

· 工艺技术 ·

## 湘钢预应力钢丝用钢 SWRH82B 盘条的质量控制

王贵容

薛正良

(湘潭钢铁集团公司, 湘潭 411101) (湖北省钢铁冶金重点实验室, 武汉大学, 武汉 430081)

**摘 要** 湘钢采用铁水预处理-80 t 顶底复吹转炉-90 t LF-150 mm × 150 mm 方坯连铸机-高速线材轧机成功开发出  $\Phi 11 \sim 13$  mm 的预应力钢丝和钢绞线用钢 SWRH82B (% : 0.79 ~ 0.83C, 0.70 ~ 0.80Mn, 0.17 ~ 0.22Cr,  $\leq 0.020S$ ,  $\leq 0.025P$ ) 盘条。实践表明, 中间包钢水过热度控制在 15 ~ 25(30) °C, 拉坯速度 2.6 ~ 2.9 m/min, 拉坯速度波动值  $\leq 0.2$  m/min, 二冷水量 1.95 ~ 2.10 L/kg, 可使铸坯中心碳偏析比(铸坯中心碳含量/钢水碳含量)  $\leq 1.04$ , 盘条索氏体率  $\geq 85\%$ , 实际拉拔和捻股过程中  $10^4$  m 的断丝率  $\leq 1$  次。

**关键词** SWRH82B 预应力钢丝 连铸坯 盘条 质量控制

## Quality Control of SWRH82B Steel Coil for Prestressed Wire at Xiangtan Steel

Wang Guirong

(Xiangtan Iron & Steel Group Co. Ltd, Xiangtan 411101)

Xue Zhengliang

(Hubei Ironmaking and Steelmaking Key Laboratory, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

**Abstract** The  $\Phi 11 \sim 13$  mm SWRH82B steel coil (0.79 ~ 0.83C, 0.70 ~ 0.80Mn, 0.17 ~ 0.22Cr,  $\leq 0.020S$ ,  $\leq 0.025P$ ) for prestressed steel wire and stranded wire has been successfully developed by hot metal pretreatment - 80 t top and bottom combined blown converter - 150 mm × 150 mm billet concasting- high speed wire-rod mill process at Xiangtan Steel. The production practice with overheating temperature of liquid steel in tundish controlled between 15 °C and 25(30) °C, casting speed 2.6 ~ 2.9 m/min, vibrated value of casting speed  $\leq 0.2$  m/min, and amount of secondary water cooling between 1.95 L/kg and 2.10 L/kg, the centre carbon segregation ratio of billet (carbon content at centre of billet / carbon content of liquid steel) shall be  $\leq 1.04$ , the sorbite proportion of SWRH82B steel coil  $\geq 85\%$ , and during 10 000 m drawing and stranding procedure the wire broken ratio  $\leq$  one time.

**Material Index** SWRH82B Prestressed Steel Wire, Concasting Billet, Coil, Quality Control

82B 是生产预应力钢丝、钢绞线用钢 SWRH 82B 的简称, 其化学成分 (%) 为: 0.79 ~ 0.83C, 0.15 ~ 0.25Si, 0.70 ~ 0.80Mn, 0.17 ~ 0.22Cr,  $\leq 0.020S$ ,  $\leq 0.025P$ 。预应力钢丝、钢绞线主要用于铁路、桥梁、高层建筑、水利设施等工程建设领域, 通常用  $\Phi 11 \sim 13$  mm 的 SWRH82B 盘条拉拔、捻股而成。湘潭钢铁集团公司采用铁水预处理-80 t 顶底复吹转炉-90 t LF(双工位)-4 机 4 流小方坯连铸(150 mm × 150 mm)-高线轧机轧制的生产工艺, 成功开发出能满足用户要求的 82B 钢的盘条。

### 1 钢水质量控制

湘钢 82B 钢水成分 (%) 目标控制值为:

0.81C, 0.2Si, 0.75Mn, 0.2Cr, 0.015S, 0.015P。转炉使用经预脱硫的铁水和优质废钢, 并采用高拉碳操作保证钢水的成分, LF 精炼加大精炼渣中电石和萤石用量, 强化精炼渣脱氧和钢水脱硫, 使 LF 精炼脱硫率平均从 14.7% 提高到 27.5%, 出站钢液定氧从  $16.7 \times 10^{-6}$  降低到  $11.3 \times 10^{-6}$ , 同时加强连铸过程中的保护浇注, 防止钢水二次氧化。小方坯连铸机在结晶器和液相穴末端设置电磁搅拌, 以控制中心碳偏析比。通过上述措施, 连铸坯中心碳偏析比可控制在 1.04 以下, 从盘条取样钢中全氧含量平均小于  $20 \times 10^{-6}$ 。

