

## B7 冷镢钢盘条冷拔断裂原因分析及工艺改进

史 杨

(芜湖新兴铸管有限责任公司研究院, 芜湖 241002)

**摘 要** B7 钢  $\Phi 22$  mm 热轧盘条在冷拔中断裂, 采用断口观察、化学成分、显微组织检验以及能谱分析测试了断裂盘条。测试结果表明: Mn、Cr 偏析导致盘条中心存在马氏体组织是造成拉拔断裂的原因。通过轧制吐丝温度由 905 ~ 915  $^{\circ}\text{C}$  降至 840 ~ 850  $^{\circ}\text{C}$  以及保温时间由 285 s 延长至 420 s, 可有效减少心部马氏体的产生, 消除了冷拔断裂现象。

**关键词** B7 钢盘条 冷拔断裂 成分偏析 吐丝温度

## Analysis on Cold Drawing Fracture Cause of B7 Steel Rod Coil and Process Improvement

Shi Yang

(Research Institute, Wuhu Xinxing Pipe Casting Co Ltd, Wuhu 241002)

**Abstract** B7 steel  $\Phi 22$  mm hot-rolled rod is fractured in cold of drawing, the fractured rod is tested by chemical composition, fractography, microstructure and energy spectrum analysis. The tested results indicate that the segregation of alloy elements Mn and Cr results in that martensite exists at the center of rod caused drawing fracture. By optimizing the rolling process of reducing the coiling temperature from 905 ~ 915  $^{\circ}\text{C}$  to 840 ~ 850  $^{\circ}\text{C}$  and extending the holding time from 285 s to 420 s, martensite at the center can be effectively reduced to eliminate cold drawing rod fracture phenomenon.

**Material Index** B7 Steel Rod, Drawing Fracture, Component Segregation, Spinning Temperature

合金冷镢钢 B7 属于耐热耐冷螺杆类标准件用钢, 主要用于制作 10.9、12.9 级的高强度标准件<sup>[1-2]</sup>。

芜湖新兴铸管有限公司 B7 生产工艺流程: 高炉铁水—120 t 转炉—120 t LF 精炼—RH 真空处理—180 mm  $\times$  180 mm 方坯连铸—摩根第六代高速线材轧制—斯太尔摩线延时缓冷—成品检验—包装入库。下游客户反馈某批  $\Phi 22$  mm 规格 B7 热轧盘条在拉拔过程中出现断裂现象, 经了解, 与常规客户先退火再拉拔不同, 该客户加工工艺为酸洗—磷化—皂化—一次拉拔—退火—二次拉拔—滚丝—调质, 断裂全部出现在一次拉拔过程中, 在断裂样品上取化学成分和金相试样进行检验分析。

### 1 检验

拉拔断裂样品化学成分分析结果如表 1 所示, 化学成分满足 ASTM A193-2017 的要求。

表 1  $\Phi 22$  mm B7 钢热轧盘条化学成分/%

Table 1 Chemical composition of B7 steel  $\Phi 22$  mm hot rolled coil/%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
实测值	0.40	0.20	0.82	0.012	0.003	0.93	0.18
标准	0.38 ~ 0.48	0.15 ~ 0.35	0.70 ~ 1.00	$\leq 0.035$	$\leq 0.040$	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25

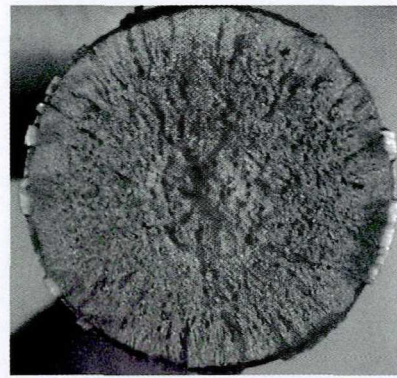


图 1 B7 钢  $\Phi 22$  mm 盘条冷拔断口形貌

Fig. 1 Morphology of cold drawing fracture of B7 steel  $\Phi 22$  mm rod coil

B7 钢  $\Phi 22$  mm 盘条冷拔断口形貌如图 1 所示, 断口平齐无缩颈且放射区面积较大, 为典型的脆性断口特征, 断口中心位置即为裂纹源位置。

取断口处背面试样做金相检验。试样中心位置抛光后发现微裂纹, 使用 3% 的硝酸酒精溶液侵蚀后观察, 试样半径 1/2 处组织为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体; 试样中心位置处组织为铁素体 + 珠光

