

doi:10.3969/j.issn.1003-4226.2011.06.015

埋弧焊丝用 H08SG 盘条的生产实践

陈涛^{1,2}, 易敏², 陈延清², 孙齐松², 唐国志², 李宏¹
(1. 北京科技大学, 北京 100083; 2. 首钢总公司技术研究院, 北京 100041)

摘 要 介绍首钢埋弧焊丝用 H08SG 盘条的生产工艺。给出生产过程控制的关键:(1)控制转炉终点 $w(P) \leq 0.007\%$ 和出钢温度不大于 $1\ 680\ ^\circ\text{C}$, 以保证成品低的磷含量;(2)使用预处理铁水 ($w(S) \leq 0.005\%$) 和 LF 精炼双工艺脱硫, 保证成品低的硫含量;(3)通过精炼和连铸过程对钢水的保护解决水口堵塞问题, 进而控制卷渣带来的表面质量缺陷;(4)轧制过程控制钢坯开轧温度 $1\ 000 \sim 1\ 050\ ^\circ\text{C}$, 精轧温度 $900 \sim 950\ ^\circ\text{C}$, 吐丝温度 $840 \sim 880\ ^\circ\text{C}$ 。采用此工艺生产的 $\phi 6.5\ \text{mm}$ H08SG 盘条化学成分稳定, 钢质洁净度高, 抗拉强度为 $650 \sim 740\ \text{MPa}$, 金相组织为贝氏体, 成品尺寸精度可控制在 $\pm 0.15\ \text{mm}$, 满足埋弧焊丝用盘条的技术要求。

关键词 埋弧焊丝用钢; H08SG 盘条; 生产工艺; 力学性能; 冶炼; 轧制

中图分类号 TG335.6+3

Production practice of H08SG wire rod for submerged arc welding wire

CHEN Tao^{1,2}, YI Min², CHEN Yan-qing², SUN Qi-song², TANG Guo-zhi², LI Hong¹

(1. Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China;

2. Technical Research Institute of Shougang Group, Beijing 100041, China)

Abstract To introduce the production process of H08SG wire rod for submerged arc welding wire in Shougang. The key points of process control are given: (1) controlling converter terminal phosphorus mass fraction is no more than 0.007% and tapping temperature is no more than $1\ 680\ ^\circ\text{C}$ in order to ensure low phosphorus content; (2) using pre-treating molten (sulphur mass fraction is no more than 0.005%) and LF refine to ensure low sulphur content in finished product; (3) resolving nozzle clogging by protecting molten steel in the course of refine and continuous cast, then controlling surface quality defect arising from slag entrainment; (4) in the course of rolling to control billet rolling beginning temperature is from $1\ 000\ ^\circ\text{C}$ to $1\ 050\ ^\circ\text{C}$, finish rolling $900\ ^\circ\text{C}$ to $950\ ^\circ\text{C}$, wire rod laying $840\ ^\circ\text{C}$ to $880\ ^\circ\text{C}$. The diameter $6.5\ \text{mm}$ H08SG wire rod produced by the process has stable chemical composition, high steel purity, the tensile strength is 650 to $740\ \text{MPa}$, the microstructure is bainite, finish product size precision can be controlled within $\pm 0.15\ \text{mm}$, which satisfy the technology demands of wire rod for submerged arc welding wire.

Keywords steel for submerged arc welding wire; H08SG wire rod; production process; mechanical property; smelt; rolling

随着我国能源结构的变化,石油、天然气的使用率日益增长,由于管道运输具备运费低廉、安全性高及挥发损失小等优点,是石油和天然气的首选运输方式。近年来,我国正大力推进油气管道的建设工程^[1-2],先后启动了“西气东输”、“川气东送”,中哈、中俄输油管道等重大工程。除主干线外,大规模的城市输气管网建设也在同期配套进行。

