

# 承钢硬线钢的生产及工艺优化

翁玉娟

(河北钢铁集团承钢公司 提钒炼钢一厂,河北 承德 067002)

**摘要:**针对承钢半钢炼钢的特点,在现有条件下开发出硬线钢的生产工艺流程,并通过采取冶炼造双渣操作、无铝脱氧、使用低氮增碳剂、LF炉精炼、连铸保护浇注及电磁搅拌等措施进行工艺优化,提高了钢水可浇性,降低了钢中气体含量及夹杂物含量,提高了铸坯内部质量,使成品性能和质量达到了硬线钢的要求,满足了用户对产品的需要。

**关键词:**硬线钢;半钢炼钢;低氮增碳剂;LF炉精炼

中图分类号:TF762

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2010)02-0024-04

## 1 前言

中高碳硬线钢广泛应用于加工钢丝绳、钢绞线、弹簧、胎圈等高强度钢丝,具有广阔的市场。承钢为适应市场形势的需要,开发了45~75系列中高碳硬线钢产品。目前,硬线钢在加工过程中主要采取冷拔工艺生产,即:硬线→酸洗→磷化→三联大拉→过水槽拉拔→钢丝、钢绞线,因此,对盘条的表面质量及内部质量要求十分严格。为保证盘条的质量,在炼钢生产过程中必须采取相应的工艺措施,以降低钢中T[O]、T[N]及夹杂物含量,减少钢中夹杂物的危害及因钢中氮含量高导致的钢材时效硬化、蓝脆等现象<sup>[1]</sup>。

## 2 硬线钢生产工艺及优化

承钢硬线钢主要在100 t转炉系统生产,工艺流程如下:1 300 t混铁炉→120 t提钒转炉→100 t顶底复吹炼钢转炉→110 t LF钢包精炼炉→八机八流方坯连铸机(全程保护浇注+电磁搅拌)。

根据硬线钢要求,其成分控制见表1。

表1 硬线钢成分要求 %

钢种	C	Si	Mn	P	S
45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
50	0.47~0.55	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
55	0.52~0.60	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
60	0.57~0.65	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
65	0.62~0.70	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
70	0.67~0.75	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035
75	0.72~0.80	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035

### 2.1 转炉冶炼工艺

#### 2.1.1 终点控制

转炉工艺冶炼中、高碳钢终点高拉碳,脱磷是

主要问题。承钢铁水及半钢磷含量较高,平均为0.100%左右,为确保磷的控制,冶炼过程必须要造“双渣”操作,即保证前期渣碱度达到2.0~2.5。吹炼至3~5 min,当前期渣化好、化透后将富磷渣倒掉,倒渣量为渣量的1/3~1/2。通过造双渣操作,转炉吹炼终点P含量基本可以控制在0.010%以下,能够达到出钢要求。

由于承钢为半钢炼钢,铁水炼钢之前要经过提钒工序,提钒后铁水Si、Mn含量为痕迹,造成热量不足,因此限制了终点拉高碳。通过生产实践并考虑综合因素的影响,终点最佳C含量控制在0.10%~0.20%,以保证终点P及温度符合出钢要求。

#### 2.1.2 脱氧合金化

对于冷拔用硬线钢,为防止拉拔过程中发生脆断,应尽可能降低硬线钢中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等脆性夹杂物的数量,并保证钢中夹杂物为塑性夹杂物<sup>[2]</sup>。因此,生产过程中采用无铝脱氧工艺。

在脱氧剂的选择上,通过对比试验确定了使用硅钙钡进行脱氧。从常用的脱氧元素热力学数据可知,脱氧元素的脱氧能力由强到弱的顺序依次为:Ca>Ba>Mg>Al>Si>Mn, Ba具备很强的脱氧能力,当Ca、Ba同时加入钢中时,由于Ba不易挥发,而且液态下Ca、Ba可完全互溶,Ba可以减弱Ca的气化,增加Ca在钢中的溶解度,提高了Ca的利用率<sup>[3]</sup>,同时含Ba的脱氧产物半径较大,在钢中上浮较快,不易残存在钢水中,通过电镜及能谱分析,钢中夹杂物基本为球形(见图1),在浇钢过程中不易造成水口絮流。

同时,合金化过程用硅锰合金替代原锰铁+硅铁的合金化方式,减少了含铝硅铁的用量,进一步减少了钢中铝的来源。由图1可知,精炼前钢水中夹杂物基本为CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系低熔点夹杂。

