

82B 高强度钢盘条冷拔断裂的分析和工艺控制

李 玮 白宗奇

(河钢集团承钢公司技术中心,承德 067002)

摘 要 82B 高强度钢($\% : 0.79 \sim 0.83\text{C}, 0.15 \sim 0.25\text{Si}, 0.72 \sim 0.80\text{Mn}, \leq 0.020\text{P}, \leq 0.015\text{S}, \leq 0.15\text{Cu}, 0.18 \sim 0.30\text{Cr}$)的工艺流程为 BOF-LF-165 mm \times 165 mm 坯连铸-热轧至 $\Phi 12.5$ mm 盘条-冷拔 $\Phi 5.05$ mm 材。线材冷拔断口的分析得出,因偏析产生明显的中心马氏体和网状渗碳体,大颗粒 MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ 复合夹杂,表面缺陷等因素导致冷拔断裂。通过钢水过热度由原 25 ~ 35 $^{\circ}\text{C}$ 降至 15 ~ 25 $^{\circ}\text{C}$,铸坯拉速由 1.80 m/min 降至 1.65 m/min,二次冷却水量由 0.80 L/kg 降至 0.65 L/kg,软吹时间由 10 min 增至 12 min,保证轧后 250 $^{\circ}\text{C}$ 3 h 时效等工艺措施,使铸坯中心疏松、中心偏析和缩孔级别分析从 1.5, 1.0 和 0.5 ~ 2.5 降至 0.5, 0.5 和 0 ~ 0.5,夹杂物总量由 0.003 5% ~ 0.004 3% 降至 0.001 7% ~ 0.002 1%,基本杜绝线材冷拔脆断出现。

关键词 82B 高强度钢 线材 冷拔断裂 马氏体 偏析 工艺改进

An Analysis on Cold-Drawn Fracture of Wire Rod of High Strength Steel 82B and Process Control

Li Wei and Bai Zongqi

(Technology Center, Chengde Iron and Steel Co, Hesteel Group, Chengde 067002)

Abstract The process flowsheet for high strength steel 82B ($\% : 0.79 \sim 0.83\text{C}, 0.15 \sim 0.25\text{Si}, 0.72 \sim 0.80\text{Mn}, \leq 0.020\text{P}, \leq 0.015\text{S}, \leq 0.15\text{Cu}, 0.18 \sim 0.30\text{Cr}$) is BOF-LF-165 mm \times 165 mm billet casting-hot rolling to $\Phi 12.5$ mm coil-cold drawing to $\Phi 5.05$ mm products. It is obtained by analysis on cold-drawn fracture of wire rod that the factors including obvious martensite at center of wire rod and network of cementite produced by segregation, large size MgO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ compound inclusions and surface defects lead to cold drawn fracture of wire rod. With the process measures including decreasing the overheating extent of liquid from original 25 ~ 35 $^{\circ}\text{C}$ to 15 ~ 25 $^{\circ}\text{C}$, decreasing the billet casting speed from 1.80 m/min to 1.65 m/min, decreasing the amount of secondary cooling water from 0.80 L/kg to 0.65 L/kg, increasing the soft argon blowing time from 10 min to 12 min and insuring aging for 3 h at 250 $^{\circ}\text{C}$ after rolling, the rating of center porosity, center segregation and shrinkage cavity of casting billet decreases respectively from 1.5, 1.0 and 0.5 ~ 2.5 to 0.5, 0.5 and 0 ~ 0.5, and the total content of inclusions in steel decreases from 0.003 5% ~ 0.004 3% to 0.001 7% ~ 0.002 1% to basically avoid the occurrence of cold drawn fracture of wire rod.