管线钢板经过多丝埋弧焊制成钢管,再经过熔极实芯焊丝气体保护焊或自保护药芯焊丝自动焊焊接成管道,X60~X70 管线钢是目前和未来十年应用范围最广、使用量最大的管线钢种,约占管线钢消耗量的 $60\% \sim 80\%$ 。恶劣的工作环境对管道质

量提出了严格的要求,因此对配套的焊接材料也有苛刻的要求^[3]。H08SG 盘条是管线钢板 X60~X70 配套埋弧焊丝而设计开发的特种焊材用原材料。笔者对首钢总公司(以下简称首钢)H08SG 盘条的生产实践情况进行论述。

1 工业生产实践

1.1 生产工艺流程

首钢 H08SG 盘条的生产工艺流程:铁水脱硫预处理→氧气转炉冶炼→钢包脱氧合金化→LF 炉精炼→ $130\ \text{mm} \times 130\ \text{mm}$ 小方坯铸机浇铸→坯料检查→步进式加热炉加热→高速线材轧机轧制→水

冷→夹送、吐丝→控温散卷冷却→集卷→检验→打捆包装→称重入库。

1.2 化学成分设计

首钢 H08SG 盘条的化学成分设计要求见表 1。

表 1 H08SG 盘条的化学成分控制
Table 1 Chemical composition control
of H08SG wire rod

| C | Si | Mn | P | S | Mo、Ti |
|-------|-------|-----------|--------|--------|-------|
| ≤0.10 | ≤0.30 | 1.40~1.80 | ≤0.012 | ≤0.010 | 微量 |

1.3 冶炼工艺

1.3.1 铁水预处理

硫含量偏高会影响管线钢板及焊缝质量。首钢采用喷吹钝化颗粒镁技术对铁水进行预脱硫处理,再配合后续的 LF 炉外精炼,完成对 H08SG 盘条的脱硫,可稳定地控制成品硫质量分数不大于 0.005%,完全满足产品质量的需要。

1.3.2 转炉冶炼及脱氧合金化

转炉终点控制包括对碳、磷、氧等元素含量及钢水温度等的控制。磷对钢的性能负面影响较大,需要降低其含量,首钢的工装条件决定了磷的去除只能在转炉冶炼过程中完成,控制出钢后的回磷量是关键,图 1 显示随着出钢温度的增高,回磷量呈现增多趋势,因此在生产中需加强对出钢温度的控制。

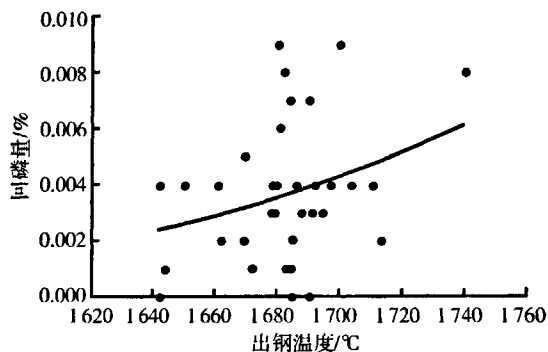


图 1 出钢温度对回磷量的影响
Fig. 1 Influence of tapping temperature
on rephosphoration

H08SG 盘条的特点是合金种类多、用量大。一般炼钢条件下,钼稳定不易被氧化,因此钼铁合金可以在转炉前期加入;硅铁、锰铁在出钢时加入,使用优质的低碳低磷合金控制合金的增碳增磷,钛具有较高的活性,与氧、氮等均有较强的亲和力,极易被损耗,但其与氧的结合能力弱于铝^[4-5],如图 2 所示。因此在炉外精炼后期,先使用含铝脱氧剂将钢水中氧活度降至不高于 10×10^{-6} ,即可稳定钛的收得率。

