

盘条钢SWRH82B的生产实践

黎建全, 雷阳伟, 赵志强, 罗鸿桢

攀钢集团攀枝花钢铁有限公司提钒炼钢厂, 四川 攀枝花

Email: fpljq@sina.com

收稿日期: 2020年8月13日; 录用日期: 2020年8月25日; 发布日期: 2020年9月1日

摘 要

以SWRH82B为研究对象, 结合某钢厂炼钢及3#方坯连铸机的特点, 开展了冶炼到连铸的生产工艺研究, 建立了该厂特色的盘条钢小方坯连铸生产工艺流程, 生产的铸坯质量较好, 满足后步工序的需求。轧制盘条力学性能、金相组织均满足用户要求。

关键词

SWRH82B, 连铸小方坯, 盘条

Production Practice of Cord Steel SWRH82B

Jianquan Li, Yangwei Lei, Zhiqiang Zhao, Hongcheng Luo

Pangang Group Steel & Vanadium Co., Ltd., Panzhihua Sichuan

Email: fpljq@sina.com

Received: Aug. 13th, 2020; accepted: Aug. 25th, 2020; published: Sep. 1st, 2020

Abstract

Taking SWRH82B as the research object, combined with the characteristics of steelmaking and No.3 billet caster in a steel plant, the research on the production process from smelting to continuous casting was carried out, and the characteristic production process of continuous casting of small billet of cord steel in the plant was established. The quality of the billets produced was good, meeting the needs of the next process. The mechanical properties and metallographic structure of rolled wire rod meet the requirements of users.

Keywords

SWRH82B, Billet, Wire Rod



1. 引言

SWRH82B 盘条是生产高强度、低松弛预应力混凝土结构用钢丝和钢绞线的主要材料，广泛应用于高层建筑、桥梁搭建、石油化工、铁路、机场等重大工程项目[1]，要求盘条必须有足够的强度、面缩率和良好的拉拔性能[2] [3]。因而不但要求有稳定的化学成分、纯净的钢质，同时要求有较高的索氏体含量和均匀的金相组织，对连铸坯质量也提出了更高的要求[4] [5]。某钢厂根据公司产品结构调整的要求，结合现有装备条件，对化学成分控制、转炉冶炼、LF 精炼、RH 真空处理、连铸进行分析研究，开发完成了 SWRH82B 连铸生产工艺流程，为后续金属制品公司的盘条产品开发提供合格连铸坯料。

2. 盘条技术要求

因加工工艺不同，不同的钢绞线、钢绳生产厂对热轧盘条的要求也不尽相同[1] [2] [4] [6]。该厂结合某钢绳厂对 SWRH82B 热轧盘条的质量及使用性能要求，设计了盘条的化学成分(见表 1)，力学性能指标(见表 2)，明确盘条的金相组织主要为索氏体，索氏体化率 $\geq 85\%$ ，非金属夹杂物评级要求(见表 3)以及连铸坯低倍组织要求各类缺陷级别应不大于 2.5 级。

Table 1. Chemical composition of hot-rolled coil design (mass percentage)/%
表 1. 热轧盘条设计化学成分(质量百分比)/%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	As
判钢	0.78~0.83	0.15~0.35	0.75~0.90	≤ 0.030	≤ 0.030	0.20~0.28	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.020
内控	0.79~0.82	0.20~0.30	0.78~0.88	≤ 0.015	≤ 0.010	0.20~0.25	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.020

Table 2. Mechanical properties of hot-rolled coil
表 2. 热轧盘条的力学性能

钢号	直径/mm	抗拉强度 Rm/MPa	断面收缩率 Z/%
SWRH82B	$\phi 12.5$	1140~1250	≥ 20

Table 3. Non metallic inclusions in hot-rolled coil/grade
表 3. 热轧盘条非金属夹杂物评级/级

A 类		B 类		C 类		D 类	
粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系
≤ 2.0		≤ 1.0		≤ 2.0		≤ 1.0	

3. 试验条件

3.1. 工艺流程

每个工厂都会结合各自的工艺装备条件采用不同的生产工艺[7] [8] [9] [10]，该厂生产 SWRH82B 的工艺流程为：铁水预处理 - 转炉冶炼 - 炉后吹氩 - LF 精炼 - RH 真空处理 - 3#方坯连铸(160 mm × 160 mm) - 金属制品公司线材生产线轧制。

