

SWRH82B 钢 Φ14 ~ 15 mm 盘条的生产实践

刘立德¹ 张毅² 龙国荣¹ 高长益¹ 谢祥³ 杨昌涛³

(1 水城钢铁集团公司技术中心,六盘水 553028;2 水城钢铁集团公司,六盘水 553028;

3 水城钢铁集团公司炼钢厂,六盘水 553028)

摘要 采用 Cr、V 微合金化技术开发了抗拉强度 ≥ 1 180 MPa 的 SWRH82B 钢 Φ14 ~ 15 mm 盘条(/% : 0.79 ~ 0.82C, 0.15 ~ 0.35Si, 0.60 ~ 0.90Mn, ≤ 0.025P, ≤ 0.006S, ≤ 0.015As, 0.26 ~ 0.32Cr, 0.04 ~ 0.07V)。水钢用 100 t 转炉-LF 精炼-160 mm × 160 mm 连铸(结晶器带电磁搅拌)-铸坯缓冷-高速线材轧制-Stellmor 风冷的工艺流程生产的 SWRH82B 钢 Φ14 ~ 15 mm 盘条组织的索氏体化率达到了 95%。盘条的抗拉强度为 1 180 ~ 1 270 MPa, 断面收缩率为 27.0% ~ 37.5%。盘条满足大规格高强度矿用钢绞线的要求。

关键词 高强度 SWRH82B 钢 Φ14 ~ 15 mm 盘条 Cr-V 微合金化 钢绞线

Production Practice of Φ14 ~ 15 mm Coil of Steel SWRH82B

Liu Lide¹, Zhang Yi², Long Guorong¹, Gao Changyi¹, Xie Xiang³ and Yang Changtao³

(1 Technology Center, Shuicheng Iron and Steel Group Corp, Liupanshui 553028;

2 Shuicheng Iron and Steel Group Corp, Liupanshui 553028;

3 Steelmaking Works, Shuicheng Iron and Steel Group Corp, Liupanshui 553028)

Abstract With using Cr, V microalloying technology the Φ14 ~ 15 mm coil of steel SWRH82B (/% : 0.79 ~ 0.82C, 0.15 ~ 0.35Si, 0.60 ~ 0.90Mn, ≤ 0.025P, ≤ 0.006S, ≤ 0.015As, 0.26 ~ 0.32Cr, 0.04 ~ 0.07V) with tensile strength ≥ 1 180 MPa has been developed. The Φ14 ~ 15 mm coil of steel SWRH82B is produced by 100 t BOF-LF refining-160 mm × 160 mm billet casting with mold electromagnetic stirring-billet slow cooling-high speed wire-rod rolling-Stellmor wind cooling process at Shuigang, the sorbite content in structure of coil is up to 95%. The tensile strength of coil is 1 180 ~ 1 270 MPa and the reduction of area of coil is 27.0% ~ 37.5% to meet the requirements of large size and high strength steel strand for mine.

Material Index High Strength Steel SWRH82B, Φ14 ~ 15 mm Coil, Cr-V Microalloying, Steel Strand

Φ14 ~ 15 mm SWRH82B 大规格热轧盘条是用于拉拔捻制强度在 2 000 MPa 以上的大规格预应力钢绞线^[1-2](例如,矿用预应力钢绞线)的原料与普通 Φ10 ~ 12.5 mm SWRH82B 盘条相比,生产 Φ14 ~ 15 mm SWRH82B 盘条的难点在于:(1)生产大规格盘条时,从铸坯到盘条的压缩比较小,铸坯中心的碳偏析不容易碾散,导致盘条中心出现严重的封闭的网状渗碳体,在盘条拉拔加工时,容易出现杯锥状断裂;(2)由于盘条规格大,轧出来的盘条在 Stellmor 风冷辊道上冷却时,从盘条的表面到中心的冷却速度差别大,则盘条内外组织差别大,内外性能差别也大;(3)刚生产出来的大规格盘条的内应力大,并且不容易释放,大规格盘条中的氢、氮气逃逸也需要更长的时间,因此大规格盘条的时效时间更长;(4)大规格盘条由于从铸坯到盘条的压缩比较小,则盘条的晶粒较粗大,加上盘条整个横截面上的冷却强度小,因此大规格盘条的强度较低,塑性也差,拉拔加工性能不好。针对这些难点问题,水钢设计了 Φ14 ~ 15 mm SWRH82B 大规格热轧盘条的化学成分和

