

409L 不锈钢连铸浸入式水口结瘤分析和改进措施

郑宏光 陆斌 李实 王立江 陈旭
(宝山钢铁股份有限公司不锈钢分公司,上海 200431)

摘要 采用扫描电镜和 X 射线衍射法,分析了 EAF-AOD-VOD 精炼 409L 不锈钢(%:0.009~0.011C、11.36~11.63Cr、0.15~0.22Ti、0.0074~0.0112N)连铸水口结瘤的物相。结果表明:水口结瘤中的物相主要有 TiO₂ 和金属。喂钛线后吹氩搅拌过强时,由于钢水的二次氧化会显著增加钢中 TiO₂ 夹杂物的数量,导致结瘤层明显变厚。喂钛线后采用吹氩弱搅拌,能尽可能排除钢中 TiO₂ 夹杂物;同时应避免连铸时铸流二次氧化,从而减少水口结瘤的发生。

关键词 409L 不锈钢 TiO₂ 连铸 浸入式水口 结瘤

Analysis on Clogging of Submerged Entry Nozzle for 409L Stainless Steel Concasting and Improved Measure

Zheng Hongguang, Lu Bin, Li Shi, Wang Lijiang and Chen Xu
(Stainless Steel Branch, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 200431)

Abstract The phases of clogging of nozzle during concasting of 409L stainless steel (0.009~0.011C, 11.36~11.63Cr, 0.15~0.22Ti, 0.0074~0.0112N) melted by EAF-AOD-VOD refining has been analyzed by scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction method. The results indicated that phases of clog in nozzle consisted of TiO₂ and metal; and with over strong argon stirring after titanium wire feeding the amount of TiO₂ inclusion obviously increased due to reoxidization of molten steel, it led to clog being obvious thickening. The clogging of submerged entry nozzle decreased by using soft argon stirring after titanium feeding to remove TiO₂ inclusion in molten steel and avoiding reoxidization of cast strand.

Material Index 409L Stainless Steel, TiO₂, Concasting, Submerged Entry Nozzle, Clogging

409L 不锈钢连铸生产时浸入式水口结瘤严重,造成浇铸困难和板坯修磨损失大,最终产品易产生表面缺陷等问题^[1-3]。为此,研究了 409L 不锈钢连铸浸入式水口结瘤的物相结构和改进工艺措施。

1 生产条件和研究方法

409L 不锈钢的生产流程为:电弧炉(表 1)→AOD→VOD 精炼→板坯连铸。120t VOD 真空度

可达 67 Pa,VOD 后,在大气条件下喂钛线。

进行 3 种冶炼工艺试验(3 炉成分见表 2):(1) VOD 结束,喂钛线前、后吹氩搅拌过强使钢液面裸露,连铸时钢包自动开浇,保护浇铸良好(848 炉);(2)喂钛线前、后吹氩弱搅拌,不裸露钢液面;连铸时钢包烧氧开浇,开浇初期(中间包内钢水量≤10 t)未用保护套管且中间包内未加覆盖剂(815 炉);(3)吹氩弱搅拌,不裸露钢液面;连铸时钢包自动开浇,保护浇铸良好(744 炉)。

表 1 电弧炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of arc furnace

项目	参数
熔炼周期/min	60
日平均炉数	15
平均容量/t	100
炉料组成	铁水:合金料:废钢(50:30:20)
变压器容量/MVA	85
电极直径/mm	600
电耗/(kWh·t ⁻¹)	410 AC 交流(三相)
电极消耗/(kg·t ⁻¹)	8
氧耗/(m ³ ·t ⁻¹)	10
产量/(万 t·a ⁻¹)	65
投产年份	2004

表 2 409L 不锈钢的化学成分,3 炉/%

Table 2 Chemical compositions of 409L stainless steel, 3 heats/%

炉号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Al _s	N
848	0.009	0.45	0.35	0.015	0.001	11.44	0.15	<0.01	0.011 2
815	0.011	0.49	0.29	0.018	0.001	11.36	0.22	<0.01	0.007 5
744	0.011	0.42	0.29	0.018	0.004	11.63	0.22	<0.01	0.007 4

848 炉取到的水口是该炉浇铸结束后的浸入式水口;815 炉取到的是第 2 炉刚开浇时因水口堵塞

停浇后的水口,744 炉取到的是全炉浇铸结束后的浸入式水口,该炉浇铸过程没有结瘤现象。

2 结果及分析

848 炉水口结瘤物(图 1a)的厚度为 9~12 mm,其中金属凝固层厚度达 5 mm。呈现凝固金属包裹非金属矿物的结构,靠近水口内壁的部分非金属矿物较多,非金属矿物结构疏松,内部存在较多孔洞;远离水口内壁的部分非金属矿物较少,凝固金属较多。

815 炉水口结瘤物的厚度为 9~11 mm,其中金属凝固层厚度为 3~5 mm。也是凝固金属包裹非金属矿物的结构,越是靠近水口内壁的部分,非金属矿物也越多,其中也有孔洞;远离水口内壁的部分凝固金属较多。