生产实践证明上述合金化方式合理可行,可以

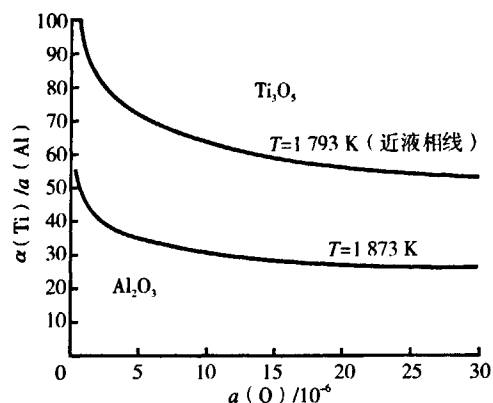


图 2 1793 K 和 1873 K 钢水中 Al、Ti 氧化物的理论平衡曲线
Fig. 2 Theory balance curves of Al, Ti oxide in
molten steel at 1793 K and 1873 K

获得各合金元素稳定的收得率 η , 其中 $\eta(\text{Mo}) \approx 90\%$, $\eta(\text{Mn}) \approx 90\%$, $\eta(\text{Si}) \approx 80\%$, $\eta(\text{Ti}) \approx 60\%$ 。

1.3.3 LF 精炼

LF 精炼可以精准调整钢水的成分和温度,并使之均匀一致,同时进一步去除夹杂物、提高钢水洁净度,使钢水更好地满足连铸要求。表 2 为 2007—2009 年首钢生产 H08SG 盘条 LF 处理前后硫质量分数统计表,其平均脱硫率为 59.2%,硫质量分数稳定在目标范围内。

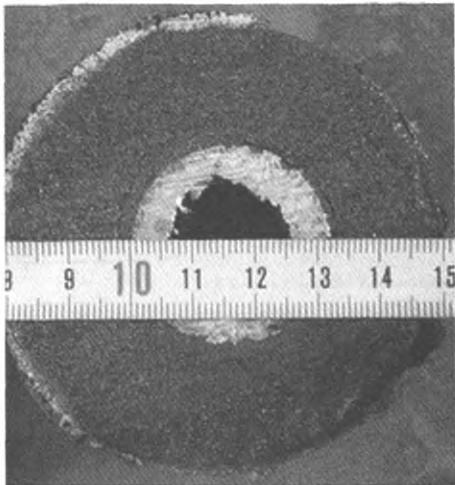
表 2 H08SG 盘条 LF 处理前后硫质量分数统计
Table 2 Sulphur mass fraction statistics of H08SG
wire rod before and after LF refine

| 项目 | LF 处理前 | LF 处理后 |
|------|---------------|---------------|
| 平均值 | 0.007 6 | 0.003 1 |
| 波动范围 | 0.003 ~ 0.012 | 0.002 ~ 0.004 |

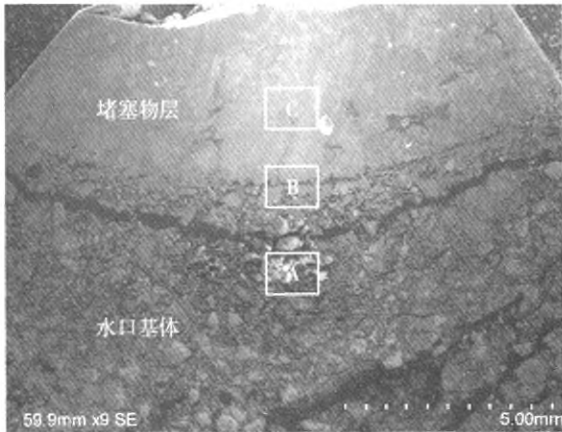
1.3.4 方坯连铸

连铸是 H08SG 盘条生产的难点,首钢使用断面 $130 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ 的小方坯铸机,采用全保护浇铸。由于钢种成分中含有多种合金元素, H08SG 浇铸中易发生浸入式水口堵塞。研究发现钛易导致浇铸过程浸入式水口的结瘤^[6-7];而锆质水口中 ZrO_2 可与碳反应生成对钢水有着良好润湿性的 ZrC , 使钢水渗透其中^[8],加剧了水口堵塞。图 3a 即是堵塞后的水口截面,对该水口取样后在扫描电镜下观察,结果如图 3b 所示。