工艺路线,成功生产出了大规格盘条。

1 盘条的主要技术指标

根据矿用预应力钢绞线对 Φ14 ~ 15 mm SWRH82B 热轧盘条的质量要求,设计盘条的化学成分见表 1,其力学性能指标:抗拉强度(R_m) ≥ 1 180 MPa,断面收缩率(Z) ≥ 25%。热轧盘条尺寸、外形、重量及允许偏差执行标准《热轧圆盘条尺寸、外形、重量及允许偏差》(GB/T14981 - 2009)。

化学成分设计思路:(1)因为水钢生产 Φ12.5 mm SWRH82B 盘条^[3]的化学成分(/%)为:0.79 ~ 0.82C、0.15 ~ 0.35、0.60 ~ 0.90Mn、0.20 ~ 0.24Cr、

表 1 SWRH82B 钢 Φ14 ~ 15 mm 盘条的化学成分 /%
Table 1 Chemical composition of Φ14 ~ 15 mm coil of steel SWRH82B /%

项目	C	Si	Mn	P	S	As	Cr	V
标准	0.79 ~ 0.82	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.015	≤ 0.015	0.26 ~ 0.32	0.04 ~ 0.07
试验钢	0.80	0.20	0.82	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 0.015	0.28	0.050

$P \leq 0.025$ 、 $S \leq 0.015$, 该盘条的抗拉强度为 1 140 ~ 1 200 MPa, 平均 1 170 MPa, 为了提高 $\Phi 14 \sim 15$ mm SWRH82B 盘条强度, 采用 Cr、V 微合金强化方法^[46]; (2) Cr、V 都是碳化物形成元素, 在钢水连铸过程中, 可

抑制铸坯中心的碳偏析; (3) 在热轧后的冷却过程中, Cr 起到延迟再结晶的作用, 可以使盘条横截面上的组织更加均匀而且细小, 既提高盘条的强度, 又保证其塑性; (4) V 在铸坯加热过程中固溶到钢中, 又在轧制冷却过程中以更细小的碳氮化物析出来, 对钢具有显著的强化效果; (5) Si 的目标值按下限控制, 这有利于盘条的拉拔加工, 因为 Si 使盘条容易产生加工硬化; (6) 有害元素 P、S、As 控制在较低的范围。

性能指标是盘条从轧制出来经过 15 天自然时效或刚轧制出来经过 120 °C 保温 2 h 的人工时效 (该人工时效等同于 15 天自然时效) 后的拉伸性能, 水钢用人工时效后的检验性能交货, 这样使盘条在轧制当天就可交货。

2 生产工艺

2.1 生产工艺流程

铁水 + 废钢-100 t 顶底复吹转炉冶炼-挡渣出钢-脱氧合金化-LF 精炼-连铸 (六机六流方坯连铸机连铸, 方坯横断面为 160 mm × 160 mm, 全保护浇注, 采用结晶器电磁搅拌)-铸坯缓冷 (铸坯在其它热坯上堆垛缓冷 24 h)-高速线材轧制-Stellmor 风冷线上冷却。

2.2 炼钢工艺

2.2.1 转炉冶炼

表 2 铁水化学成分和温度

Table 2 Chemical composition and temperature of hot metal

项目	成分 / %							温度 / °C
	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	As	
范围	0.21 ~ 0.54	0.26 ~ 0.41	0.120 ~ 0.160	0.012 ~ 0.039	0.010 ~ 0.087	0.100 ~ 0.320	0.005 ~ 0.015	1 274 ~ 1 327
均值	0.35	0.34	0.143	0.027	0.054	0.199	0.010	1 305