### 2 连铸坯中心偏析的控制

连铸过程中 C、P、S 的中心偏析是影响盘条

塑性指标,造成钢丝拉拔或捻股时断丝的重要原因之一。钢液在凝固过程中,C、P、S等溶质元素在固液相间发生再分配,柱状晶的生长使枝晶间未凝固钢水的溶质元素得到富集。而钢坯液相穴末端的凝固收缩使中心产生强大的抽吸力。根据小钢锭理论,上部钢水受晶桥阻隔不能对下部凝固收缩进行及时补充,致使柱状晶枝晶间富集溶质的残液向中心流动形成中心偏析<sup>[1,2]</sup>。影响连铸坯C、P、S中心偏析的主要因素有中间包钢水过热度、拉坯速度及其波动和二冷配水等因素。

### 2.1 中间包钢水过热度对连铸坯中心碳偏析比的影响

钢水过热度主要对钢液凝固收缩率和铸坯等轴晶率产生影响<sup>[3]</sup>。随铸坯等轴晶率增加,溶质偏析比下降<sup>[4]</sup>。因此,控制中间包钢水过热度就

可以降低连铸坯的中心偏析。根据82B钢成分中限计算的液相线温度为1465℃,用中间包钢液温度与液相线温度之差表示钢水过热度;用Φ3mm钻头钻取连铸坯中心钢样,分析中心钢样含碳量,并将其与该炉钢水含碳量的比值表示连铸坯的中心碳偏析。

图1统计了湘钢生产的82B钢连铸坯的中心碳含量和中心碳偏析比与中间包钢水过热度的关系。图1表明,尽管各炉钢水碳含量之间存在波动,但连铸坯中心碳含量基本上随中间包钢水过热度升高而升高。若用连铸坯中心碳偏析比来表示中心碳偏析的程度,可以看出中心碳偏析比随着中间包钢水过热度的升高呈有规律的变化。根据用户拉丝试验,为避免拉丝过程断丝率超标,82B钢连铸坯中心碳偏析比最大值必须小于

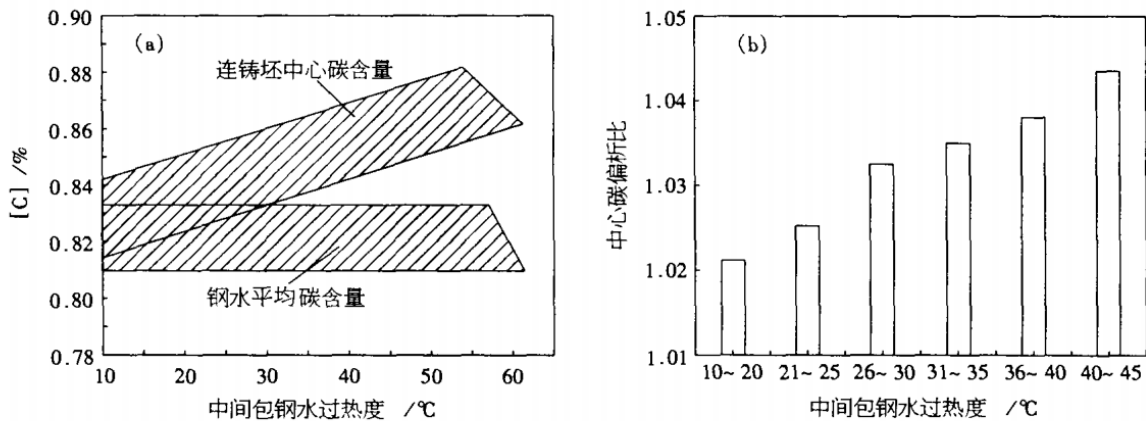


图1 SWRH82B(82B)钢浇铸时中间包钢水过热度对连铸坯中心碳含量(a)和中心碳偏析比(b)的影响  
Fig.1 Effect of overheating temperature of liquid steel in tundish during casting of steel SWRH82B (82B) on carbon content at centre of billet (a) and centre carbon segregation ratio of billet (b)