3.2. 炼钢主要装备情况

炼钢厂生产 SWRH82B 的主要工艺装备及性能参数如表 4。

Table 4. Main equipment parameters and performance characteristics
表 4. 主要装备参数及性能特点

工艺装备	主要参数和性能特点
铁水脱硫装置	Mg基复合喷吹脱硫系统，载流气体氮气，镁粉喷吹速率6~20 kg/min，可根据钢种需求进行深脱、浅脱
炼钢转炉	120 吨氧气顶底复吹转炉，具有副枪及炉气分析技术，滑板挡渣出钢，溅渣护炉
钢水吹氩站	吹氩强度可调，喂 Al 线和复合包芯线
LF 精炼炉	具有加热，成分微调，造渣精炼功能，平均升温速度可达2.5℃/min
RH 真空处理装置	脱气，去除夹杂，成分微调，抽气能力550 kg/h，真空度可达100 Pa
3#方坯连铸机	6机6流全弧型，铸机半径10 m，冶金长度~35 m，断面160 mm × 160 mm，结晶器电磁搅拌、液压振动，动态二冷控制，工作拉速0~3 m/min

3.3. 关键工序工艺控制要求

3.3.1. 转炉冶炼工艺

采用脱硫半钢冶炼，入炉半钢 $S \leq 0.010\%$ ，转炉终点 $[C] \geq 0.05\%$ 、 $[P] \leq 0.010\%$ ，出钢温度 $\geq 1640^{\circ}\text{C}$ ，出钢过程加顶渣料活性石灰和萤石进行混冲，根据终点碳含量加入一定量的硅铁脱氧，小平台喂入一定量铝线，采用滑板挡渣工艺严格控制出钢过程下渣量，转炉下渣层厚度控制在 80 mm 以内。

3.3.2. LF 精炼工艺

根据小平台 S 含量加活性石灰、石英砂、精炼调渣剂，目标碱度 2.0~3.0。钢水出站 $S \leq 0.008\%$ ，出站前喂入硅钙线进行钙处理，出站温度按 $1570^{\circ}\text{C} \sim 1580^{\circ}\text{C}$ 控制。

3.3.3. RH 真空处理工艺

真空度 $\leq 3 \text{ mbar}$ 的处理时间 $\geq 14 \text{ min}$ ，真空处理总时间 $\geq 18 \text{ min}$ ，出站前喂入硅钙线进行钙处理，后软吹氩 $\geq 5 \text{ min}$ ，RH 出站温度按 $1520^{\circ}\text{C} \sim 1530^{\circ}\text{C}$ 控制。

3.3.4. 连铸工序

连铸坯的质量对最终产品性能有很大影响[4] [5]，为确保获得良好的铸坯凝固质量，连铸采用塞棒控流、液面自动控制等工艺技术，浇铸过程采用严格的全程保护浇铸技术，浇注过程塞棒不吹氩，中间包采用 PC-1 和碳化稻壳双层覆盖剂中间包目标温度按 $1490^{\circ}\text{C} \sim 1505^{\circ}\text{C}$ 控制，要求过热度不大于 30°C [4]，采用高碳钢结晶器保护渣，二冷采用 R4A 水表，比水量为 0.6 l/Kg，采用结晶器和凝固末端电磁搅拌，拉速按 1.60~1.90 m/min (目标 1.80 m/min)控速，保持恒速浇铸。

4. 试验过程控制情况

4.1. 成分控制

4.1.1. 过程硫控制

入炉硫均满足 $\leq 0.010\%$ 的控制要求，601262、701172 由于转炉上炉冶炼钢种为钢筋钢，回硫较多(回 0.011%)，成品硫最高 0.009%，全部满足 0.010%的内控要求。各工序点的硫控制情况如图 1 所示。

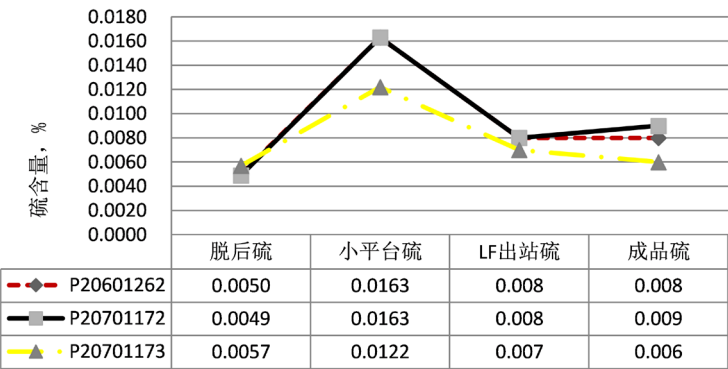


Figure 1. Process sulfur control diagram
图 1. 过程硫控制图

4.1.2. 过程主要成分控制

各工序根据要求，对不同的化学成分进行控制，转炉成分控制以 LF 进站样为准，LF 出站成分与目标值偏差基本在 0.02%以内，RH 再进行微调，到达目标成分，满足试验要求，详细成分控制情况见表 5。