对图 3b 中 A、B、C 位置分别检测组分后可确定:A 处为水口锆质基体;C 为凝固钢,其中部分位置存在 Zr 的氧化物,中间有一层较薄的 Al、Ti 氧化物层。生成的堵塞物厚度超过 5 mm,使得原水口内径大大减小,阻碍了钢液的流动,并最终导致了断



a) 堵塞水口截面宏观形貌



b) 堵塞水口扫描电镜照片

图 3 堵塞水口截面图

Fig. 3 Cross-section of nozzle clogging

浇。在生产中做好保护浇铸,避免钢水的二次氧化,是保证连铸顺利进行的关键。

1.4 轧制工艺

H08SG 以热轧盘条状态交货,规格主要为 $\varnothing 6.5$ mm。其轧制温度参数控制见表 3。

表 3 H08SG 盘条轧制温度参数

Table 3 Parameters of rolling temperature of

| H08SG wire rod | | | ℃ |
|----------------|-----------|-----------|---|
| 开轧温度 | 精轧温度 | 吐丝温度 | |
| 1 000 ~ 1 050 | 900 ~ 950 | 840 ~ 880 | |

轧制中各段水箱均匀给水,根据轧制速度、加热情况的变化,随时修正调整,确保吐丝温度符合要求。盘条输送中,冷却运输线要求关闭风机,保温罩全部使用,风机全部关闭。

2 H08SG 盘条的成品检验

2.1 化学成分

现行生产工艺下,可稳定控制 H08SG 盘条的化学成分: $w(C)$ 为 0.05% ~ 0.09%, $w(Si)$ 为 0.15% ~ 0.25%, $w(Mn)$ 为 1.55% ~ 1.65%,且均呈正态分布;其他合金及微合金元素总体控制稳定。磷、硫元素的含量对钢的性能有着极大的影响,在生产中需要严格控制,图 4、图 5 为近期首钢生产 H08SG 盘条 53 炉中包钢水成品熔炼化学成分中磷、硫质量分数的统计结果。

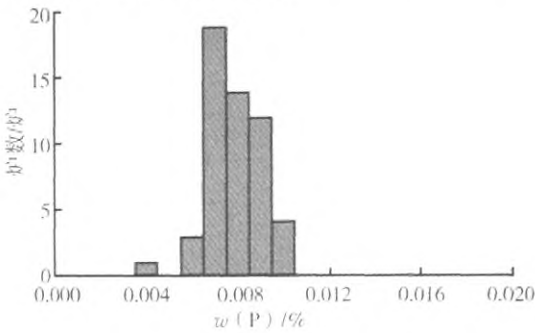


图 4 H08SG 盘条成品磷质量分数分布统计

Fig. 4 Statistical results of phosphorus mass fraction distribution of H08SG wire rod finished products

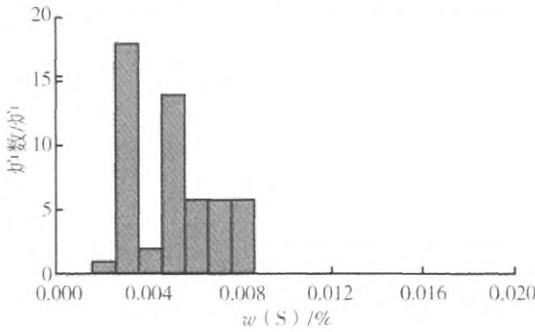


图 5 H08SG 盘条成品硫质量分数分布统计

Fig. 5 Statistical results of sulphur mass fraction distribution of H08SG wire rod finished products

根据数据统计,H08SG 盘条中包钢水磷的质量分数平均为 0.007 8%,且均在 0.010% 以下;硫的质量分数平均为 0.004 9%,且均在 0.008% 以下,可满足控制目标要求。