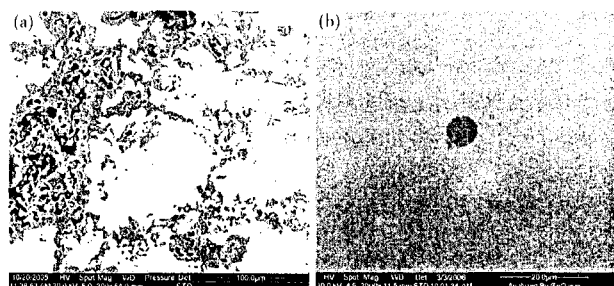


图 1 浸入式水口结瘤物形貌,848 炉,SEM (a);钢中典型 TiO₂ 夹杂物形貌,848,815 炉,SEM (b)

Fig. 1 Morphology of clogging of submerged entry nozzle, heat 848, SEM (a); Morphology of typical inclusion TiO₂ in steel, heat 848 and 815, SEM (b)

采用扫描电镜能谱分析确定了水口结瘤物的金属附着层中不同物相的成分(原子分数),结果列于表 3。根据物相成分判断:848 炉中主要是 TiO₂,其中混有少量 MgO、Al₂O₃;815 炉中也是 TiO₂,其中有 ZrO₂ 和少量 MgO、Al₂O₃、CaO。结瘤物中的 ZrO₂ 可能来自于塞棒头部的 ZrO₂ 涂层。浸入式水口结瘤物中都没有发现 TiN。Ti 与 SiO₂ 反应或经二次氧化形成 TiO₂。X 射线衍射结果表明:848 和 815 炉

表 3 水口结瘤物中非金属物相的成分及类型

Table 3 Chemical compositions and types of non-metallic phases in clogging of nozzle

炉号	物相成分/%							物相类型
	O	Mg	Al	Ti	Ca	Zr	Fe	
848	52.63	4.60	1.49	39.27	-	-	2.01	TiO ₂
	50.30	3.47	2.31	27.48	1.39	14.02	1.02	TiO ₂
815	55.08	-	2.20	42.10	-	0.62	1.56	TiO ₂ (含 ZrO ₂)

水口结瘤物中的物相为典型的 TiO₂(图 1b)。

3 浸入式水口的结瘤机理及解决措施

409L 不锈钢连铸浸入式水口的结瘤机理为:(1)钢液中喂入钛线后,由于吹氩搅拌强度过大,造成钢液面裸露,和/或连铸开浇初期钢流长时间暴露在空气中,致使钢液二次氧化,形成数量较多的 TiO₂ 夹杂物。(2)当钢液流过浸入式水口时,钢中的 TiO₂ 夹杂物部分沉淀附着在水口内壁上,形成树枝状结构与金属一起形成结瘤物。(3)由于 TiO₂ 与 11% Cr-Fe 钢液之间的浸润角较小,水口内壁形成的 TiO₂ 结瘤物传热较快,促使沿水口内壁的少量钢液凝固其上,从而使结瘤层逐渐变厚。

解决措施主要有:(1)VOD 冶炼结束,喂入钛线后,吹氩采用弱搅拌,尽可能排除钢中 TiO₂ 夹杂物,避免钢液面裸露,形成新的 TiO₂ 夹杂物。(2)在连铸过程中,特别是钢包烧氧开浇时,应尽快采取措施保护钢流,避免钢流暴露在空气中造成二次氧化,可使喂钛线后钢中 TiO₂ 夹杂物数量明显减少,从而改善水口结瘤。

4 结论

(1)409L 不锈钢连铸浸入式水口结瘤的主要物相为 TiO₂ 和金属。结瘤物主要是因浇铸过程中钢液内 TiO₂ 夹杂物沉淀附着在浸入式水口内壁形成的。减少钢中 TiO₂ 夹杂物的数量,可使结瘤层显著变薄。

(2)喂钛线前、后采用弱搅拌,避免吹氩强度过大裸露钢液和浇铸过程的二次氧化,可使喂钛线后钢中 TiO₂ 夹杂物数量明显减少,从而改善了浸入式水口结瘤。

参考文献

- 1 Nunnington R C, Sutcliffe N. The Steelmaking and Casting of Ti Stabilized Stainless Steels. Iron and Steel Society, AIME, USA. 59th Electric Furnace Conference Proceeding, 2002; 361
- 2 Bahri Ozturk R, Matway R, Fruehan J. Thermodynamics of Inclusion Formation in Fe-Cr-Ti-N Alloys. Metallurgical and Material Transaction B, 1995, 26(6); 563
- 3 Gao Y, Sorimachi K. Formation and Clogging Materials in an Immersed Nozzle during Continuous Casting of Titanium Stabilized Stainless Steel. ISIJ Int. 1993, 33(2); 291

郑宏光(1966-),男,博士,高级工程师,2005年毕业于北京科技大学钢铁冶金专业(博士),不锈钢生产工艺和产品开发。

收稿日期:2006-05-27