铁水成分和温度见表 2。使用内部自循环的废钢、氧化铁饼和污泥球, 为了减少入炉磷含量, 严禁使用生铁块、冷固球和磁选铁。

转炉终渣碱度按 3.2 ~ 3.6 控制, 根据入炉铁水磷含量高低确定是否采用双渣法冶炼^[7], 若铁水磷大于 0.100%, 则采用双渣法冶炼, 采用双渣法冶炼时, 前期倒初期渣时间控制在开吹后 4 ~ 6 min, 倒初期渣时, 必须对炉内钢水进行测温、取样。因铁水 $[P] \geq 0.100\%$, 所以采用双渣操作 (表 3)。倒初期渣后的过程加料及终点控制情况见表 4。转炉吹炼末期第 1 次倒炉和出钢的渣样成分见表 5。

出钢 $[C] = 0.12\% \sim 0.30\%$, 出钢 $[P] \leq 0.012\%$, 出钢 $[S] \leq 0.025\%$ 。出钢温度为 1 610 ~ 1 640 °C, 使钢水到达 LF 精炼站的温度为 1 500 ~ 1 530 °C 为宜。

出钢前钢包温度 ≥ 900 °C, 底吹砖畅通, 钢包洁净, 不得有包沿, 确保水口自开。

出钢时间 ≥ 3.5 min (这是出钢口状况良好的衡量标准), 并保证圆流出钢。采用挡渣出钢, 确保钢包中钢水的渣面厚度小于 50 mm, 钢包上沿净空高度 300 ~ 500 mm。若转炉出钢时挡渣不好, 则改为其它钢种。

采用低氮增碳剂配碳, 硅锰铁配锰, CrFe 配 Cr, VFe 配 V。每炉加 SiCaBa 合金 60 kg 进行终脱氧

表 3 转炉装入量、倒初期渣前的渣料加入情况、倒初期渣的时间和溶池温度

Table 3 BOF charging amount, slagging material charge before slag dumping, and time and bath temperature of initial slag dumping

项目	装入量 / t		倒初期渣前的渣料加入情况 / kg				从开吹计算的倒初期渣的时间 / min	倒初期渣时溶池温度 / °C
	铁水	废钢	石灰	轻烧白云石	污泥球	烧结矿		
范围	88.2 ~ 91.0	8.6 ~ 9.5	1 236 ~ 3 123	206 ~ 1 682	551 ~ 1 381	100 ~ 2 238	2.49 ~ 4.32	1 354 ~ 1 408
均值	89.7	8.9	1 994	638	926		3.37	1 378

表 4 转炉倒初期渣后的过程加料及终点控制

Table 4 Slagging material charge in process after initial slag dumping and BOF end point control

项目	过程加料 / kg				第一次倒炉			出钢			倒炉次数
	石灰	轻烧白云石	污泥球	烧结矿	温度 / °C	C / %	P / %	温度 / °C	C / %	P / %	
范围	1 752 ~ 3 123	408 ~ 1 682	551 ~ 1 655	1 200 ~ 3 400	1 539 ~ 1 588	0.22 ~ 0.60	0.010 ~ 0.12	1 610 ~ 1 620	0.13 ~ 0.16	0.010 ~ 0.012	2 ~ 3
均值	2 647	723	1 143	2 325	1 565	0.37	0.011	1 615	0.15	0.011	2

表5 转炉吹炼末期第1次倒炉和出钢的渣样成分
Table 5 Ingredient of slag sample at BOF first turning down and tapping at BOF end

工位	特征	渣的成分 / %						全铁 TFe	碱度 (R)
		CaO	SiO ₂	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂			
第1次倒炉	范围	42.67 ~ 49.44	12.29 ~ 15.42	3.72 ~ 4.69	3.58 ~ 5.37	2.61 ~ 5.95	12.19 ~ 15.35	2.77 ~ 4.00	
	均值	47.09	13.52	4.19	4.40	3.79	13.90	3.54	
出钢	范围	48.74 ~ 50.51	10.35 ~ 14.30	4.24 ~ 4.75	3.43 ~ 4.55	2.49 ~ 3.53	12.44 ~ 16.58	3.45 ~ 4.88	
	均值	49.52	12.49	4.55	3.88	2.87	14.89	4.04	

(要考虑 SiCaBa 合金的增 Si 量)。合金加入顺序为:硅锰铁→铬铁→钒铁→硅钙钡。硅锰铁、铬铁、钒铁必须烘烤后使用。转炉出钢过程中的合金加入量见表6,脱氧合金化后的钢水成分见表7。