1.08,平均碳偏析比小于1.04,且盘条直径越大,碳偏析比要求越低。因此,对生产Φ11~13mm的82B盘条用钢,应将中间包钢水过热度控制在30℃以下,力争控制在15~25℃。

### 2.2 拉坯速度及拉坯速度波动对连铸坯中心碳偏析比的影响

拉坯速度及其波动对82B钢连铸坯中心碳偏析比的影响见图2。在目前条件下,根据外方专家建议设定的最佳结晶器振动频率常数77c/m,要求在拉坯速度<2.6m/min时,振动频率<200cycle/min。振动频率越小,振痕就越深,而振痕处易形成成分偏析和裂纹,且随着振痕深度的加深而加重。因此,铸坯拉速并非越小越好。从图2可见,拉坯速度在2.6~2.9m/min之间时,铸坯碳

偏析比较低,其中拉速以2.7~2.8m/min为最佳。结合钢水过热度 and 连铸坯中心偏析比,在拉速2.6~2.9m/min所对应的钢水过热度范围为15~30℃,结晶器振动频率范围为200~223cycle/min。在此连铸工艺参数条件下生产的82B钢铸坯,既保证了铸坯的内在偏析质量要求,又能有效改善铸坯的表面质量,从而满足用户生产预应力钢丝、钢绞线的质量要求。

单炉钢水拉坯速度调整过频过大极易引起钢液面的波动,从而带来一系列的质量问题(如夹渣、加大偏析)。现场操作一般根据1炉钢水开浇10min后的中间包温度来确定整炉钢水的大致温度范围,从而给出一个恒定的拉速值,以减少拉速的频繁调整,稳定铸坯质量。图2表明,当单炉钢

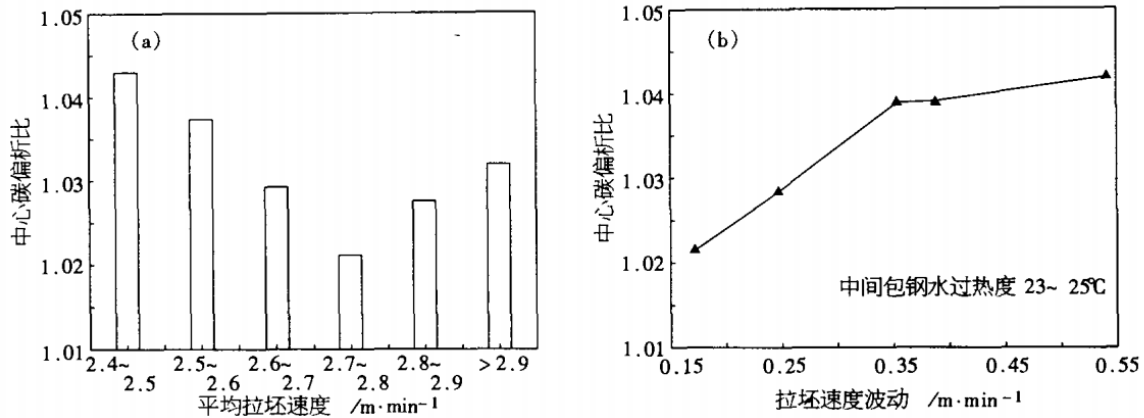


图 2 82B 钢浇铸时平均拉坯速度(a)和拉坯速度波动(b)对中心碳偏析比的影响

Fig.2 Effect of average casting speed (a) and vibrated value of casting speed (b) during casting of steel 82B on centre carbon segregation ratio of billet

水拉坯速度波动值在 0.2 m/min 以下时,对中心碳偏析比的影响并不明显。因此,加强对大包及中间包的使用管理,提高铸机 4 流开浇率,则拉速波动完全可以控制在 0.2 m/min 以下,从而稳定拉坯速度,提高铸坯内在质量。