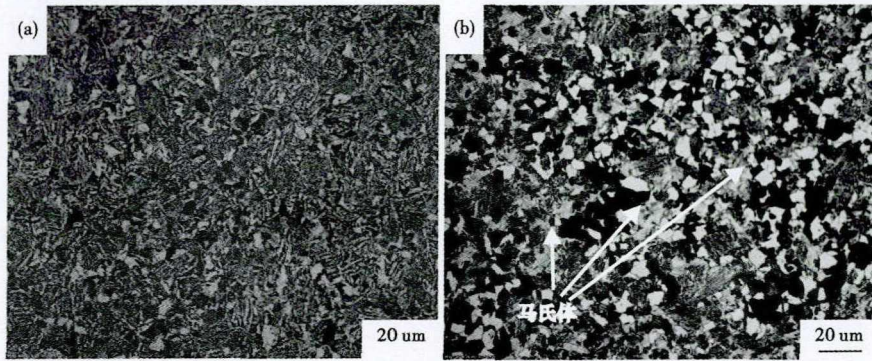


图2 B7 钢  $\Phi 22$  mm 盘条半径 1/2 处(a)铁素体 + 珠光体 + 贝氏体和中心(b)铁素体 + 珠光体 + 贝氏体 + 马氏体的组织形貌

Fig. 2 Structure morphology of B7 steel  $\Phi 22$  mm rod coil at 1/2 radius (a) F + P + B and at center (b) F + P + B + M

表2 珠光体区域和马氏体区域能谱分析结果/%

Table 2 Results of energy spectrum analysis at P area and M area/%

组织区域	C	Cr	Mn	Fe
珠光体区域(P)	23.19	0.70	0.66	75.46
马氏体区域(M)	16.72	1.60	1.32	79.96

体 + 贝氏体 + 马氏体,如图 2(a)、(b)所示。

使用 Oxford 能谱分析仪对试样中心位置不同组织微区成分进行能谱分析,元素质量分数结果如表 2 所示:马氏体区域 Cr、Mn 元素含量(质量分数)明显高于珠光体区域,因此判断马氏体形成是由于合金元素 Mn、Cr 偏析造成。

## 2 原因分析

B7 盘条钢中心位置存在较多的马氏体是导致冷拔断裂的原因。马氏体为硬脆相,在冷拔过程中无法保证与周围基体保持协调变形<sup>[3]</sup>,盘条中心位置易产生微裂纹,随着加工的深入,裂纹扩展导致断裂,因此不退火直接拉拔存在较大的断裂风险。

冷拔断裂试样半径 1/2 处未出现、而中心位置出现马氏体证明马氏体形成与轧后冷速快无关,

能谱分析试样中心位置马氏体区域合金元素 Mn、Cr 含量明显高于珠光体区域,马氏体形成与合金元素 Mn、Cr 偏析有关:Mn、Cr 均为稳定奥氏体的元素<sup>[4]</sup>,盘条出保温罩时,中心位置依然存在未转变的奥氏体,当温度达到  $M_s$  点时,奥氏体发生马氏体转变。

## 3 改进措施

为了满足客户的不退火直接拉拔的要求,采用降低吐丝温度的方法降低盘条出保温罩温度,同时降低辊道速度以延

长保温时间,尽可能使过冷奥氏体在保温罩内完成转变,减少出保温罩时未转变奥氏体的量,从而减少心部马氏体形成。

选取同炉次 B7 铸坯一分为二,分别轧制  $\Phi 22$  mm 规格盘条进行两组对比试验,吐丝温度分别为  $(910 \pm 10)^\circ\text{C}$  (原工艺)、 $(840 \pm 10)^\circ\text{C}$  (试验工艺),其余过程温度仍按照原工艺执行。轧制过程温度要求如表 3 所示。

