

316L 超低碳奥氏体不锈钢超细丝原料生产实践

李刚^{1,2} 李京社¹ 马昱¹ 王彦杰² 李耐松² 孙丽媛¹

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 北京首钢吉泰安新材料有限公司,北京 102206)

摘要 采用 1 t 3 相有衬电渣炉-底吹氩精炼-铸 Φ90 mm 棒-100 kg 电渣重熔工艺流程成功地生产出满足生产 Φ0.018 mm 超细丝洁净度要求的 316L 不锈钢原料(/% : ≤0.03C、≤1.0Si、≤2.0Mn、≤0.035P、≤0.030S、16~18Cr、12~15Ni、2~3Mo)。通过渣料为(/%)25CaF₂-25Al₂O₃-50CaO, 3 根纯铁自耗电电极的熔炼过程逐步加铬铁、镍板和硅铁,获得要求的成分,并用 AlSiMn 合金和 SiCa 粉脱氧,底吹氩气搅拌,直接浇铸成 Φ90 mm 铸棒,再经 Φ160 mm 电渣重熔炉精炼成 100 kg 锭。结果表明,电渣锭中总氧含量为(15~20) × 10⁻⁶, 平均夹杂物含量为 16.2 个/mm², 95% 夹杂物尺寸小于 5 μm, 没有发现大于 10 μm 的夹杂物,可满足生产超细不锈钢丝的要求。

关键词 316L 超低碳不锈钢 超细丝 洁净度 生产实践

Production Practice of Raw Materials for Ultra-Low Carbon Stainless Steel 316L Ultra-Fine Wire

Li Gang^{1,2}, Li Jingshe¹, Ma Yu¹, Wang yanjie², Li Naisong² and Sun Liyuan¹

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Beijing Shougang Gitaian New Materials Co Ltd, Beijing 102206)

Abstract The raw material of stainless steel 316L (/% : ≤0.03C, ≤1.0Si, ≤2.0Mn, ≤0.035P, ≤0.030S, 16~18Cr, 12~15Ni, 2~3Mo) meeting the requirement for production of Φ0.018 mm ultra-fine wire is successfully produced by 1t 3-phases electroslag furnace with lining-bottom argon stirring refining-casting Φ90 mm bar-electroslag remelting 100kg ingot process flow sheet. During 3 pure iron consumable electrodes arc melting process with slagging material 25CaF₂-25Al₂O₃-50CaO, using AlSiMn alloy and SiCa powder to deoxidize and bottom argon stirring, the required chemical composition of steel is obtained by gradually adding chromium iron, nickel plate and silicon iron, and the liquid is casting to Φ90 mm bar then remelting to 100 kg ingot by a Φ160 mm electroslag remelting furnace. Results show that the total oxygen content in electro-slag remelted ingot is (15~20) × 10⁻⁶, the average inclusions content is 16.2 inclusions/mm², and the 95% inclusions size is less than 5 μm, the inclusion size larger than 10 μm isn't found that meet the requirement for production of ultra-fine stainless steel wire.

Material Index 316L Ultra-Low Carbon Stainless Steel, Ultra-fine Wire, Cleaniness, Production Practice

目前国内不锈钢微丝主流产品的直径是 Φ0.035~0.025 mm, 也有极小部分直径为 0.020 mm 以下规格的不锈钢的微丝出售, 但这些产品的不锈钢原料都是从国外进口的。大尺寸的夹杂物是造成拉拔过程中短丝的主要原因, 当钢中的夹杂物超过丝径的 30% 时, 拉拔时必然发生断丝^[1~3]。

北京首钢吉泰安新材料有限公司通过与科研院所的联合研发和工业实验, 通过有衬电渣炉-底吹氩-模铸-电渣重熔, 成功地生产出满足要求的不锈钢原料(拉拔 0.018 mm 的超细丝 300 g 不断丝)。

