精炼时间 ≥40 min,出工位钢水温度1 560 ~ 1 570 ℃,成分达到判钢标准;2[#] LF 造酸性渣,过程中加入适量 Fe-Si 粉进行脱氧,酸性渣时间 ≥30 min,出工位钢水温度 1 600 ~ 1 610 ℃,成分达到控制标准(LF 精炼渣成分见表 2)。

表 2 LF 精炼渣配渣方案

Table 2 Making up scheme for LF refining slag

LF 编号	R(CaO/SiO ₂)	Al ₂ O ₃ /%
1 [#] LF	1.8 ~ 2.0	7 ~ 10
2 [#] LF	0.8 ~ 0.9	4 ~ 7

VD 抽真空至 67 Pa 以下,保持真空时间 ≥10 min,钢水出 VD 前加保温剂并软吹氩 ≥15 min。

2.3 连铸

采用长套管吹 Ar 保护浇铸,中间包加覆盖剂和碳化稻壳保温,整体浸入式水口插入深度 100 ~ 150 mm;中间包容量 20 t,钢水过热度控制在 30 ℃ 以内,采用连续测温并根据温度进行拉速调整;结晶器液面自动控制;使用结晶器电磁搅拌和末端电磁搅拌;二次冷却采用强冷,比水量 1.65 L/kg。

2.4 轧制

轧制前用砂轮清理铸坯头尾滴瘤,及时更换磨损的导卫、辊槽和吐丝管等设备;加热段温度控制在 1 050 ~ 1 150 ℃,铸坯在炉内加热时间控制在 100 ~ 150 min;轧制过程中开启高压水除鳞;盘条下线用包装袋进行全包装;盘条入库时库底垫橡皮垫,采用叉杆套橡皮套的叉车卸卷;发货装车采用尼龙绳

吊装。

3 检验结果和用户使用情况

按国家检验标准每炉钢取中间包成品样 2 个,生产炉次满足湘钢 XLX72A 控制标准(见表 1)。

每炉钢取 4 个样在人工时效情况下(试样加热至 200 ℃,保温 1 h 后空冷)进行力学性能检验,检验结果力学性能全部满足国家标准(表 3)。

表 3 帘线钢 XLX72A 力学性能检验结果

Table 3 Mechanical properties examination results of tire cord steel XLX72A

试样号	R _m /MPa	Φ5.5 mm Z/%
标准	1 000 ~ 1 130	≥40
1 [#]	1 060 ~ 1 090	47 ~ 43.5
2 [#]	1 060 ~ 1 060	46 ~ 47.5
3 [#]	1 060 ~ 1 070	48 ~ 44
4 [#]	1 050 ~ 1 050	45 ~ 44

参照瑞典(ASTM-45)标准对夹杂物进行打分评级。试样检验结果全部合格。

经过两年多的生产和改进,确定了帘线钢 XLX72A 在转炉冶炼、LF 和 VD 精炼、连铸、轧制等生产过程中的工艺参数。能有效地控制夹杂物的数量与形态,产品成分、性能稳定,综合性能好,月产量达6 000 t 以上。随着市场的逐步开发,目前已有福星科技、湖北佳通、山东荣成、江阴贝卡尔特等多家用户使用该工艺所生产的帘线钢盘条,用户对帘线钢实物质量反映良好。

4 结论

湘钢研发试制的帘线钢 XLX72A 化学成分与工艺路线的选择可行;合适的转炉脱氧与 LF 造渣工艺,能有效地控制钢中夹杂物;XLX72A 钢的化学成分、力学性能和夹杂物评级满足相关标准的要求,实物质量得到用户的认可。

参考文献

1 赵中福,余新河,洪 军,等.帘线钢中非金属夹杂物的控制技术研究.钢铁,2009,44(3):41

吴胜军(1973-),男,硕士,工程师,1997 年武汉科技大学毕业,炼钢、连铸生产技术。

收稿日期:2011-01-05