表6 转炉出钢过程中的合金加入量 / kg

Table 6 Alloys adding amount in BOF tapping / kg

项目	硅锰铁	铬铁	钒铁	硅钙钡合金	增碳剂
范围	850 ~ 900	350 ~ 400	90 ~ 100	0 ~ 60	400 ~ 520
均值	878	385	94	10	490

2.2.2 LF 精炼

(1) LF 精炼对钢水成分进行微调,优先调整钢水的 C、Cr 含量。

(2) 采用电石、SiFe 粉(粒度 ≤ 3 mm)、铝钒土(50 kg/炉)造白渣,保证在供电 10 min 内形成液态白渣,并保持白渣时间 ≥ 10 min。

(3) 加入石灰、精炼渣造渣。精

表7 转炉出钢脱氧合金化后的钢水成分和中间包钢水成分 / %

Table 7 Chemical composition of liquid after BOF tapping alloying and chemical composition of liquid in tundish / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	N
转炉出钢	0.55 ~ 0.72	0.14 ~ 0.24	0.70 ~ 0.81	0.010 ~ 0.020	0.020 ~ 0.025	0.23 ~ 0.26	0.045 ~ 0.059	-
合金化后								
中间包	0.79 ~ 0.82	0.19 ~ 0.23	0.81 ~ 0.86	0.011 ~ 0.19	0.004 ~ 0.009	0.27 ~ 0.29	0.045 ~ 0.061	0.0023 ~ 0.0033
钢水								

表8 精炼初期、中期和末期的渣样成分

Table 8 Ingredient of slag sample at preliminary, middle and final refining period

精炼阶段	项目	渣样成分 / %								碱度 (R)	
		CaO	SiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	Al ₂ O ₃	TiO ₂		全铁 TFe
初期	范围	54.02 ~ 61.50	17.46 ~ 19.58	3.12 ~ 4.25	0.34 ~ 2.30	0.014 ~ 0.031	0.20 ~ 0.39	7.91 ~ 9.22	0.49 ~ 0.60	0.61 ~ 3.54	2.76 ~ 3.46
	均值	58.00	18.24	3.65	1.26	0.021	0.29	8.51	0.53	2.14	3.19
中期	范围	52.77 ~ 60.83	18.30 ~ 20.55	3.15 ~ 4.91	0.16 ~ 0.42	0.010 ~ 0.021	0.31 ~ 0.71	8.12 ~ 10.71	0.46 ~ 0.66	0.48 ~ 1.23	2.68 ~ 3.32
	均值	56.12	19.51	4.03	0.26	0.015	0.50	9.54	0.55	0.75	3.89
末期	范围	51.30 ~ 56.02	19.47 ~ 22.11	3.86 ~ 5.11	0.15 ~ 0.24	0.007 ~ 0.015	0.44 ~ 0.58	8.51 ~ 11.15	0.47 ~ 0.64	0.37 ~ 0.83	2.51 ~ 2.63
	均值	53.84	20.97	4.54	0.18	0.011	0.50	9.92	0.54	0.64	2.57

炼过程调节钢包底吹氩气流量,防止精炼过程中大翻溢渣,并调节除尘风机风量保证钢包炉内微正压操作。

(4) LF 精炼渣的成分与普通 Φ10 ~ 12.5 mm SWRH82B 热轧盘条钢的精炼渣的成分相同。精炼初期、中期和末期的渣样成分见表8。

(5) LF 处理完毕,喂纯 Ca 丝 30 m/炉,喂丝后软吹氩 ≥ 12 min,以渣面微微涌动不裸露钢液面为宜。精炼结束氧活度目标值为 $a_o \leq 10 \times 10^{-6}$ 。

(6) 精炼周期(从进入 LF 加热位直到出 LF 加热位)为 37 ~ 52 min,平均为 43 min。

(7) 喂丝完,钢包加覆盖剂 16 包,每包 10 kg。

(8) 钢包软吹氩 10 ~ 13 min,平均 12 min。

(9) 出 LF 精炼站的钢水温度控制为 1 525 ~ 1 535

℃,实际为 1 523 ~ 1 535 ℃,实际平均为 1 529 ℃。

(10) 中间包取样分析钢水成品成分见表7。

2.2.3 连铸

(1) 钢包从开浇到钢流套上保护套管的时间小于 30 s,采用专用保护渣,全保护浇注。

(2) 结晶器电磁搅拌频率 3.5 Hz、电流 320 A。

(3) 采用塞棒浇注,铸坯拉速(1.75 ± 0.02)m/min,二冷比水量为 0.78 L/kg。若出现两流塞棒失控,必须停止浇注;二冷段喷嘴喷淋效果不好必须停浇。