1 3 相有衬电渣熔炼

熔炼设备为 1 t 3 相有衬电渣炉, 其冶炼原理是: 按照 316L 钢成分(表 1)的目标值和冶炼钢水总量, 计算出各种合金料的加入量, 然后准确称量出各种合金料, 整个 3 相有衬电渣炉炉体放置在一个量程为 20 t 的电子秤上, 在渣料等加到炉中后, 电子秤

表 1 316L 不锈钢主要化学成分 / %

Table 1 Main chemical composition of stainless steel 316L / %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
≤0.03	≤1.0	≤2.0	≤0.035	≤0.030	12~15	16~18	2~3

计量显示数回零, 开始给电冶炼。电压 75 V; 电流 8 000~9 000 A。3 相有衬电渣炉是通过渣层的电阻热将插入渣层的自耗电电极熔化形成熔池。3 根电极为纯铁自耗电电极, 每根纯铁电极重约 600 kg, 纯铁是熔炼的主要原料。随冶炼进行, 加入各种合金料, 当电子秤的显示数达到钢水总量的时候, 停止冶炼, 出钢。

其熔炼过程为: (1) 安装自耗电电极; (2) 向炉中加入 100 kg 的渣料(/% : 25CaF₂-25Al₂O₃-50CaO); (3) 加入少量返回钢, 起弧熔炼; (4) 5 min 后, 逐步加入 270 kg 铬铁、120 kg 镍板和 15 kg 硅铁; (5) 加

入脱氧剂。

采用沉淀和扩散脱氧两种方式进行脱氧,沉淀脱氧剂为块状的 AlSiMn 合金,其 3 元素质量组成比为 0.6 : 1 : 1,每炉的加入量为 2 kg。扩散脱氧剂为 SiCa 粉,其质量组成比为 7 : 3,扩散脱氧剂分多次加在渣液面上,每炉的总加入量为 5 kg。为了防止耐火材料脱落污染钢水,每次冶炼之前都要对炉壁进行补炉,另外控制钢水的温度不高于 1 600 ℃。

2 吹氩精炼

加入脱氧剂后,开始在炉底吹氩搅拌,在炉底间隔 120° 布置 3 块吹氩砖,吹氩的流量为 0.6 L/min。从钢液中的总氧含量随吹氩时间的变化可以看出,吹氩 15 min 时钢液 T[O] 由 0.020 0% 降至 0.007 2%,再继续吹氩时,钢液中的总氧量反而会上升至 0.010 0%,所以确定吹氩时间为 15 min。

3 模铸

采用水平模铸将钢液浇铸成直径为 90 mm 的钢棒,1 套铸模可以同时浇铸出 6 支电极棒。为了避免钢包下渣,在浇铸结束时要在钢包中保留一些钢水。浇铸出来的钢棒头尾以及表面氧化铁皮较多,采用酸洗工艺对其进行清洗。

对 316 钢铸棒中总氧含量为 60×10^{-6} ,平均夹杂物的含量为 136.9 个/ mm^2 。夹杂物形貌如图 1 (a₁, b₁, c₁, d₁) 所示,类型主要包括: MgO · Al₂O₃、MgO-Al₂O₃-CaO、MgO-Al₂O₃-CaO-MnO 和核心为 MgO · Al₂O₃ 外部为 Al₂O₃-CaO 的双相复合夹杂物,夹杂物的尺寸都大于 5 μm。

4 电渣重熔

经过清洗干净的浇铸电极采用 100 kg 的电渣重熔炉进行精炼,电渣重熔炉的结晶器尺寸为 Φ160 mm。采用的渣系为 20% CaO + 80% CaF₂,加入量为 3.5 kg,使用 Si : Ca = 7 : 3 的硅钙粉进行脱氧,脱氧剂加入的方式为粘附在电极棒上,脱氧剂的加入量为 80 g。在精炼过程中进行加罩吹氩。