2.2 钢质纯净度

H08SG 盘条钢的使用性质特殊,对其钢质纯净度有着苛刻的要求,实践证明大颗粒夹杂物对 H08SG 盘条的使用性能有着较大影响,不仅可能导致拉拔过程中的断线,也会影响到焊接熔敷金属的性能,破坏其韧塑性。对首钢某批次 H08SG 盘条抽检结果显示,钢质纯净,非金属夹杂物数量少且尺寸小,最大尺寸约 6.33 μm ,主要为 1 级以下细系氮化物类夹杂。

H08SG 盘条钢的气体质量分数控制目标:
 $w(\text{O}) \leq 0.005\%$, $w(\text{N}) \leq 0.007\%$ 。表4为近期生产的10炉H08SG盘条钢(共20个样品)的检测统计结果。全氧质量分数平均值为0.001 27%;氮质量分数平均0.004 69%,均达到预定目标控制要求。

表4 H08SG 盘条气体质量分数
Table 4 Gas mass fraction of H08SG wire rod $w/\%$

| 项目 | O | N |
|-----|----------|----------|
| 平均值 | 0.001 27 | 0.004 69 |
| 最大值 | 0.002 00 | 0.006 60 |
| 最小值 | 0.001 00 | 0.003 80 |

2.3 组织与力学性能

首钢现行工艺条件下,H08SG 盘条金相组织为贝氏体,如图6所示。

现行工艺可控制 $\phi 6.5$ mm H08SG 盘条的抗拉强度为650~740 MPa,同圈强度差降至50 MPa 以内,提高同圈性能均匀性可显著提高盘条的拉拔性能。

2.4 表面质量

盘条表面质量是影响拉拔性能的主要因素之一,表面质量缺陷来源主要有2种:源于铸坯原料或产生于轧制过程。深度小于铸坯厚度1%~2%的铸坯表面缺陷,不会影响盘条表面质量^[9],H08SG

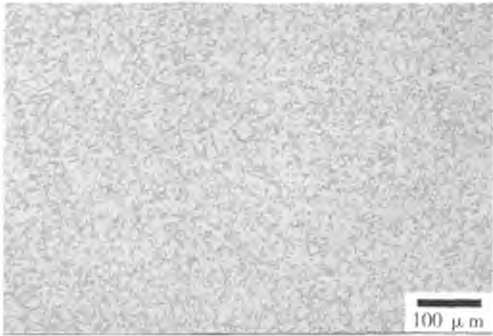


图6 H08SG 盘条金相组织
Fig. 6 Microstructure of H08SG wire rod

盘条铸坯凝固初期近表面位置保护渣的卷入,导致最终盘条表面结疤,是H08SG 盘条铸坯的主要质量问题。保证连铸过程中的稳态浇铸,可以很好地解决这一问题。轧制过程则需尽量减少盘条的划伤、刮伤,生产中主要通过规范化操作、设备维护、加强对成品盘条的检测、同时在改善产品外包等方面实现,最终可将划痕等缺陷深度控制0.10 mm 以内。

3 焊接试验

使用首钢 $\phi 6.5$ mm H08SG 盘条生产出的 $\phi 4.0$ mm 焊丝进行焊接试验,其熔敷金属的力学性能见表5。

使用该焊丝采用双丝埋弧焊工艺在某石油钢管

表5 $\phi 4.0$ mm 焊丝熔敷金属的力学性能

Table 5 Mechanical property of diameter 4.0 mm welding wire deposited metal

| 项目 | 拉伸性能 | | | | 冲击吸收功 A_{KV}/J | | | | | | | |
|------|--------------------|---------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-------|-----|-----|-----|
| | $R_{p0.2}/$ MPa | $R_m/$ MPa | $A/$ % | $Z/$ % | -20 ℃ | | | | -40 ℃ | | | |
| | | | | | 试样1 | 试样2 | 试样3 | 平均值 | 试样1 | 试样2 | 试样3 | 平均值 |
| 技术要求 | ≥ 485 | ≥ 570 | | | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 50 | ≥ 50 | | | | |
| 实测性能 | 575 | 655 | 24 | 73 | 115 | 115 | 122 | 118 | 71 | 76 | 66 | 71 |