(4) 中间包钢水过热度按(25 ± 5)℃控制,试验钢种的液相线温度为 1 468 ℃。实际中间包钢水温度为 1 491 ~ 1 496 ℃,平均 1 493 ℃。

(5) 若中间包钢水平均温度高于 1 500 ℃,则铸坯留下待处理。

(6) 铸坯矫直温度 ≥ 900 °C。

(7) 浇注时, 必须保证满中间包操作, 连浇过程中间包液面不得低于 400 mm。

(8) 因换水口或其它原因造成的重接坯须切净。更换中间包浸入式水口时, 产生的铸坯丢 6 m。

(9) 每炉钢的浇铸时间为 42 ~ 51 min, 平均 45.6 min。

(10) 结晶器净环水流量为 130 m³/h, 二冷配水量与普通 $\Phi 10 \sim 12.5$ mm SWRH82B 热轧盘条钢相同, 0.78 L/kg_钢。

(11) 铸坯低倍检验结果: 非金属夹杂物 0.5 级, 中心疏松 0.5 级, 无其它缺陷。

2.3 轧钢工艺

(1) 加热段 1150 ~ 1210 °C, 均热段 1130 ~ 1180 °C, 1[#] 轧机入口钢坯温度 950 ~ 1020 °C, 目标值为 970 °C。实际测量 1[#] 轧机入口钢坯温度 968 ~ 980 °C, 平均 974 °C。钢坯头、中、尾温差 ≤ 50 °C。炉内为微还原性气氛。

(2) 轧件出预穿水(即进入精轧机前)的温度按 880 ~ 910 °C 控制, 实际测量的温度为 882 ~ 912 °C, 平均 897 °C。

(3) 吐丝温度控制在 830 ~ 870 °C, 目标值 850 °C, 实际测量的吐丝温度为 842 ~ 847 °C, 平均 844 °C。

风冷线辊道速度控制见表 9。风机开启度调整原则: 相变最低温度 (610 ± 10) °C, 实际测量的盘条在相变点的最低温度为 605 ~ 612 °C, 平均 608 °C; 盘条回温最高温度 ≤ 650 °C; 盘条进入保温罩的温度 ≤ 580 °C, 实际测量的盘条入保温罩的温度为 595 ~ 599 °C, 平均 597 °C。

3 关键工艺质量控制点

3.1 有害元素 As 的控制

由于 As 容易在晶界上聚集, 使钢材在深加工过程中产生裂纹, 进而导致断裂, 所以在冶炼该钢时, 要求铁水的 As $\leq 0.015\%$ 。

3.2 N 的控制

N 富集在晶界上, 使 SWRH82B 盘条在拉拔加工过程中发生脆断, 并且 N 不易从钢中逃逸出来, 若要让盘条中的 N 从钢中逃逸出来, 就要延长盘条的时效时间。一般要求 SWRH82B 盘条的 N 含量 $\leq 80 \times 10^{-6}$ 。而水钢内控要求 SWRH82B 盘条的 N 含量 $\leq 40 \times 10^{-6}$, 使盘条轧出来以后经过 3 ~ 5 天的运输途中的自然时效, 盘条到达用户后卸车即可投入

表 9 风冷线辊道速度控制

Table 9 Roller speed control at wind cooling line

盘条规格 Φ / mm	辊道主速度/ (m · s ⁻¹)	辊道超前率/%									
		1 段	2 段	3 段	4 段	5 段	6 段	7 段	8 段	9 段	10 ~ 20 段
14 ~ 15	0.45	30	0	10	20	35	45	55	60	60	50

拉拔加工。控制 N 的方法是: 在转炉冶炼过程中采用全程底吹氩(不吹氮); 出钢时采用低 N 增碳剂对钢水增碳; LF 采用微正压操作; 连铸全保护浇注, 可将钢中 N 含量控制在 $20 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ 。实际测定连铸中间包钢水 N 含量为 $23.15 \times 10^{-6} \sim 33.35 \times 10^{-6}$, 平均为 28.25×10^{-6} 。