成分检测,精炼后的钢锭中总氧含量为 (15 ~

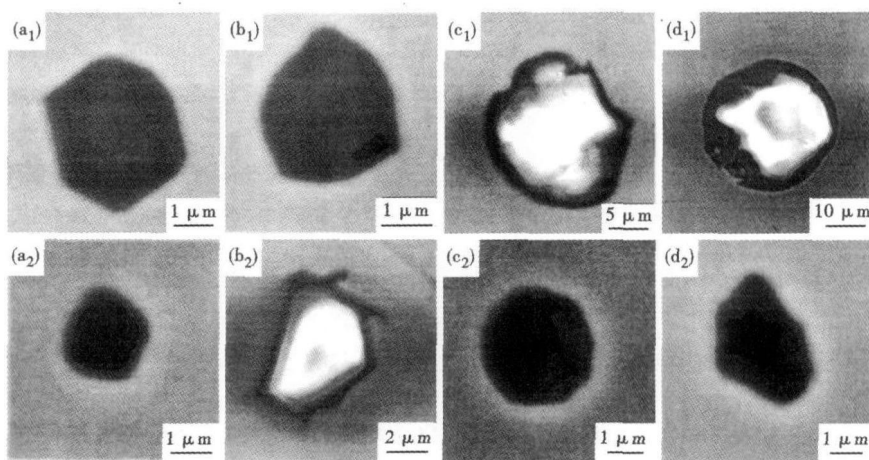


图 1 316 钢铸棒 (a₁, b₁, c₁, d₁) 和电渣锭 (a₂, b₂, c₂, d₂) 中典型夹杂物形貌及成分 (/%) : (a₁) 25MgO-75Al₂O₃; (b₁) 62Al₂O₃-1CaO-17MnO-21MgO; (c₁) 13MgO-27CaO-0.6Al₂O₃; (d₁) 中心 25MgO-75Al₂O₃, 边部 56Al₂O₃-44CaO; (a₂) 59Al₂O₃-21MgO-20CaO; (b₂) 73Al₂O₃-12MgO-15MnO; (c₂) 45Al₂O₃-15MgO-40CaO; (d₂) 81Al₂O₃-19MgO

Fig. 1 Morphology and ingredient of typical inclusions in casting bar (electrode) (a₁, b₁, c₁, d₁) and ESR ingot (a₂, b₂, c₂, d₂) of 316 steel (/%) : (a₁) 25MgO-75Al₂O₃; (b₁) 62Al₂O₃-1CaO-17MnO-21MgO; (c₁) 13MgO-27CaO-0.6Al₂O₃; (d₁) Center 25MgO-75Al₂O₃, edge 56Al₂O₃-44CaO; (a₂) 59Al₂O₃-21MgO-20CaO; (b₂) 73Al₂O₃-12MgO-15MnO; (c₂) 45Al₂O₃-15MgO-40CaO; (d₂) 81Al₂O₃-19MgO

$20) \times 10^{-6}$,平均夹杂物的含量为 16.2 个/ mm^2 。夹杂物形貌如图 1 (a₂, b₂, c₂, d₂) 所示,其类型主要是 MgO-Al₂O₃-CaO、MgO-Al₂O₃-MnO 的复合夹杂物,也有少量的 MgO · Al₂O₃ 夹杂物。95% 的夹杂物的尺寸小于 5 μm,没有发现大于 10 μm 的夹杂物。

5 结论

采用“3 相有衬电渣炉熔炼-底吹氩精炼-模铸-电渣重熔精炼”工艺生产的钢锭中总氧含量为 $(15 \sim 20) \times 10^{-6}$,平均夹杂物的含量为 16.2 个/ mm^2 ,95% 的夹杂物尺寸小于 5 μm,没有发现大于 10 μm 的夹杂物,可成功生产出拉拔直径小于 0.02 mm 316 不锈钢超细丝原料。

参考文献

- 唐雯晴. 316L 不锈钢细丝原料的洁净度研究:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2011
- Raskin C, Janssen J. Coper Wire Breaks-another View. Wire Journal International, 1998, 31 (12): 80
- 傅百子,曹清. 钢丝生产过程中断丝原因分析. 金属制品, 1997, 23(3): 6

李刚(1976-),男,博士研究生,2000 年鞍山钢铁学院毕业,特种钢精炼工艺研究。

收稿日期:2012-02-15