原工艺与改进工艺风冷线均采用延时缓冷工艺:保温罩、风机全部关闭,区别在于改进工艺各段辊道速度均较原工艺下降从而延长盘条在保温罩的时间,风冷线各段辊道速度如表 4 所示。

改进工艺后盘条出保温罩温度较原工艺下降约  $30 \sim 40^\circ\text{C}$ ,盘条在保温罩内的时间较原工艺延长了 135 s,如表 5 所示。

## 4 产品检验

力学性能如表 6 所示,改进工艺下产品断面收缩率有提升,硬度下降。

表3 原工艺和改进工艺轧制过程温度要求

Table 3 Requirement for rolling process temperature of original and improved process

工艺	开轧温度/ $^\circ\text{C}$	精轧入口温度/ $^\circ\text{C}$	减定径入口/ $^\circ\text{C}$	吐丝温度/ $^\circ\text{C}$	成品速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
原工艺	1 000 ~ 1 020	900 ~ 920	900 $\pm$ 10	910 $\pm$ 10	$\leq 15$
改进工艺	1 000 ~ 1 020	900 ~ 920	900 $\pm$ 10	840 $\pm$ 10	$\leq 15$

注:生产工艺路线:粗中轧-预精轧-预水冷-精轧-水冷-减定径-水冷-夹送辊-吐丝机-斯太尔摩风冷线

表4 原工艺和改进工艺斯太尔摩风冷线各段辊道速度/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$

Table 4 Roller speed at each section of Stelmor air cooling line for original and improved process/ $(\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$

工艺	入口	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>	7 <sup>#</sup>	8 <sup>#</sup>	9 <sup>#</sup>	10 <sup>#</sup>	11 <sup>#</sup>	出口
原工艺	16.8	17.0	17.2	17.2	17.2	17.2	17.5	17.5	17.8	18.2	19.0	20.0	21.8
改进工艺	14.0	14.8	15.4	15.4	15.4	15.4	16.0	16.0	16.0	16.0	17.5	19.0	21.0

表 5 原工艺和改进工艺轧制过程温度

Table 5 Temperature of rolling process of original and improved process

工艺	吐丝温度/℃	出保温罩温度/℃	盘条在保温罩内时间/s
原工艺	905 ~ 915	590 ~ 620	285
改进工艺	840 ~ 850	560 ~ 580	420

表 6 原工艺和改进工艺生产的 B7 钢  $\Phi 22$  mm 盘条力学性能  
Table 6 Mechanical properties of B7 steel  $\Phi 22$  mm rod coil produced by original and improved process

工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断面收缩率/%	HRC 硬度值
原工艺	790	967	17	30.3
	764	956	18	30.1
改进工艺	810	957	22	28.5
	815	976	25	27.8

这是由于随着吐丝温度的降低,过冷奥氏体内部储能增加、稳定性降低<sup>[5]</sup>,在较高温度下即发生了珠光体转变,因此在改进工艺的低吐丝温度下,铁素体 + 珠光体含量更高,这也是改进工艺盘条硬度下降的原因。

试验工艺产品发往客户使用,拉拔过程未出现断裂现象,同时因试验工艺 B7 盘条钢的硬度降低,客户拉拔效率明显提高,模具损耗率下降 15%。

## 5 结语

(1) B7 热轧盘条钢的中心位置存在大量马氏体组织是导致拉拔断裂的直接原因,合金元素 Mn、Cr 的偏析是导致 B7 盘条钢中心位置形成马氏体的根本原因。

(2) 改进工艺通过降低吐丝温度至 840 ℃ 和延长盘条在保温罩内的时间至 420 s,有效减轻了 B7 盘条钢中心马氏体的形成,避免了拉拔断裂的风险。

(3) 改进工艺条件下, B7 盘条钢组织中铁素体 + 珠光体含量较原工艺明显提高,使得盘条 HRC 硬度值较原工艺降低约 2。客户拉拔效率提升,模具损耗率下降 15%。

