



## 利用在线热处理技术研发 YL82B-QM 高强钢绞线

阎超楠, 徐凯, 张文涛, 陈殿清, 袁相坤, 李麦麦  
(青岛特殊钢铁有限公司线材研究所, 青岛 266409)

**摘要:**通过调整炼钢成分(质量分数),将V含量由0.09%降低到 $\leq 0.005\%$ ,Cr含量由0.28%降低到 $\leq 0.05\%$ ,Mn含量由0.85%降低到0.70%,在降低了合金元素情况下,通过调整连铸轻压下工艺、在线热处理技术(吐丝温度890~910℃、盐槽温度510~520℃)生产的 $\phi 15$  mm YL82B-QM 高强钢绞线盘条,平均抗拉强度达到1 227 MPa,断面收缩率39.3%,索氏体化率98%,同圈强度在40 MPa范围内,晶界渗碳体和心部马氏体 $\leq 1.0$ 级;与传统的Cr、V合金化 $\phi 15$  mm YL82B-V 风冷盘条相比,盘条性能更加优良,降低了合金成分的加入量,且不需要风机冷却,极大的降低了能源消耗,做到了绿色环保工业生产,该盘条用于生产 $\phi 10$  mm 1 570 MPa级轨枕钢丝,经过客户验证,钢丝抗拉强度、延伸率、弯折等重要指标均符合标准要求。

**关键词:**在线热处理; YL82B-QM; 高强钢绞线; 轨枕钢丝

**DOI:**10.20057/j.1003-8620.2023-00083 **中图分类号:**TF762; TG335.6

## Research and Development of YL82B-QM High-strength Steel Strand by On-line Heat Treatment Technology

Yan Chaonan, Xu Kai, Zhang Wentao, Chen Dianqing, Yuan Xiangkun, Li Maimai  
(Wire Research Institute, Qingdao Special Iron & Steel Co., Ltd., Qingdao 266409, China)

**Abstract:** By adjusting the composition of the steelmaking process, reducing the V content from 0.09% to 0.005%, Cr content from 0.28% to 0.05%, Mn content from 0.85% to 0.70%. In the case of reduced alloy elements,  $\phi 15$  mm YL82B-QM high-strength steel strand produced by adjusting the soft reduction during continuous casting process, on-line heat treatment technology (spinning temperature 890-910 °C, salt tank temperature 510-520 °C), the average tensile strength reached 1 227 MPa, shrinkage of across section of 39.3%, soxitzation rate 98%, the same circle strength is within 40 MPa, crystal boundary carburizing and cardiac martensite level 1.0 or below. Compared with the traditional Cr, V alloying  $\phi 15$  mm YL82B-V air-cooled wire rod, the wire rod performance is better, reduces the amount of alloy composition, and does not require fan cooling, greatly reduces energy consumption, truly achieves green industrial production. The wire rod is used for the production of  $\phi 10$  mm 1 570 MPa grade sleeper steel wire. The customer has verified that the steel wire tensile strength, elongation, bending and other important indicators meet the standard requirements.

**Key Words:** In-line Heat Treatment; YL82B-QM; High Strength Steel Strand; Sleeper Steel Wire

近年来,随着经济的迅猛发展,国内高铁、桥梁等工程建设进入蓬勃发展时期,铁路规划项目越来越多,据统计,中国投入使用的铁路总里程已突破15万 km,其中高速铁路达到4万 km<sup>[1]</sup>,已成为全球高速铁路系统技术最全面、承载能力最强、运营里程最长、运行速度最快、使用及建设规模最大的国家。因此,铁路用轨枕钢丝用钢有着巨大的应用前景和经济效益,同时随着经济的发展,国家对环保生产方面有着更高的要求,青岛特钢利用自主研发的国内首条在线热处理产线,绿色高效地实现盘条在相变区缓慢冷却索氏体化等温粗化处理<sup>[2]</sup>,利用该技术生产的 $\phi 15$  mm YL82B-QM 盘条,用于加工 $\phi 10$  mm 1 570 MPa 级轨枕钢丝,与传统的微合金

化<sup>[3]</sup> $\phi 15$  mm YL82B-V 盘条相比,在满足使用要求的前提下,既可以节约能源消耗,又降低了铁路的建设成本,在铁路应用推广后,可为国家基础设施建设及经济发展做出巨大贡献。

### 1 试验材料及方法

本试验基于青岛特钢自主研发的国内首条在线热处理生产线,对热轧盘条进行在线“索氏体等温粗化处理”,实现盘条在相变区等温冷却<sup>[4]</sup>。盘条在奥氏体组织状态下快速进入盐槽发生等温索氏体相变,由于盐槽内溶液温度控制精确、波动小,能保证获得的索氏体组织稳定,最终达到同时提高盘条强度和韧性<sup>[5]</sup>的目的。