### 2.2 LF炉精炼工艺

为进一步降低钢中气体、硫以及夹杂物含量,

收稿日期:2010-02-23

作者简介:翁玉娟,女,1969年生,1993年毕业于唐山工程技术学院钢铁冶金专业。现为承钢提钒炼钢一厂高级工程师,从事炼钢工艺技术管理工作。

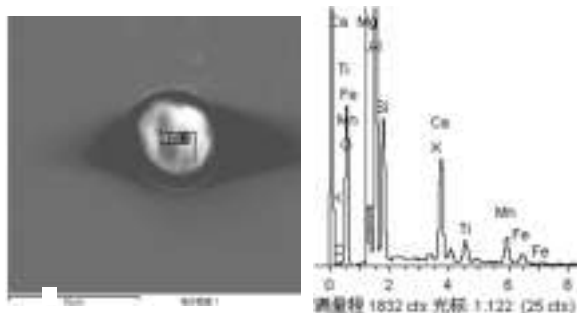


图1 65钢LF炉精炼前钢中夹杂物形貌及能谱分析

提高钢水纯净度,对硬线钢进行LF炉精炼处理。工艺流程:转炉挡渣出钢→改质剂→第一批料、脱氧剂→加热5 min→测温、取样→加第二批料、脱氧剂→加热8 min→调整成分→加热至合格温度→钙处理→软吹出站→连铸机。

为降低钢中S含量,采用碱性白渣脱硫工艺,其基本反应式为: $(CaO)+[FeS]=(CaS)+[FeO]$ 。因此,炉渣脱硫能力的大小取决于炉渣碱度及渣中(FeO)含量,即必须获得较高碱度及低(FeO)含量的“白渣”,但精炼渣的碱度也不能过高,否则精炼渣熔化困难,而渣的黏度过大,流动性不好,也将影响脱氧和脱硫效果,因此必须获得适宜碱度的精炼渣<sup>[4]</sup>。

承钢结合自身实际情况,选择的造渣制度为:在造渣过程中加入一定量改质剂及石灰以保证炉渣碱度,采用硅钙粉进行扩散脱氧,使用碳化硅辅助脱氧并进行埋弧,防止钢液吸气,利用钢包底吹氩搅拌,使氧在渣钢之间的分配可以在短时间内达到平衡,以达到快速脱氧、脱硫的目的。

精炼过程炉渣主要组元及钢水氧、硫含量变化(以65钢为代表)如表2所示。

表2 65钢精炼过程炉渣组元及钢水氧、硫含量变化

过程	(FeO)/ %	(SiO <sub>2</sub> )/ %	(CaO)/ %	(MnO)/ %	(S)/ %	碱度	T[O]/ %	[S]/ %
精炼前	1.12	21.41	33.41	1.19	0.177	1.56	0.005 4	0.029
精炼后	0.62	22.39	46.41	0.35	0.692	2.07	0.002 9	0.011
软吹后	0.39	22.51	45.70	0.32	0.775	2.03		

精炼后,渣中FeO+MnO含量由2.31%降至0.97%,且碱度由1.56提高至2.07,钢水总氧量降低了46.3%,脱硫率达到62.1%。经钙处理软吹后,渣中FeO+MnO含量进一步降低,同时渣中S含量进一步升高,钙处理+软吹操作不仅对夹杂物变性起到一定作用,而且可进一步降低钢中O、S含量。因此,要获得较高的脱硫率及钢水较低的T[O]含量,必须将渣中碱度控制在2.0以上,同时将FeO+MnO含量控制在1.0%以下。

转炉冶炼及LF炉精炼过程采用无铝脱氧后,精炼前钢中铝总量基本控制在0.001%,精炼后虽有增铝现象,但钢中全铝含量保持在0.001%~0.002%之

间,未发生明显变化,对钢水可浇性未造成影响,有效降低了钢中Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等脆性夹杂物的数量,保证了硬线钢的拉拔性能。

### 2.3 生产过程钢中T[N]含量控制

硬线钢生产过程中通过无铝脱氧及LF炉造白渣工艺,钢中T[O]及夹杂物得到了很好的控制,通过分析成品材中气体含量,T[O]含量基本控制在 $30 \times 10^{-6}$ 以下,而T[N]含量平均在 $95 \times 10^{-6}$ 左右,最高达 $102 \times 10^{-6}$ ,严重影响硬线钢的性能。因此,对硬线钢T[N]含量的控制成为生产过程控制难点。