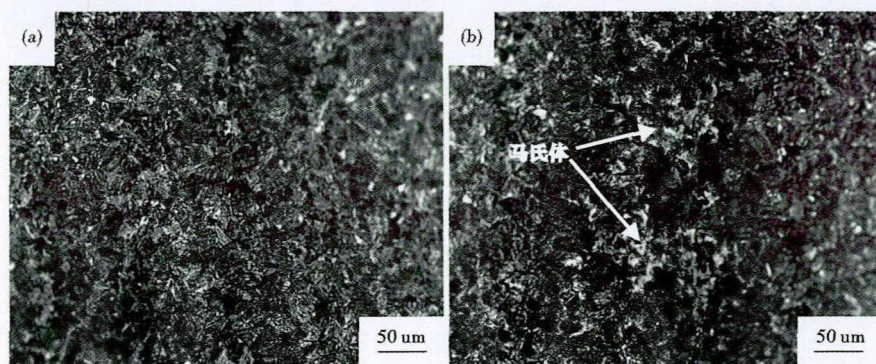


图 3 原工艺生产的 B7 盘条(a)半径 1/2 处和(b)心部组织形貌

Fig. 3 Structure morphology of B7 steel rod coil at (a) 1/2 radial position and (b) center produced by original rolling process

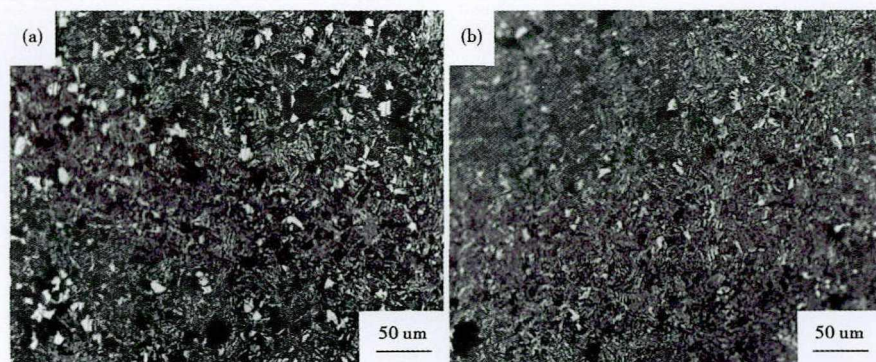


图 4 改进工艺生产的 B7 盘条(a)半径 1/2 处和(b)心部组织形貌

Fig. 4 Structure morphology of B7 steel rod coil at (a) 1/2 radial position and (b) center produced by improved rolling process

如图 3、4 所示:原工艺生产的 B7 盘条中心存在较多的马氏体组织,半径 1/2 处为少量铁素体 + 珠光体 + 贝氏体组织;改进工艺生产的 B7 盘条中心状存在极少量马氏体,较原工艺有明显改善,同时半径 1/2 处铁素体 + 珠光体含量较原工艺明显增加,

## 参考文献

- [1] 张先鸣. 风电机组上紧固件用的 B7 钢材料[J]. 热处理装备与技术, 2010, 31(2): 15-18.
- [2] 朱龙贵. 高强度紧固件用钢生产实践[J]. 现代冶金, 2013, 41(5): 8-9.
- [3] 孙杰, 王奕, 卫健, 等. 圆形截面冷拔钢丝的断裂失效分析流程优化[J]. 现代冶金, 2019, 41(2): 35-38.
- [4] 崔忠圻, 覃耀春. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 阮士朋, 王利军, 陈继林. 控轧控冷工艺对 SCM435 盘条组织和性能的影响[J]. 特殊钢, 2016, 37(5): 45-47.

史杨(1987-),男;硕士(2013年合肥工业大学),工程师,2010年合肥工业大学(本科)毕业,冷镦线材产品开发。  
E-mail: shiyangaiyun@163.com

收稿日期: 2020-08-28