Material Index High Strength Steel 82B, Wire Rod, Cold Drawing Fracture, Martensite, Segregation, Process Improvement

82B 高强度钢盘条是制造高强度、低松弛预应力混凝土结构用钢丝和钢绞线的主要原料,不经过热处理直接高速、连续、大压缩比冷拉拔至成品,广泛应用于高层建筑、铁路、公路、桥梁、石油化工等工程领域,在拉拔和绞线过程中出现的断裂现象将破坏生产连续性,降低生产效率,因此中高碳钢盘条不仅要求其强度高,而且对其延伸性、韧性也要求较高,以利于冷拔成不同规格的钢丝^[1]。钢厂开发初期生产的 $\Phi 12.5$ mm 82B 高强度钢热轧态下冷拔至 $\Phi 5.05$ mm 线材过程中,个别炉号出现了冷拔断裂

现象,为了满足用户需求,提高产品质量,及时取样检测,对冷拔脆断原因进行了深入分析,提出工艺改进措施,取得了实质性效果。

1 钢种及工艺条件

1.1 产品成分

82B 高强度钢化学成分标准和内控要求列于表 1。

1.2 工艺条件

高炉铁水 \rightarrow 脱硫 \rightarrow 转炉提钒 \rightarrow 转炉冶炼 \rightarrow LF

表 1 82B 钢的化学成分标准及内控要求 /%

Table 1 Requirement of standard and inner control of chemical composition of steel 82B /%

项目	C	Si	Mn	P	S	V	Cu	Cr	Ni	Mo
标准	0.79 ~ 0.86	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.020	-	≤ 0.20	-	-	-
内控	0.79 ~ 0.83	0.15 ~ 0.25	0.72 ~ 0.80	≤ 0.020	≤ 0.015	0.012 ~ 0.022	≤ 0.15	0.18 ~ 0.30	≤ 0.10	≤ 0.03

精炼→方坯保护浇铸(M-EMS + F-EMS)→方坯→二高线加热炉→高压水除鳞→粗、中、预精轧机组轧制→水冷段→精轧机组轧制→水冷段→吐丝机→斯太尔摩冷却线→集卷→PF线→检验→包装、入库。

铸坯规格(mm)为165 × 165 × (9 200 ~ 11 800), 热轧成品规格为Φ12.5 mm 盘条。

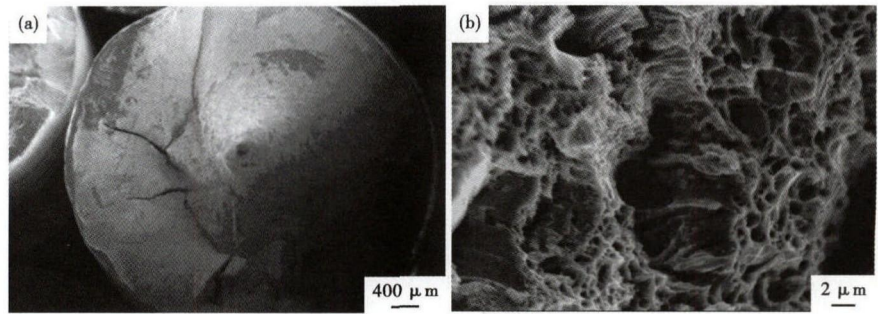


图1 82B 钢线材冷拔断口宏观(a)和微观(b)形貌
Fig.1 Macro (a) and micro (b) morphology of cold drawing fracture of steel 82B wire rod

2 断口特征及成因分析

针对钢厂生产82B高强度钢出现的表面裂纹(黑线)、冷拔前矫直脆断、冷拔过程笔尖(漏斗)型断裂、表面横裂等缺陷进行了取样检测分析。

2.1 笔尖状断裂检测

从图1(a)断口宏观形貌可以看出,冷拔断口的一端为笔尖状(也称椎体状),另外一端为锥孔状,断口裂纹源在线材心部,整个侧面全部为剪切唇,韧性断裂形貌如图

1(b)所示。此类断裂由心部缺陷引起,可能的缺陷包括中心马氏体、网状渗碳体等。

2.1.1 中心马氏体

中心马氏体的典型特征见图2,中心马氏体一般是直径20 μm左右的条状分布于线材中心线附近。从金相特征分析,由针状马氏体和残余奥氏体组成,并且残余奥氏体比例约占50%,有时也发现针状马氏体不显示的现象,说明残余奥氏体比例更高。

能谱检测中心马氏体和基体组织的微区成分见表2。从表2中可以看出,正常基体的Mn质量分数为0.75%,Cr质量分数为0.26%,而中心马氏体的Mn质量分数为1.18%,Cr质量分数为0.72%,试样中心区域存在较为严重的成分偏析。