### 2.3 二冷配水对连铸坯中心碳偏析比的影响

二冷配水对 82B 钢连铸坯中心碳偏析的影响见图 3,随着二冷水量的逐步减少,铸坯碳偏析比逐步上升。当二冷水量为 1.95 ~ 2.1 L/kg 时,82B 钢铸坯碳偏析比较低,以 2.01 L/kg 的二冷水量最佳。82B 钢生产的配水采用的是硬冷,目前基本按 2.01 L/kg 的二冷水量,各段按一定的配比进行生产,同时增开 III 区 C 段喷嘴。生产过程中加强巡检,避免出现诸如水条未对中、喷嘴堵塞等导致铸坯跑偏、脱方,被迫改变配水参数的情况发生。

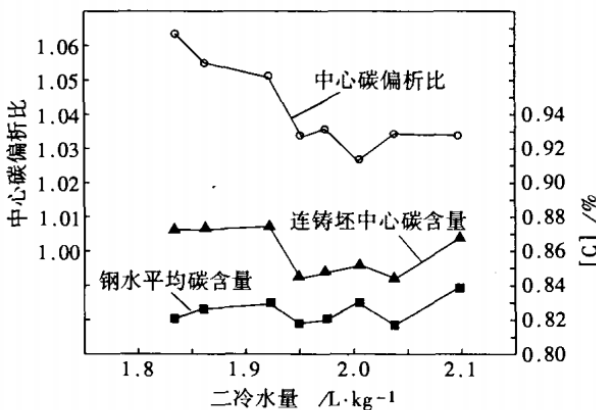


图 3 二次冷却水流量对 82B 钢连铸坯中心碳含量和碳偏析比的影响

Fig.3 Effect of amount of secondary cooling water on carbon content at centre of billet and centre carbon segregation ratio of billet of steel 82B

## 3 盘条实物质量

### 3.1 盘条塑性指标

盘条塑性是决定盘条拉拔性能的最重要指标之一,用户对使用前盘条塑性指标提出了较高要求。根据多次试验观察和结果统计,对 Φ12.5 mm 以上 82B 钢盘条,在 25 天时效期内,塑性指标(尤其是断面收缩率)随着时效期延长而提高,25 天后趋于平稳(不同炉号时效期有区别,但增长趋势一致),同时白亮圈也随着时效期延长而减小,直至完全消除。白亮圈越小,断面收缩率越高。25 天之内,时效期越长,拉拔断裂的几率越小。

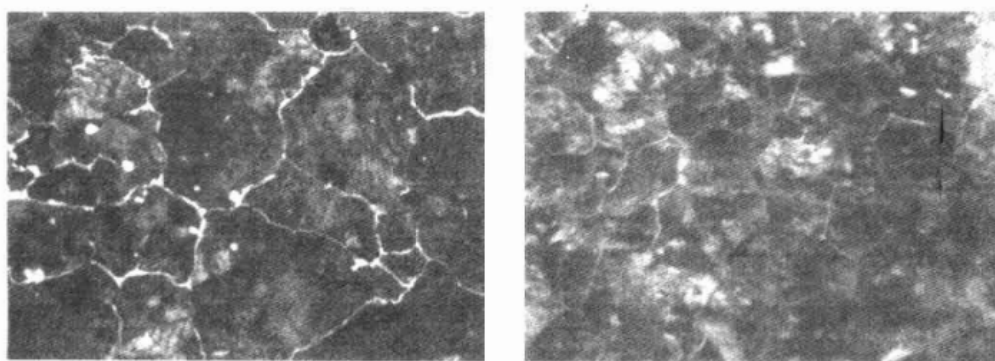
实际生产中,对 ≥Φ12.5 mm 的 82B 钢盘条,通常测定时效 15 天时的力学性能,要求:断面收缩率  $\Psi \geq 25\%$ 、延伸率  $\delta \geq 11\%$ 。用户盘条使用时效期(25 天)力学性能要求断面收缩率  $\Psi \geq 30\%$ 、延伸率  $\delta \geq 12\%$ 、抗拉强度  $\sigma_b = 1\ 150 \sim 1\ 200\ \text{MPa}$ 。

### 3.2 盘条显微组织

对 82B 钢盘条取样,用 3% 硝酸酒精溶液腐蚀后在光学显微镜下观察试样金相组织(见图 4)。从图 4 可见,82B 钢盘条金相组织主要有索氏体 + 珠光体组成,同时含有少量铁素体和网状渗碳体,索氏体率 85% 占被测试样的 65.2%。实际生产中通过调整控冷程序,开启佳灵装置,进一步提高索氏体化程度及显微组织均匀性。