3.3 铸坯缓冷

由于该钢的 Cr、V 含量较高, 铸坯传热慢, 为了防止铸坯在冷却过程中因内外温差大而产生巨大的热应力从而导致铸坯开裂, 同时, 也是为了使铸坯中 H 含量的逃逸, 所以, 将连铸坯堆垛于其它热坯上缓冷, 缓冷时间 ≥ 24 h, 然后将铸坯送轧钢加热轧制。

3.4 轧制过程轧件温度控制

与普通的 $\Phi 10 \sim 12.5$ mm SWRH82B 钢相比较, 由于该钢的 Cr、V 含量高, 为了使 Cr、V 元素在铸坯加热过程中充分固溶到钢中而在后续轧制冷却过程中起到析出强化的作用, 同时考虑到, 由于盘条规格大, 冷却慢, 若吐丝温度低, 这样盘条在轧后就要强穿水冷却, 这会造成盘条表面淬火开裂、出现马氏体组织、盘条的索氏体化率不高、盘条的强度低、面缩率低、拉拔性能差, 通过采用弱化轧后水冷、强化风冷辊道上的风冷的方式, 提高了盘条的索氏体化率和各项性能指标^[8]。与普通 $\Phi 10 \sim 12.5$ mm SWRH82B 钢相比, 将铸坯的加热温度、开轧温度、吐丝温度提高了 10 ~ 20 °C。在风冷线上, 可以肉眼观察到高温盘条由红变黑, 再回温变红, 然后逐渐降温变黑进入保温罩。为了避免在相变点, 由于风冷速度太大, 使盘条产生过冷组织, 因此, 将 6[#] 风机开启度调整为 90 % (45 Hz), 确保盘条相变最低温度在 610 °C 左右。控制经过相变点之后的盘条回温不能太高, 是为了避免相变后晶粒长大, 盘条进入保温罩保温是为了消除盘条的内应力, 也有利于盘条中 H、N 含量的逃逸, 这样, 可改善盘条的力学性能, 尤其是提高盘条面缩率, 提高塑性。

3.5 盘条在 P/F 运输线上多运行一周再打包

从风冷线上集卷得到的盘条, 挂在 C 形钩上。由于盘条规格大, 散热慢, 在对盘条表面进行检查和剪切头、尾后, 让盘条在 C 形钩上多运行一周, 在盘

表10 SWRH82B钢Φ14~15 mm盘条在轧制后120℃2 h时效及不同天数自然时效的力学性能

Table 10 Mechanical properties of Φ14~15 mm coil of steel SWRH82B with aging at 120℃ for 2 h and natural aging for different days after hot-rolling

项目	轧制120℃,保温2 h时效		自然时效(20℃,自然放置)									
			3天		7天		10天		15天		30天	
性能	R_m /MPa	Z/%	R_m /MPa	Z/%	R_m /MPa	Z/%	R_m /MPa	Z/%	R_m /MPa	Z/%	R_m /MPa	Z/%
范围	1 180 ~ 1 270	27.0 ~ 37.5	1 168 ~ 1 207	3.4 ~ 19.3	1 169 ~ 1 210	7.3 ~ 30.0	1 170 ~ 1 206	9.8 ~ 27.4	1 203 ~ 1 232	31.1 ~ 36.8	1 202 ~ 1 238	37.0 ~ 40.9
平均	1 213	32.4	1 169	12.6	1 183	23.1	1 183	23.7	1 225	34.4	1 224	38.4

条温度冷到200℃以下时,再在打包机上用打包丝将盘条打捆,就可避免打包丝勒伤盘条,避免盘条在拉拔加工时成为断裂源。

3.6 盘条堆垛和装卸时防擦伤

打包后的盘条,在堆垛时,先在地面上铺一层草垫,然后再堆垛,在装卸过程中防擦伤。

4 产品质量

4.1 拉伸性能

按规定,盘条要经过15天自然时效后,再进行拉伸性能检验,若性能合格,才能发往用户。但是,水钢为了大规模地生产SWRH82B盘条,不让盘条占用水钢有限的成品库存,经过实践验证,把当天轧制的盘条放在烘箱中在120℃条件下保温2 h(人工时效),然后取出冷却到室温,进行拉伸检验,以此来模拟盘条经过15天自然时效后拉伸检验的性能数据,来判断盘条是否能交货。轧制当天人工时效后的拉伸性能及不同天数自然时效检验结果见表10。