相关研究表明^[2-3],中心马氏体的形成是由于Cr、Mn元素的偏析,扩大了过冷奥氏体相区,使得在更慢的冷速下能够获得马氏体组织,并且还有大量的残余奥氏体保留下来。即使热轧后冷却过程没有发生马氏体转变,残余奥氏体在随后的冷拔变形过

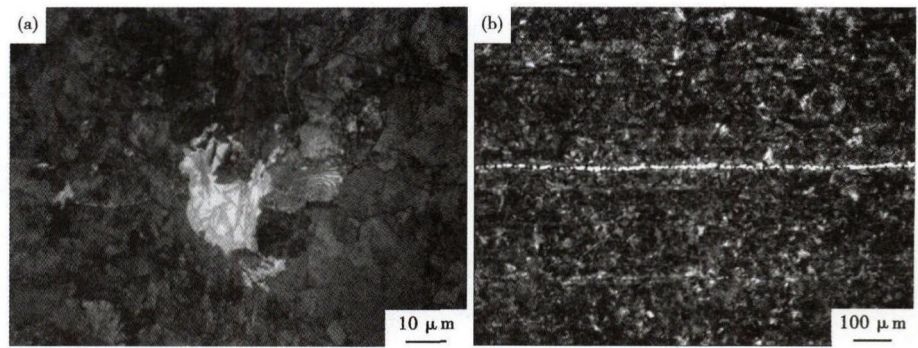


图2 82B 钢线材冷拔断口心部马氏体形貌:(a)横向竹叶状马氏体,×1 000;(b)纵向马氏体条带,×1 000

Fig.2 Morphology of center martensite of cold drawing fracture of steel 82B wire rod; (a) lateral bamboo leaves type martensite, ×1 000; (b) longitudinal martensite band, ×1 000

表2 82B 钢Φ5.05 mm冷拔材中心岛状马氏体与基体能谱分析及偏析度

Table 2 Energy spectrum analysis of center martensite island and matrix of steel 82B Φ5.05 mm cold-drawn product and segregation index

项目	成分/%	
	Mn	Cr
岛状马氏体	1.18	0.72
基体	0.75	0.26
偏析度	1.57	2.77

程中,也会由于形变诱导相变而引发马氏体转变,其危害性难于避免。中心马氏体的形成不是由于快冷所致,而是由严重的中心成分偏析引起。马氏体是一种硬而脆的组织,在冷拔过程中不易变形而使钢丝产生横向裂纹,最终导致冷拔断裂。

2.1.2 网状渗碳体

网状渗碳体的形成是由于在轧后冷却过程中,当奥氏体冷却到Acm点以下时沿奥氏体晶界析出二次渗碳体,到达共析温度后,奥氏体通过共析分解转变为珠光体。心部网状渗碳体一方面与中心C、Mn偏析密切相关,另一方面心部冷却缓慢,冷却速度的不足使C的析出时间更为充裕,增大了网状渗

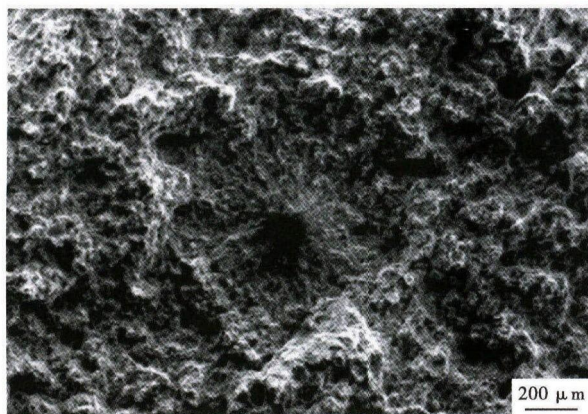


图 3 82B 钢线材冷拔断裂裂纹源形貌

Fig. 3 Morphology of crack source of cold drawing fracture, steel 82B wire rod

碳体的严重程度。渗碳体硬度很高,塑性韧性几乎为零、脆性很大,冷拔时容易断裂。

2.2 平齐状断裂检测

平齐状断裂的断口上常伴随有明显缺陷。该类型断裂一般发生在第 1 道冷拔,有时甚至发生在盘条放线架上或盘条装卸时自断,是危害比较大的断口类型。

断口微观形貌如图 3 所示,在裂纹源的黑心处检测到脆性夹杂物,裂纹扩展区呈现解理断裂形貌,呈现明显的扇形和河流花样,而韧窝形的剪切唇所占比例很小。从夹杂物能谱成分来看,为 $MgO \cdot CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 复相夹杂物,尺寸较大(在 $250 \mu m$ 左右)。