Table 5. Main chemical constituents of processes (mass percentage)/%
表 5. 工序主要化学成分(质量百分比)/%

熔炼号	工序名称	主要元素质量百分比，%			
		C	Si	Mn	Cr
P20601262	LF 进	0.77	0.22	0.78	0.20
	LF 出	0.79	0.20	0.78	0.20
	RH 进	0.79	0.20	0.78	0.20
	RH 出	0.80	0.24	0.81	0.22
P20701172	LF 进	0.78	0.18	0.79	0.20
	LF 出	0.77	0.19	0.79	0.20
	RH 进	0.77	0.20	0.82	0.22
	RH 出	0.80	0.24	0.84	0.22
P20701173	LF 进	0.76	0.18	0.73	0.18
	LF 出	0.77	0.20	0.77	0.20
	RH 进	0.76	0.23	0.81	0.20
	RH 出	0.81	0.25	0.81	0.22

4.2. 过程温度控制

考虑中包第一炉温降，过程温度控制偏高，导致中包温度超上限，各工序过程温度控制见表 6，中间包温度控制如图 2。

Table 6. Process temperature/°C
表 6. 各工序过程温度/°C

熔炼号	出钢	氩后	LF 进站	LF 出站	RH 进站	RH 出站	中间包(平均)
P20601262	1640	1550	1520	1614	1605	1552	1504.5
P20701172	1651	1563	1519	1586	1580	1529	1495.2
P20701173	1647	1542	1494	1578	1572	1527	1494.2

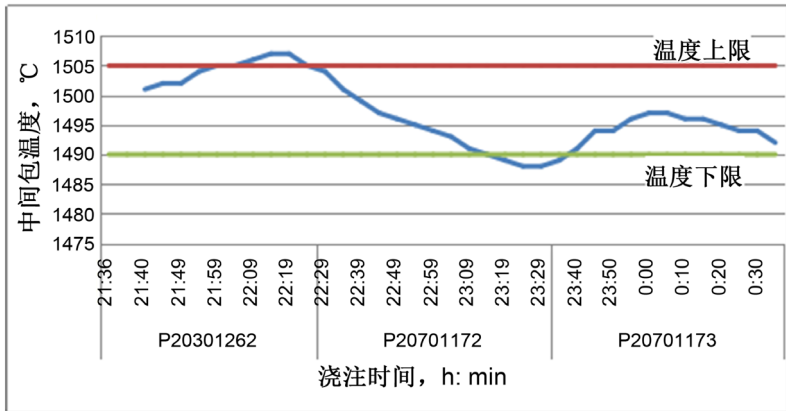


Figure 2. Tundish temperature control
图 2. 中间包温度控制

4.3. 拉速控制

为对比拉速对质量的影响，前 2 炉拉速按 1.60 m/min 控制，第 3 炉拉速按 1.8 m/min 控制，如图 3 所示拉速控制较为恒定。

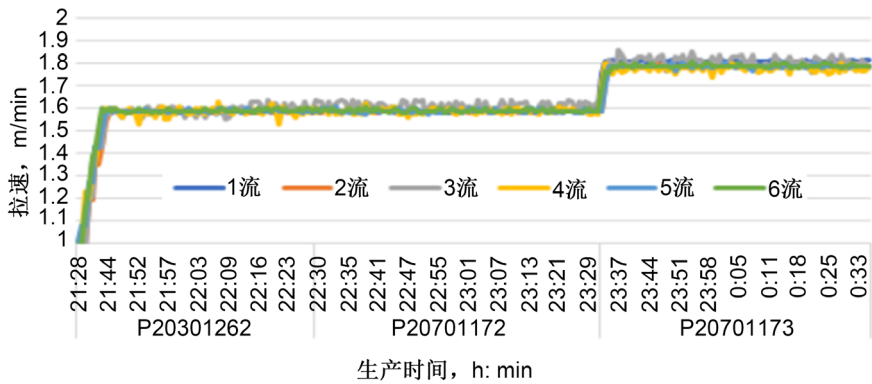


Figure 3. Casting speed control
图 3. 拉速控制图

5. 试验结果

5.1. 化学成分

试验生产 SWRH82B 成品碳、硅、锰、铬、磷、硫均满足内控要求，成分精度合格率 100%。化学成分全部控制在内控要求范围之内(检验结果见表 7)。

Table 7. Composition of finished wire rod (mass percentage)/%
表 7. 盘条成品成分(质量百分比)/%