热轧盘条在不同的冷却环境下,相变过程中形成不同片层间距的索氏体组织,不同的索氏体片层间距导致盘条的性能有很大差异,奥氏体向索氏体转变是在一定过冷度下通过扩散实现的,过冷度是发生转变的驱动力,因此,索氏体片层的成长是与转变温度密切相关的,在不产生马氏体、贝氏体<sup>[6]</sup>等异常组织的前提下,从盘条吐丝到盐槽内冷却,冷却相变时的过冷度越大,获得的片层间距越小,索氏体化率也越高,使盘条的强度和塑性更好;而冷却温度的精确和稳定,可以使索氏体组织球团均匀、索氏体片层更加平直,因此,盘条的通条性能更加均匀<sup>[7-10]</sup>。

YL82B-QM 在线热处理盘条生产工艺流程为:高炉炼铁→铁水预处理脱硫→100 t 转炉→100 t LF 炉→矩形坯连铸→铸坯探伤、修磨→步进式加热炉加热→摩根第六代轧机无扭轧制→在线等温冷却系统<sup>[11]</sup>→检验→包装。

本试验通过不同轻压下方案生产的连铸坯和一号剪半成品低倍图片对比,确定最佳炼钢工艺。然后检测在线热处理不同冷却温度下盘条的同圈力学性能,确定最佳冷却工艺。最后将最佳工艺下生产的 YL82B-QM 盘条同 YL82B-V 盘条进行同圈力学性能对比,并利用金相显微镜检测索氏体化率,扫描电镜(SEM)测量索氏体片层间距。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 炼钢工艺试验

通过青岛特钢生产的 YL82B-QM 在线热处理盘

条与国内某钢厂生产的 YL82B-V 盘条成分对比,青岛特钢 YL82B-QM 盘条不添加 Cr 和 V 合金,且 Mn 合金的含量也相对较低,具体成分见表 1。

为盐浴试验准备优良连铸坯,首先采用精准轻压下控制技术<sup>[12]</sup>,为改善连铸坯中心偏析,试验三个不同轻压下方案,具体工艺参数见表 2。

不同试验工艺的连铸坯和轧制过程半成品低倍图片分别如图 1 和图 2 所示。

方案三配合相应的拉速,不同于方案一和方案二,在第 3 个辊采用 2.5 mm 大压下量,使连铸坯液芯在凝固前更好的扩散,因此,方案三的低倍效果更好,为最佳方案。

### 2.2 在线热处理工艺试验

在不产生异常组织前提下,为了得到强度和塑性更好的盘条,试验四个不同吐丝温度及盐槽内冷却温度的方案,具体工艺参数见表 3。

YL82M-QM 盘条不同冷却方案与目前普遍应用的 YL82B-V 盘条进行同圈力学性能对比,具体如图 3 所示。

方案 A 和方案 C 抗拉强度较低,说明冷速不够大;而方案 B 强度较高,但断面收缩率下降较大,且通过金相组织检测出现 1.0 级马氏体组织,说明方案 B 冷却速率过大,产生了异常组织;方案 D 断面收缩率最高,且抗拉强度较高,同圈力学性能极差最小,因此,方案 D 在线热处理的吐丝温度 890 ~ 910 °C、盐槽温度 510 ~ 520 °C 为最佳冷却工艺。

由最佳工艺生产的 YL82B-QM 盘条比 YL82B-V

表 1 YL82B-QM 与 YL82B-V 钢盘条成分对比(质量分数)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	V
YL82B-QM 标准	0.80 ~ 0.85	0.10 ~ 0.30	0.65 ~ 0.75	≤0.020	≤0.020	≤0.050	≤0.050	≤0.05	≤0.005
YL82B-QM 实际	0.82	0.20	0.70	0.008	0.015	0.006	0.003	0.01	0.003
YL82B-V	0.82	0.23	0.85	0.020	0.009	0.009	0.280	0.02	0.090

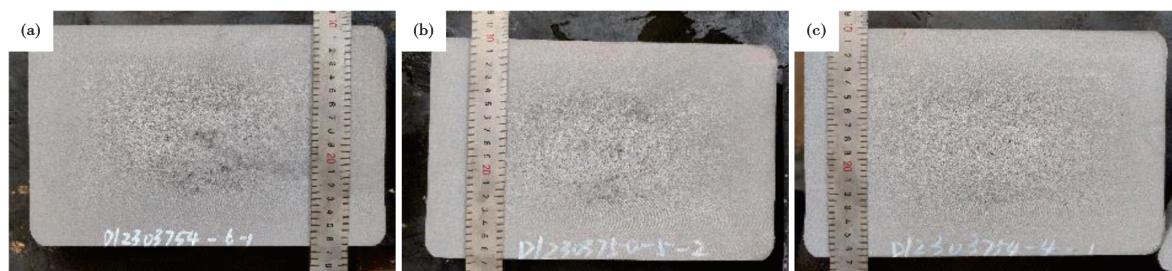


图 1 不同拉速与压下量试验工艺 174 mm×240 mm 连铸坯低倍图片:(a)方案一,(b)方案二,(c)方案三

Fig. 1 Macrostructure picture of 174 mm×240 mm continuous casting billet under different drawing speed and reduction test process : (a) Scheme 1 , (b) Scheme 2 , (c) Scheme 3