2.3 斜茬状断裂检测

这种断裂往往发生在冷拔前的开卷过程或者冷拔的前一两个道次,该类型断口裂纹源在边部位置,大多数是由线材表面缺陷引起的,当线材表面的折叠、裂纹、结疤、擦伤等缺陷达到一定深度后,冷拔断丝率非常高。图 4 给出了典型的劈裂状断口的微观特征。线材产品对表面缺陷的容忍度很低,几十微

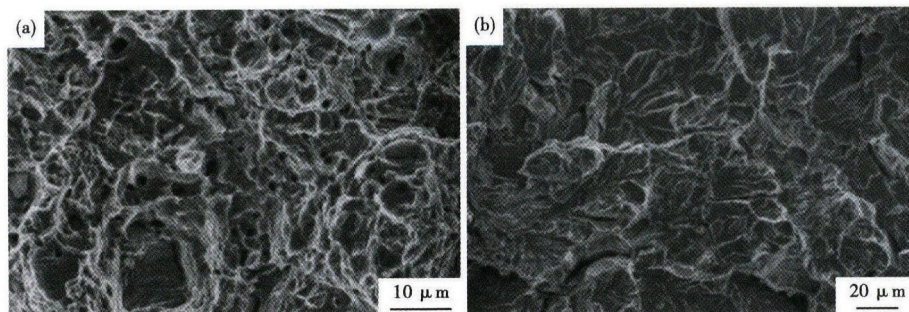


图 4 82B 钢冷拔材斜劈状断口微观特征:(a) 裂纹源, $\times 1500$; (b) 裂纹扩展区, $\times 500$

Fig. 4 Micro features of inclined split fracture of steel 82B cold drawn product: (a) source of crack, $\times 1500$; (b) spreading area of crack, $\times 500$

米深度的缺陷就可能诱发断裂的发生。

3 工艺优化及效果

3.1 炼钢工艺优化

优化炼钢工艺对减少脆性夹杂物以及改善 Mn、Cr 中心偏析起到至关重要的作用,其中钢水过热度、拉速、冷却强度是影响连铸坯偏析的重要因素,采用无铝脱氧工艺能有效降低钢中脆性夹杂物含量。

钢水过热度是控制铸坯等轴晶区的主要措施,低过热度时中心等轴区宽,使溶质元素分散在较宽范围内的枝晶之间,减轻中心元素的聚集,减少偏析^[4]。若中间包钢水过热度太低,则会影响钢中夹杂物上浮及造成中间包水口结瘤。通过精准控制上道工序 LF 精炼的出站温度、优化连铸中间包的保温工艺等措施,钢水过热度由原来 $25 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 降低到 $15 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。拉速降低,铸坯中心偏析减轻。拉速降低,铸坯在铸机内停留时间增加,铸坯液芯长度缩短,有利于减少铸坯中心偏析,拉速在原拉速基础上降低 8% 左右。冷却强度大,阻止了溶质元素的析出和扩散,有利于减轻中心偏析。优化二冷配水制度,在原来总比水量的基础上降低 15% ~ 20%。优化末端电磁搅拌工艺,通过射钉试验确定液相穴长度,将末端电磁搅拌在原有位置向后移动 300 mm。脱氧剂由硅铝钡改用硅钙钡,合金由硅铁、锰铁改为硅锰合金,减少含铝硅铁用量,在原精炼白渣时间和软吹时间的基础上各延长 2 min,减少钢中夹杂物含量。