熔炼号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	As
P20601262	0.80	0.24	0.80	0.008	0.008	0.22	0.03	0.04	0.009
P20701172	0.81	0.24	0.81	0.009	0.009	0.22	0.03	0.04	0.008
P20701173	0.81	0.25	0.82	0.008	0.006	0.23	0.04	0.05	0.01

5.2. 铸坯低倍及偏析

按 YB/T 153 的规定对连铸坯进行低倍组织检验, 低倍检验结果较好, 铸坯表面及内部未见明显的缺陷, 中心偏析和中心疏松均为 0.5 级, 铸坯低倍见图 4。

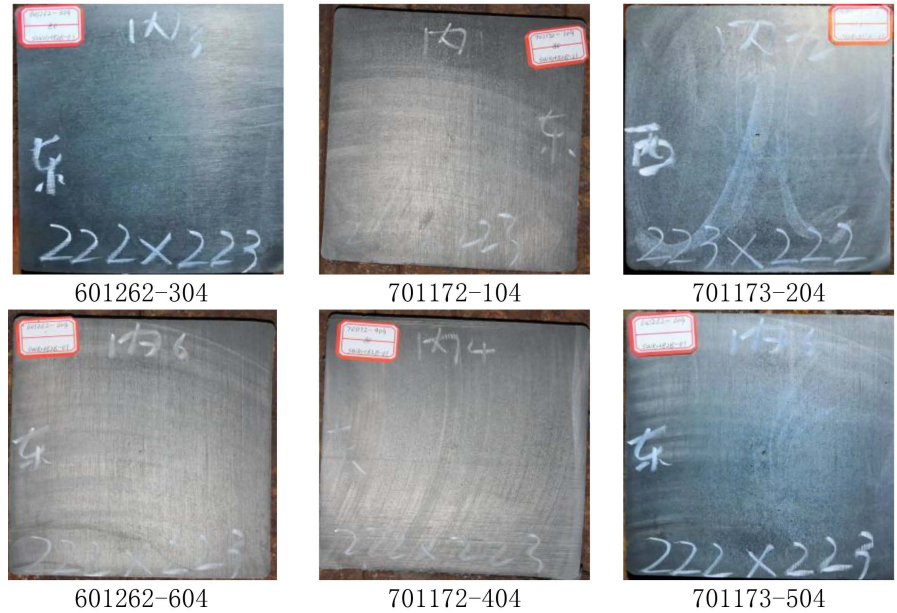


Figure 4. Macroscopic structure of cast billet
图 4. 铸坯典型低倍

在 160 mm × 160 mm 铸坯横断面上取钻样进行了碳偏析测试, 铸坯钻样点如图 5, 铸坯碳偏析指数分布见图 6。由图 6 可以看出在拉速为 1.6 m/min 和 1.8 m/min 情况下的铸坯碳偏析差别不大。