从表10可见,盘条轧制当天人工时效后的抗拉强度为1 180~1 270 MPa、平均1 213 MPa,断面收缩率为27.0%~37.5%、平均32.4%,性能满足设计的规定;盘条自然时效3天、7天、10天后的抗拉强度和断面收缩率不满足设计的规定;盘条自然时效15天、30天后的抗拉强度和断面收缩率满足设计的规定;盘条轧制当天自然时效的性能与15天自然时效的性能相当,30天自然时效与15天自然时效的性能相当,这说明,盘条自然时效15天后,内应力已释放完,氮气已逃逸,盘条性能稳定了,因此用轧制当天盘条的人工时效性能检验数据模拟15天自然时效的性能检验数据来判断盘条是否能交货是恰当的。

4.2 微观组织

Φ14~15 mm SWRH82B盘条横截面上1/2半径处的微观组织的索氏体占95%,其余5%为珠光体,索氏体化率高使盘条强度高塑性好。另外,在500倍放大倍数下在盘条中心未见网状渗碳体,这说明盘条中心的碳偏析小。铸坯中心碳偏析造成的盘条中心的网状渗碳体是盘条在拉拔加工过程中出现杯

锥状断裂的原因。微观分析表明,水钢Φ14~15 mm SWRH82B盘条的微观组织好,因此盘条的性能好,拉拔加工性能也好。用户使用表明,盘条满足贵州钢绳集团生产大规格高强度矿用钢绞线的需要。

5 结论

水钢采用100 t顶底复吹转炉冶炼-LF精炼-160 mm×160 mm连铸(结晶器带电磁搅拌)-铸坯缓冷-高速线材轧制-Stellmor风冷的工艺流程生产了Φ14~15 mm SWRH82B盘条。连铸成品钢水成分(%)为:C=0.79~0.82, Si=0.15~0.35, Mn=0.60~0.90, P≤0.025, S≤0.055, As≤0.015, Cr=0.26~0.32, V=0.04~0.07。盘条微观组织的索氏体化率达到了95%。盘条的抗拉强度为1 180~1 270 MPa、平均1 213 MPa,断面收缩率为27.0%~37.5%、平均32.4%。盘条满足贵州钢绳集团生产大规格高强度矿用钢绞线的要求。

参考文献

- [1] 张正基,周鸣涛,张伟君. 2000 MPa混凝土用预应力钢绞线的开发应用[J]. 金属制品, 2004, 30(6): 9-10.
- [2] 游胜利,陈梦雄,彭晓兰. 超高强度预应力钢丝和钢绞线的研发[C]//纪念全国金属制品信息网建网40周年暨2014金属制品行业技术信息交流会议论文集, 2014: 137-146.
- [3] 谢祥,胡友红,王勤,等. 水钢预应力钢绞线SWRH82B钢的冶炼工艺[J]. 轧钢, 2017, 34(5): 67-71.
- [4] 胡磊,王雷,麻哈. 超高强度预应力钢丝及钢绞线用盘条的开发研究[J]. 钢铁钒钛, 2016, 37(1): 142-147.
- [5] 沈金龙,覃之光,夏艳花,等. 钒铝合金在高碳钢WSWRH82B中的应用[J]. 钢铁钒钛, 2009, 30(4): 21-26.
- [6] 张朝生. 2000 MPa热镀锌钢丝和2300 MPa级PC钢绞线用线材的开发[J]. 国外桥梁, 2000(2): 72-75.
- [7] 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, 2016, 37(3): 39-45.
- [8] 龙雨,胡友红,谢祥,等. 水钢预应力钢绞线SWRH82B盘条的热轧工艺[J]. 轧钢, 2017, 34(5): 72-75.

刘立德(1966-),男,高级工程师,1990年贵州大学(本科)毕业,钢铁冶金研究。E-mail:995105488@qq.com

收稿日期:2018-02-08