有限公司进行了制管实践,焊丝直径4.0 mm,配套某商用焊剂,母材为8.8 mm 厚的X70 管线钢。焊后检测焊接接头的拉伸性能等指标,抗拉强度达到725 MPa,断口位于母材,说明焊缝的抗拉强度高于725 MPa;焊缝金属有良好的韧性,-20 ℃ 试验条件下冲击功均值达到136 J,-40 ℃ 时均值为95 J且剪切面积平均可达60%以上,证明了焊缝金属的韧脆转变温度在-40 ℃ 以下。制管试验结果表明,H08SG 盘条制做的焊丝配合相关焊剂经多丝埋弧焊接后得到的焊缝金属,其强度指标和韧性指标均能满足Q/SY XQ 15—2003《西气东输管道工程直缝埋弧焊管技术条件》要求。

4 结论

首钢 H08SG 盘条用于生产 X60~X70 用埋弧焊丝,熔敷金属表现出良好的强度和韧性匹配,已成功应用于西气东输等重大工程。其生产关键点包括:

- (1)H08SG 盘条生产中对磷、硫杂质元素的去除,主要通过转炉氧化脱磷和控制回磷来保证磷含量、铁水预处理和LF 精炼双工艺脱硫。
- (2)控制转炉终点、优化脱氧制度以及LF 炉外精炼工艺来保证钢质洁净,再强化连铸的全保护操作,可有效避免连铸时水口堵塞现象。
- (3)优化吐丝温度等轧制工艺参数以及实施缓冷措施,可稳定控制盘条微观组织和力学性能,保证了盘条的拉拔性能满足焊丝生产的使用要求。
- (4)利用首钢 H08SG 盘条生产(下转第66 页)

5 钢丝绳的合理选择

旋挖钻机用钢丝绳的使用工况复杂多变,要求钢丝绳具有良好的使用性能^[5]。要合理优选旋挖钻机用钢丝绳,首先必须对旋挖钻机的施工使用情况以及当前国产钢丝绳的种类和特点进行分析和研究,然后根据不同企业、不同型号旋挖钻机和设备定额提升能力确定钢丝绳的类型、结构、规格,以保证设备在施工中的安全。

5.1 钢丝绳结构的合理选择

(1) 由于旋挖钻机用钢丝绳工作方式属于单绳起重,即钢丝绳在工作时存在自由端,基于安全性和操作便利考虑,在选购钢丝绳时应优先选用抗旋转钢丝绳。

(2) 鉴于目前国内外旋挖钻机都没有安装动滑轮,所以钢丝绳单绳拉力较大,应该配置柔韧性能好、抗磨损性能佳、抗旋转且抗压性能较好的钢丝绳。

地质状态、设备状态、操作者的实际技术水平都会直接影响到成孔的具体数量,都会直接影响到旋挖钻机用钢丝绳的使用性能和使用寿命。

5.2 钢丝绳直径的合理选择

旋挖钻机的型号一旦选定,卷扬机就已经确定,其绳槽几何尺寸等物理参数是固定的,因此选择钢丝绳的直径必须满足旋挖钻机使用说明书中的要求。

在选择钢丝绳合适结构之后,钢丝绳的使用性能和使用寿命主要取决于绳槽尺寸,以及钢丝绳直

径和卷筒直径比率。

旋挖钻机用钢丝绳直径与卷筒或滑轮底部直径的比值要大于等于 20;与钢丝绳最外层钢丝直径比值要大于等于 250。

5.3 钢丝绳长度的合理选择

若钻孔深度不是很深时,卷筒上缠绕的钢丝绳不宜超过 2 层,钢丝绳总长度为孔深、钻机高度之和,再增加 15 ~ 20 m,留作缠绕卷筒的安全绳及其钢丝绳出现影响使用缺陷时的可供几次切除的长度,比较适宜。