#### 2.3.1 生产过程T[N]含量的变化

针对硬线钢中成品材T[N]含量过高的现状,对生产过程中各阶段的钢水及铸坯进行取样分析,以找出生产中钢水的主要增氮环节,如图2所示(以65钢为例):

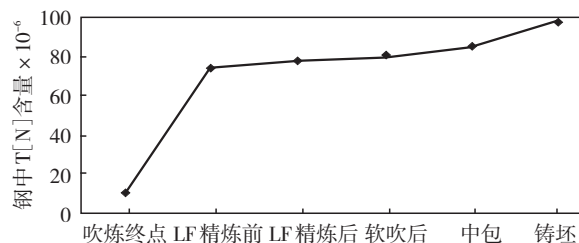


图2 65钢生产过程氮含量变化

由图2可知,硬线钢生产过程转炉出钢过程为其主要增氮环节,增氮量为 $(65 \sim 77) \times 10^{-6}$ ,增氮量较大,而LF炉精炼过程及浇注过程钢水增氮量远小于出钢过程。

#### 2.3.2 增氮原因分析及采取的措施

转炉出钢过程钢水增氮主要受出钢口状况、合金料质量、增碳剂加入量以及其他原材料带入的氮等综合因素的影响。

硬线钢生产过程中对于出钢口的维护非常重要,必须保证出钢口圆滑,使出钢过程不出现散流的现象,减少钢液在出钢过程中与空气的接触面积以减少吸氮。为此在生产过程中对出钢口的状况制定了严格的考核措施,确保不出现散流情况。

对于合金料及其他物料主要采用精料方针,严把质量关,尽可能减少其带入的氮,减少对钢水的影响。

此外,由于硬线钢含碳量较高,出钢过程中增碳剂加入量较大,对钢水增氮造成了一定的影响,主要体现在以下两个方面:

1) 出钢过程中大量增碳剂与钢中氧反应产生大量CO气体,造成钢液剧烈翻腾,增加了钢液与空气接触面积,同时由于钢液出钢过程也存在脱氧合金化的过程,随着钢中氧含量的降低,在与空气中吸氮的速率将增加,导致含氮量增加。

2)增碳剂含有一定的氮,目前使用的普通增碳剂氮含量在 $(2\ 000\sim 4\ 000)\times 10^{-6}$ ,含氮量较高,在出钢过程中将进一步增加钢中氮含量,其加入量越大,钢中增氮越多,同时也将加剧钢液翻腾,进而加剧钢液增氮。

通过终点高拉碳操作可以减少增碳剂加入量,以降低增碳剂加入量过大对钢液造成的负面影响,但承钢炼钢为半钢冶炼,热量不足,造成终点拉高碳十分困难,出钢过程仍需要靠加增碳剂以达到成品C含量要求。为此,开发应用了低氮增碳剂进行硬线钢的冶炼。在冶炼45钢过程中,选取部分加入同等重量的增碳剂的炉次进行对比分析(见表3),以验证低氮增碳剂的降氮效果。

表3 45钢加等量增碳剂的炉次对比

增碳剂	一次倒炉C/%	点吹时间/s	倒炉次数	增碳剂加入量/kg	终点T[N] $\times 10^{-6}$	精炼前T[N] $\times 10^{-6}$
普通	0.11	50	2	450	8.7	66.3
低氮	0.21	75	1	450	12.8	31.7
普通	0.17	20	1	375	9.3	53.8
低氮	0.20	30	1	375	10.2	31.0
普通	0.27	30	1	350	9.1	50.4
低氮	0.35	50	1	350	7.8	29.0

在加入等量增碳剂的条件下,低氮增碳剂比普通增碳剂增氮量降低 $(20\sim 40)\times 10^{-6}$ ,降氮量可达50%,且随着增碳量的增加降氮效果越明显,使精炼前的T[N]含量能够控制在 $30\times 10^{-6}$ 左右。45硬线钢成品材中T[N]含量可以降至 $50\times 10^{-6}$ ,提高了产品的质量。

对于冶炼45硬线钢,使用低氮增碳剂增氮稳定,增氮量可基本控制在 $20\times 10^{-6}$ 左右,在现有工艺条件下在更高牌号的硬线钢上应用,成品材上的T[N]含量可以降至 $70\times 10^{-6}$ 以下,完全满足了硬线钢对钢中氮含量的要求。

## 2.4 连铸工艺

硬线钢连铸采用八机八流全弧形方坯连铸机,其断面为 $165\text{ mm}\times 165\text{ mm}$ ,拉速控制在 $1.7\sim 2.0\text{ m/min}$ ,采取的主要工艺措施如下:

1)浇注温度控制。合适的浇注温度是实现顺利浇注和获得良好铸坯质量的前提,在不引起水口冻结的情况下,应尽可能采用低过热度浇注,所以选择过热度 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为控制目标。

2)二次冷却控制。合理的二次冷却还可以细化奥氏体晶粒,改善组织性能,优化铸坯质量,硬线钢采用弱冷却制度,比水量控制在 $0.8\sim 1.0\text{ L/kg}$ 。

3)结晶器液面自动控制。采用结晶器液面自动控制技术,实现恒液面操作,液面波动范围控制在 $\pm 3\text{ mm}$ ,达到稳态浇注。

4)结晶器电磁搅拌技术。根据钢种的不同电磁搅拌参数控制也相应不同,在硬线钢生产过程中摸索出了一套适宜高碳钢生产的电磁搅拌参数:45~55钢采用电流300 A、频率3.5 Hz;60~75钢采用电流350 A、频率3.5 Hz。并均采用连续搅拌方式。

5)全程保护浇注工艺。采取全程保护浇注工艺,大包到中包、中包到结晶器采用侵入式水口+石棉垫密封保护浇注,以减轻或杜绝钢水二次氧化,减少夹杂物的产生。

通过采用结晶器电磁搅拌工艺,结晶器液面自动控制技术以及弱冷工艺,铸坯低倍组织控制良好。取连铸坯低倍样50炉进行低倍检验,铸坯中心疏松0.5~1.0级,平均0.7级;中间裂纹0.5~1.0级,平均0.65级;缩孔0~1.0级,平均0.6级。硬线钢铸坯碳偏析指数控制在1.1以内,符合钢种要求。硬线钢铸坯质量得到了一定的保证。

## 3 产品质量

承钢硬线钢经高线轧制主要生产 $\phi 5.5\sim \phi 12\text{ mm}$ 的热轧盘圆,对生产的线材取样分析,气体含量 $T[\text{O}]<30\times 10^{-6}$ 、 $T[\text{N}]<70\times 10^{-6}$ ,完全满足硬线钢产品要求,钢中氧含量较低也表明钢中氧化物夹杂处于较低的水平。经检测,硬线钢力学性能如表4所示,力学性能均满足硬线钢要求。

表4 硬线钢力学性能

钢种	抗拉强度/MPa		延伸率/%		断面收缩率/%	
	目标值	实际值	目标值	实际值	目标值	实际值
45	650~1 000	705~940	>6	17.0~24.5	>20	28.5~57.0
50	700~1 050	830~980	>6	17.0~23.5	>20	31.0~50.0
55	750~1 100	795~1 060	>6	14.5~23.0	>20	26.0~52.0
60	800~1 150	885~1 140	>6	12.5~20.5	>20	33.5~50.0
65	850~1 200	950~1 180	>6	16.5~22.0	>20	23.0~50.0
70	900~1 250	1 020~1 210	>6	15.0~22.5	>20	26.0~50.0
75	950~1 300	1 020~1 182	>6	13.0~17.0	>20	25.5~34.0

目前所生产的硬线钢经用户使用,拉拔性能较好,未出现严重断裂现象,用户满意度较高,为承钢品种钢开发积累了经验同时为产品赢得了市场。

## 4 结 语

1)转炉冶炼中高碳硬线钢必须以高拉碳为原则,尽量减少出钢过程下渣量,为LF炉精炼造白渣创造条件。2)脱氧合金化采用无铝脱氧剂及低铝合金,尽可能减少钢中铝的来源,提高了钢水可浇性,并降低了硬线钢中 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等脆性夹杂物的数量,保证了硬线钢的拉拔性能。3)LF炉必须造白渣精炼,使渣中碱度控制在2.0以上,同时将 $\text{FeO}+\text{MnO}$ 含量控制在1.0%以下,以达到较好的脱氧、脱硫的效



果,以进一步去除钢中氧化物夹杂。4)硬线钢生产中应用低氮增碳剂可使出钢过程钢中增氮量降低50%左右,有效保证了中高碳硬线钢对氮含量的要求。5)连铸工艺的优化,有效保证了铸坯质量。6)通过对生产过程各环节的优化,硬线钢的产品性能达到了使用要求,用户满意度大幅度提高,为承钢赢得了市场。