### 3.3 拉拔断丝状况

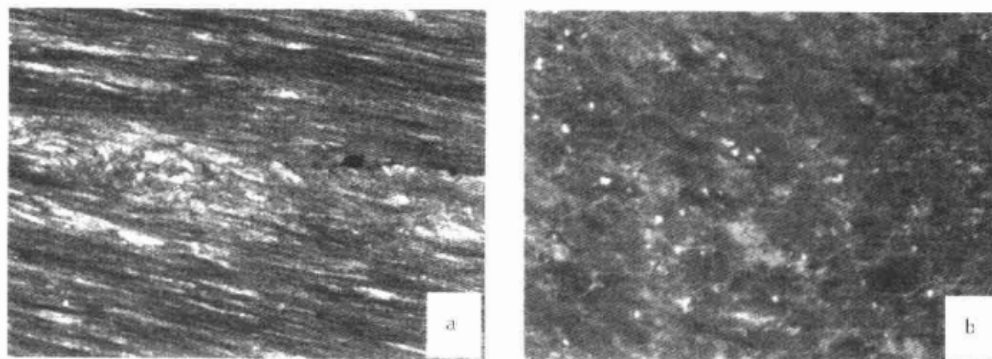
根据用户对 82B 钢盘条实际使用情况,在拉拔过程中每万米断丝平均 0.78 次,钢丝捻股成钢绞线每万米断丝平均 0.59 次。拉拔过程中发生脆断主要有两种情况,一种是过最后一道拉丝模

图4 82B 钢盘条金相组织  $\times 1000$ Fig.4 Metallurgical structure of rod coil of steel 82B  $\times 1000$ 

时出现劈裂;另一种断裂时表面存在不同程度的横向裂纹。对钢丝断口处试样做金相组织检验,可以发现以劈裂状脆断的钢丝中心部位显微组织的变形程度与其它部位明显不同(见图5(a)),说明盘条本身存在内部缺陷,正是该缺陷导致了盘条拉拔中组织的变形程度不一致。表面存在不同程度的横向裂纹的试样发生断裂的主要原因应该

是盘条中的颗粒状碳化物和严重的网状渗碳体所引起的(见图5(b))。

由此可见,82B 钢盘条拉拔和捻股过程中尽管断丝率并不高,但仍需进一步控制连铸坯的内在质量(如中心偏析),以及优化高线轧制过程中的控冷条件,进一步提高 82B 钢盘条实物质量,使 82B 钢盘条成为湘钢线材精品。

图5 82B 钢拉拔断丝处金相组织  $\times 200$ :(a) 中心;(b) 表面Fig.5 Metallurgical structures near by fracture of wire of steel 82B  $\times 200$ :(a) center;(b) surface

#### 4 结论

82B 钢盘条主要用于生产预应力钢丝、钢绞线,作为线材精品战略的重要内容之一,湘钢用铁水预脱硫-复吹转炉-LF 精炼(双工位)-小方坯连铸(150 mm  $\times$  150 mm,结晶器和液相穴末端带电磁搅拌)-高线轧机工艺成功开发出了  $\Phi 11 \sim 13$  mm 的 82B 钢盘条。通过 LF 精炼工艺、连铸工艺及高线控冷技术优化,使连铸坯中心碳偏析比控制在 1.04 以下,盘条索氏体率达到 85% 以上,实际拉拔和捻股过程中断丝率很低,满足了用户对预应力钢丝、钢绞线用 82B 钢盘条的质量要求。

#### 参考文献

- 1 川和高穗,土田 裕,等.连续铸造スラブの中央偏析の生成機構について.鉄と鋼,1974,60(11):S408
- 2 梨和甫,安元邦夫,等.连铸スラブの中心偏析に及ぼすロールアライメントの影響について.鉄と鋼,1974,60(4):S96
- 3 陈 雷.连续铸钢.北京:冶金工业出版社,1994,111
- 4 熊井浩,浅野钢一,等.连铸铁片内の凝固偏析現象と溶钢流动に关系する研究.鉄と鋼,1974,60(7):894

王贵容(1969-),男,工程师,1995年毕业于鞍山科技大学钢铁冶金专业,武汉科技大学在读硕士研究生。主要从事连铸工艺及新钢种开发工作。

收稿日期:2005-04-22