优化工艺前后的主要工艺参数见表 3。由表 4 工艺优化前后的检验结果可见,铸坯中心疏松平均由 1.5 级降至 0.5 级,中心偏析平均由 1.0 级降至 0.5 级,缩孔由 0.5 ~ 2.5 级降至 0.5 级,夹杂物总量由 0.003 5% ~ 0.004 3% 降至 0.001 7% ~ 0.002 1%。

3.2 轧钢工艺优化

在保证不过烧和防止铸坯表面脱碳的情况下,保证加热温度和加热时间,使铸坯中的 Mn、Cr 充分扩散,均匀分布在钢中,消除中心偏析^[5],避免在后续的冷却过程中出现马氏体产生脆断。轧后冷却过程中,根据线材直径尺寸和季节温度的变化,及时调整冷却工艺参数,稳定冷却速度,同时严格保证线材的时效时间,在 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 保温 3 h,

表3 优化前后主要工艺参数
Table 3 Main process parameters before and after optimization

工艺	连铸控制			LF精炼				
	中间包钢水温度/℃	二冷比水量/(L·kg ⁻¹)	拉速/(m·min ⁻¹)	脱氧剂	合金	白渣时间/min	软吹时间/min	在炉时间/min
优化前	1 490~1 500	~0.80	1.80	硅铝钡	硅铁+锰铁	8	10	~90
优化后	1 480~1 490	~0.65	1.65	硅钙钡	硅锰铁	10	12	90~120

表4 工艺优化前后82B钢铸坯的冶金质量
Table 4 Metallurgical quality of steel 82B casting billet before and after process optimization

工艺	中心疏松/级	中心偏析/级	缩孔/级	夹杂总量/%
优化前	1.5	1.0	2.5	0.003 5
	1.5	1.0	1.5	0.004 3
	1.5	1.0	0.5	0.003 5
	1.5	1.0	1.5	0.003 7
优化后	0.5	0.5	-	0.002 1
	0.5	0.5	-	0.002 1
	0.5	0.5	0.5	0.001 7
	0.5	0.5	-	0.001 9

再空冷至室温。轧制前及时更换轧槽,保证料型与导位配备合理,减轻粘丝、刮钢等现象发生,减免轧后线材的表面缺陷。

通过实施以上工艺优化措施,生产的线材质量大幅提高,没再发现异常组织马氏体,线材表面质量显著改善,用户反映良好,线材百吨断丝率平均由1.5%降至0.56%。

4 结论

(1)马氏体和网状渗碳体超标是导致线材笔尖状断裂的主要原因,Mn、Cr中心成分偏析和轧后冷却工艺是诱发马氏体和网碳超标的关键因素。

(2)不良的组织状态以及时效时间不足,是引发平齐状断裂的主要原因。

(3)线材的表面缺陷是引发斜茬状断裂的主要原因。

(4)通过降低钢水过热度、降低二冷比水量和拉速、以及稳定轧后冷却速度和保证线材时效时间等工艺优化措施,基本杜绝了脆断现象的发生。

参考文献

[1] 宋 为.世界线材及其制品的现状与展望[J].金属制品,2002,28(1):1-16.
 [2] 张全刚,马志军,琚艳军,等.82B线材拉拔脆断原因分析[J].金属制品,2007,33(4):16-19.
 [3] 王新江,郭世宝,巫保振.PC钢绞线用82B线材质量研究[J].金属制品,2007,33(5):27-30.
 [4] 蔡开科,孙彦辉,秦 哲,等. BOF-LF-CC生产特殊钢连铸坯质量控制[J].炼钢,2008,24(3):1-6.
 [5] 张寄东,智建国,吕 刚,等.大规格高碳硬线82B拉拔脆断原因分析[J].钢铁钒钛,2011,32(3):82-86.

李 玮(1971-),女,硕士(2014年北京科技大学),高级工程师,1994年江西理工大学(本科)毕业,科研管理,炼钢新技术和新产品开发。E-mail:xx_js_liw@cdvt.com.cn

收稿日期:2017-02-19

欢迎订阅 2018 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183 定价:16.00元/期 96.00元/年 邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号、新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社

电话:0714-6297386 6297313 0714-6297888-8010