## Production and Technology Improvement of Hard Wire Steel in Chengde Steel

WENG Yu-juan

(No.1 V-extracting and Steelmaking Plant, Chengde Iron and Steel Company of Hebei Iron and Steel Group, Chengde 067002, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of steelmaking with semi-steel, Chengde Steel developed the process of producing hard wire steel under the existing conditions and took effective measures to carry out the technology improvement. The measures mainly include adopting the double-slag operation, non-aluminum deoxidation, low nitrogen carburant in smelt process, LF furnace refining, the protection of pouring and EMS. Then it increased the liquidity of molten steel, reduced the gas and impurity contents of steel, and improved the internal quality of the slab, so that the performance and quality of the product reached the conditions of hard wire steel and met the needs of users.

**Key words:** hard wire steel; steelmaking with semi-steel; low nitrogen carburant; LF furnace refining

(上接第23页)

## Culture and Acclimation of Domestic Sludge Used for Coking Wastewater Treatment

LI Xiu-yan

(Yanzhou Coking Plant, Qingdao Iron and Steel Group, Yanzhou 272117, China)

**Abstract:** This article introduced the culture and acclimation course of the dry sludge from domestic sewage plant, which was made as strains for coking wastewater treatment. Adopting continuous aeration and intermittent influent mode carried out the sludge acclimation. Through adjusting the process parameters such as temperature, pH value and the dosing quantity of trisodium phosphate and dextrose, the sludge resumed activity and adapted to coking wastewater circumstance entirely in 32 days. Then the removal rate of the phenol in the wastewater reached 99.8% and COD<sub>Cr</sub> removal rate reached 60% above.

**Key words:** coking wastewater treatment; domestic sludge; sludge acclimation; phenol removal rate; COD<sub>Cr</sub> removal rate

信息园地

### 日本研究新金属开发

**汽车用金属代用材料的开发。**汽车业是钢铁和有色金属的主要用户。据日本物质材料研发机构预测,到2050年钢、铅、锌、锰等大宗金属的使用量将超过现有的资源储量,因此应及时开发代用金属。汽车为实现轻量化节油减排需要大量高强度钢板,同时为防腐蚀以延长使用寿命,又必须进行表面镀锌。随着发展中国家汽车业的高速发展,锌有早日枯竭的危险。在政府支持下,日本东京工业大学正在开发以铝、镁、硅合金代替锌作为汽车板镀层的技术。经初步试验,该种合金的耐蚀性能尚优于镀锌层,因为在同等时间内该种合金的氢侵入量可减少到镀锌层的1/10,十分有利于防止高强度钢板劣化而保证汽车安全。JFZ钢铁、东北工业大学和物质材料研发机构都参与了该种合金的研发,争取早日实用化。另外,日本汽车尾气净化触媒用铂、铑和钯等稀有金属全靠进口。因此,日本产业技术总合研发机构和三井金属共同研发成功了以银代铂的技术,预计到2013年可使铂的总用量减少50%。

**稀有金属代用材料的开发。**随着生态汽车和光伏电池等的发展,其所用稀有金属的用量日益增加导致价格高涨。因此,日本经济省下达了研发项目,要求开发出到

2020年可使透明电极用钢比现在减少30%的技术。目前,日本产业技术总合研发机构已开发成功液晶电视、光电池板和发光LEO等透明电极用氧化钨锡的代用品,即将氧化锌和氧化镁的混合材料在10 cm×10 cm玻璃基板上成膜。该代用品现已试用于小型液晶电视和光伏电池。另外,日本神奈川科技学院和旭硝子公司亦开发成功在二氧化钛中加入微量铌并在玻璃上成膜以制造透明电极的技术。

**超高纯铁耐蚀材料的开发。**一些临海地区,由于住房的屋顶和汽车、自行车等容易被含盐高的空气腐蚀,因此,日本东北工业大学金属研究所开发成功了含Fe达99.98%的超高纯铁,有效解决了耐蚀问题。一般生铁的含Fe量为97.9%,而99.98%的超高纯铁由于杂质少致耐蚀性好,并且在高温高压下不开裂。相关研究人员表示:“该超高纯铁一旦实用化后将率先用于核电站和海水淡化装置。”核反应堆的配管和换热器如果使用该超高纯铁制造,基本上无须维修,从而可在沙漠建核电站;海水淡化装置如果使用该超高纯铁亦可长期稳定运行,从而降低成本。研究组目前正在筹建每次可生产100 kg该产品的中试设备。摘自2010年3月30日《中国冶金报》