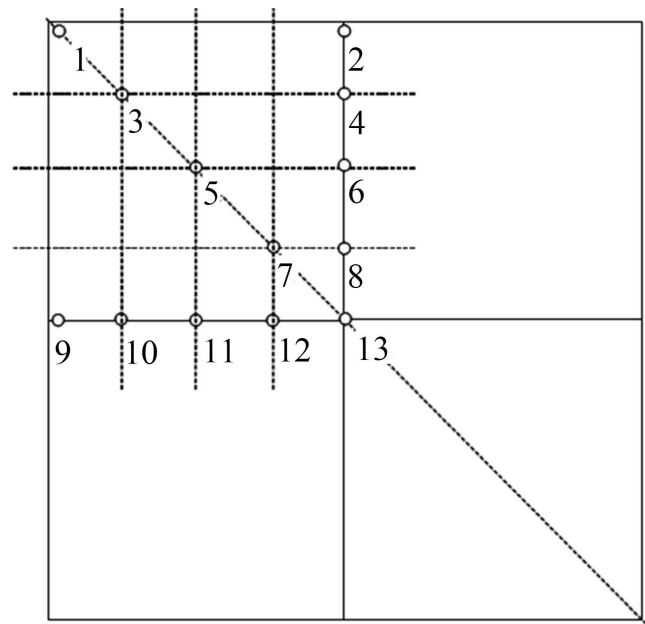


Figure 5. Diagram of drill-like location
图 5. 钻样位置示意图

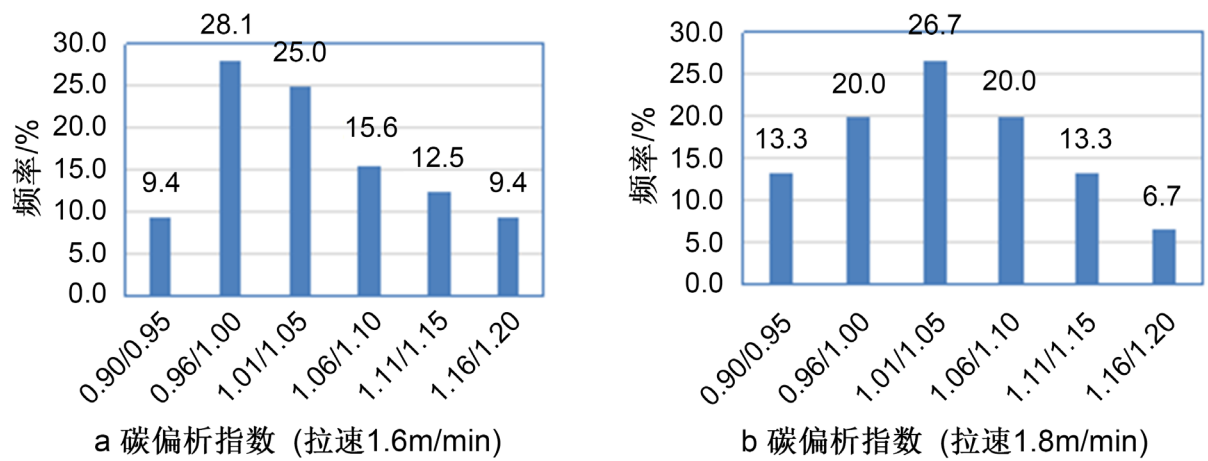


Figure 6. Segregation distribution of cast billet
图 6. 铸坯偏析分布

5.3. 轧制盘条质量情况

连铸坯经金属制品公司轧制成 $\phi 12.5$ 的盘条, 按照 GB/T13298-91 《金属显微组织检验方法》[11]及 QN/ZH-10.7.3-2003 《中高碳无扭控冷热轧态盘条中心渗碳体网评定方法》, 进行金相试样制备和金相组织观察分析。并对盘条力学性能、脱碳层、非金属夹杂、索氏体化率等进行检验, 抗拉强度 1152.5~11186.5 Mpa, 断面收缩率 30.5%~36.5%, 索氏体化率 85%~90%, 脱碳层 ≤ 0.10 mm, 盘条偏析 1.0~3.0 级, 晶界渗碳体 1.0~1.5 级, 心部 M 在 0.5~2.0 级, 夹杂物评级均在 0.5 级以内, 各项指标均满足协议要求。主要指标如表 8 所示, 盘条典型金相组织见图 7。

Table 8. Main performance indicators
表 8. 盘条主要性能指标

熔炼号	检验部位	平均 Rm/M Pa	平均 Z/%	索氏体率 /%	心部偏析/级	心部马氏体/级	晶界渗碳体/级	脱碳层/mm	夹杂物级别/级								DS
									A		B		C		D		
									细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	
P20601262	头	1176.5	30.5	85	B2.0	1.0	1.0	0.07	0.5	0	0	0	0	0	0	0	
	尾	1167.5	31.5	90	B3.0	2.0	1.5	0.10	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	
P20701172	头	1177	35	85	B1.0	1.0	1.0	0.05	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0	
	尾	1152.5	35.5	90	B2.0	1.0	1.0	0.03	0.5	0	0	0	0	0	0	0	
P20701173	头	1172	35	90	B2.0	0.5	1.0	0.05	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0	
	尾	1186.5	36.5	85	B2.0	2.0	1.0	0.04	0.5	0	0	0	0	0	0	0	
协议要求		1140~1250	≥20	≥85	/	/	/	<0.5	≤2.0		≤1.0		≤2.0		≤1.0		