参考文献

- [1] 缙庆林,上官文成. 旋挖钻机对钢丝绳的要求[J]. 金属制品,2004,30(1):27-30,32.
- [2] 陈辉,杨明友. 如何提高旋挖钻机钢丝绳的使用寿命[J]. 探矿工程,2002(6):22-23,26.
- [3] 缙庆林,许恩荣. 德国迪帕特种钢丝绳及其应用[J]. 金属制品,2004,30(5):1-4.
- [4] 缙庆林. 18×7 类不旋转钢丝绳结构特点[J]. 金属制品,2007,33(6):16-18.
- [5] 张艳良,叶安平. 旋挖钻机钢丝绳的选用及保养[J]. 工程机械与维护,2009(3):1-4.

(收稿日期:2011-09-20)

作者简介

缙庆林 1945 年生,高级工程师,江苏法尔胜泓昇集团有限公司技术开发中心顾问,中国钢结构协会线材制品行业分会原副秘书长,《金属制品》期刊原编委。

(上接第 55 页)的埋弧焊丝,匹配相关焊剂后焊接 X70 管线钢板,焊缝性能优良,尤其低温韧性稳定。

为了降低单位流量输送管道的建设费用和运行成本,长输管道正在朝着提高强度、增大直径和壁厚、提高输送压力的方向发展,这就要求有匹配的焊接材料和焊接方法,H08SG 盘条的成功开发,也为 X80 等更高级别管线钢配套埋弧焊丝用钢的研发奠定了基础。

参考文献

- [1] 唐伯钢. 今后五年我国焊接材料的发展趋势和问题[J]. 电焊机,2006,36(11):1-4.
- [2] 李为卫,左辰. 石油天然气管道焊接材料发展现状及建议[J]. 现代焊接,2007(11):1-7.
- [3] 付彦宏,廖广平,刘红. 管线钢用高等级埋弧焊丝生产工艺[J]. 金属制品,2006,32(4):14-16.
- [4] 奥特斯 F. 钢冶金学[M]. 倪瑞明,张圣弼,项长祥,译. 北京:冶金工业出版社,1997:18-20.
- [5] PAK J J,JO J O,KIM S I,etc. Thermodynamics of Titanium and Oxygen Dissolved in Liquid Iron Equilibrated with Tita-

mium Oxides[J]. ISIJ International,2007,47(1):16-24.

- [6] 郑宏光. 含钛不锈钢连铸水口结瘤和结晶器“结鱼”[J]. 宝钢技术,2008(1):50-58.
- [7] 元奉友,甄先锋,李文英. 含 Ti 焊接用线材的开发[J]. 金属制品,2009,35(3):34-38.
- [8] 程贺朋,编译. ZrO_2-C 材料中 ZrC 的形成和其对钢水渗入的作用[J]. 国外耐火材料,2006,31(5):28-31.
- [9] DOUGLAS G S. 连铸板坯和方坯表面缺陷的分析与判定[J]. 世界钢铁,2010(4):23-28.

(收稿日期:2010-10-11)

作者简介

陈 涛 1979 年生,北京科技大学冶金与生态工程学院在读博士,首钢总公司技术研究院工程师。
易 敏 1973 年生,首钢总公司技术研究院高级工程师。
陈延清 1967 年生,首钢总公司技术研究院高级工程师。
孙齐松 1978 年生,首钢总公司技术研究院工程师。
唐国志 1977 年生,首钢总公司技术研究院工程师。
李 宏 1954 年生,教授,北京科技大学冶金与生态工程学院博士生导师。