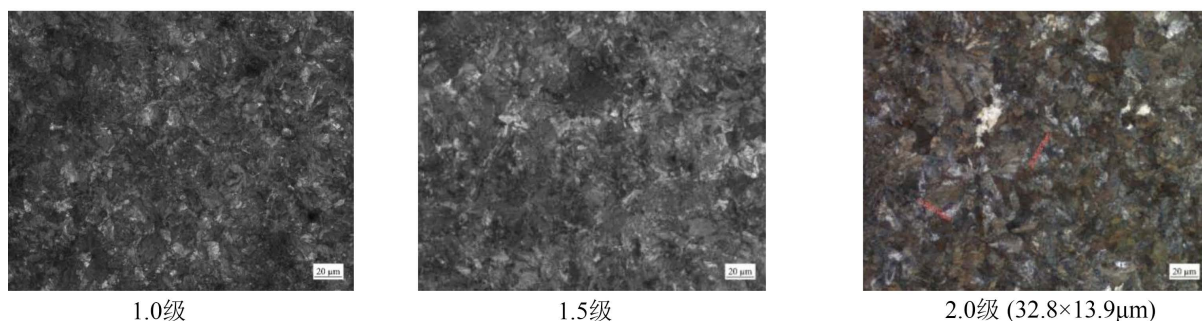


Figure 7. Typical metallographic structure of wire rod

图 7. 盘条典型金相组织

6. 结论及建议

1) 钢厂目前装备具备生产 SWRH82B 的能力。生产工艺顺行, 成品成分精度控制良好, 全部在内控范围内, 所生产铸坯低倍检验结果良好, 完全满足技术协议要求。

2) 盘条的力学性能平均 1152.5~11,186.5 Mpa, 断面收缩率 30.5%~36.5%, 索氏体化率 85%~90%, 盘条的非金属夹杂物评级在 0.5 级以内, 控制较好, 完全满足技术协议要求。

3) 盘条金相检验存在 1.0~1.5 级的晶界渗碳体, 0.5~2.0 级的心部 M 马氏体, 分析认为与铸坯偏析有一定关系。

4) 铸坯偏析指数在 0.90~1.20 波动, 过程温度控制偏高, 不利于偏析控制, 下一步将降低连铸浇铸温度。

参考文献

- [1] 李文亚, 刘莉, 李智丽, 等. SWRH82B 盘条常见质量缺陷分析[J]. 物理测试, 2012, 30(2): 35-38.
- [2] 李伟平. 1860 MPa 级预应力钢绞线及 82B 热轧盘条生产技术浅析[J]. 柳钢科技, 2016(6): 22-24.
- [3] 石磊, 王鑫. SWRH82B 盘条生产工艺研究与质量分析[J]. 山西冶金, 2018(6): 10-12.
- [4] 李京社, 汪庆国, 唐海燕, 等. 82B 铸坯碳硫偏析和低倍缺陷控制的试验研究[J]. 连铸, 2011(Supple 1): 42.
- [5] 谢文新, 许晓红. 末端电磁搅拌参数对帘线钢 72A 铸坯中心碳偏析的影响[J]. 特殊钢, 2010, 31(1): 28-29.
- [6] 王全利, 贾元海, 于俊春, 等. 含钒高强度绞线用钢研发实践[J]. 河北冶金, 2014, 219(3): 10-14.
- [7] 谢祥, 胡友红, 王劫, 等. 水钢预应力钢绞线 SWRH82B 钢的冶炼工艺[J]. 轧钢, 2017, 34(5): 67-71.
- [8] 胡磊, 王雷, 麻晗. 超高强度预应力钢丝及钢绞线用盘条的开发研究[J]. 钢铁机钛, 2016, 37(1): 42-47.
- [9] 刘立德, 张毅, 龙国荣, 等. SWRH82B 钢 ϕ 14~15 mm 盘条的生产实践[J]. 特殊钢, 2018, 39(4): 23-27.
- [10] 李正嵩, 张毅, 谢祥, 等. 水钢 100 t 转炉单渣法脱磷工艺冶炼优质钢的生产实践[J]. 特殊钢, 2018, 37(3): 39-45.
- [11] 中华人民共和国冶金工业部. GB/T 13298-91 金属显微组织检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.