表 2 不同拉速与轻压下试验工艺方案

Table 2 Test process scheme under different drawing speed and soft reduction

方案	拉速/(m·min <sup>-1</sup> )	压下量分配/mm	总压下量/mm
一	1.06 ~ 1.08	↑ - ↑ -2.0-3.5-3.5-3.5-2.0	14.5
二	1.10 ~ 1.12	↑ - ↑ -2.0-3.5-3.5-3.5-2.0	14.5
三	1.10 ~ 1.12	↑ - ↑ -2.5-3.5-3.5-3.0-2.0	14.5

表 3 在线热处理的不同冷却方案工艺参数

Table 3 Process parameters of different cooling schemes for on-line heat treatment

方案	吐丝温度	盐槽温度
A	910 ~ 920	530 ~ 540
B	910 ~ 920	510 ~ 520
C	890 ~ 910	530 ~ 540
D	890 ~ 910	510 ~ 520

盘条的平均抗拉强度和面缩率更高, YL82B-QM 盘条的同圈强度极差为 33 MPa, 而 YL82B-V 盘条的同圈强度极差为 56 MPa; YL82B-QM 盘条的同圈断面收缩极差 2%, 而 YL82B-V 盘条的同圈面缩极差为 4%。因此, YL82B-QM 盘条在满足高强度的同时, 通条性能也更均匀。

### 2.3 YL82B-QM 盘条与 YL82B-V 盘条显微组织对比

经在线热处理的 YL82B-QM 盘条与传统的斯太尔摩法处理的 YL82B-V 盘条进行 SEM 显微组织对比, 如图 4 所示。在线热处理生产的 YL82B-QM 盘条相比斯太尔摩风冷生产的 YL82B-V 盘条, 索氏体片层间距由平均 100 nm 降低到 86 nm, 由图 4 明显看出 YL82B-QM 片层间距更加平直而均匀, 且索氏体化率为 98%, 而 YL82B-V 盘条索氏体化率为 95%<sup>[13]</sup>, 由此可见, 在线热处理技术在不需要添加合金成分的情况下, 也能显著提高盘条的索氏体化率并降低索氏体片层间距, 而索氏体化率越高, 片层间距越小<sup>[14]</sup>, 盘条的抗拉强度越高, 片层间距越平直, 说明盘条性能越均匀。

### 2.4 使用效果

用户采购青岛特钢在线盐浴生产的  $\phi 15$  mm YL82B-QM 盘条, 与某钢厂生产的  $\phi 15$  mm YL82B-V 盘条同样工艺加工  $\phi 10$  mm 轨道板用 1 570 MPa 级刻痕钢丝, 要求钢丝抗拉强度  $\geq 1 620$  MPa, 屈服力  $\geq 1 440$  kN, 延伸率  $\geq 6\%$ , 180° 弯折次数  $\geq 4$  次, 统计平均数据具体对比见表 4。

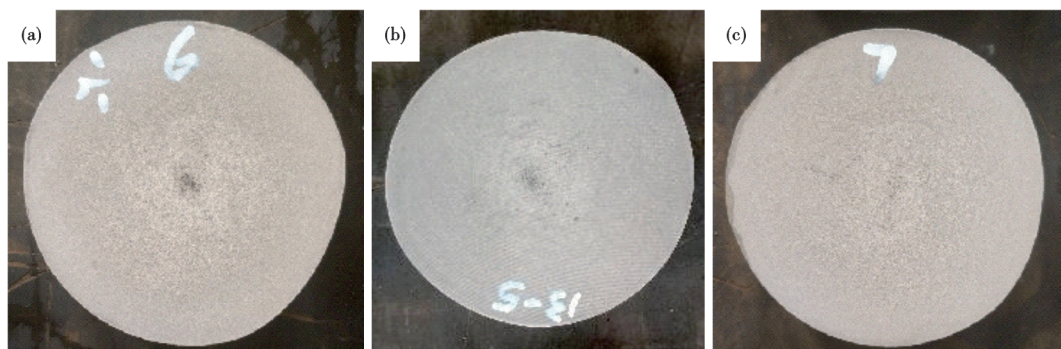


图 2 不同拉速与压下量试验工艺半成品  $\phi 130$  mm 低倍图片: (a) 方案一, (b) 方案二, (c) 方案三

Fig. 2 Macrostructure picture of  $\phi 130$  mm semi-finished product under different drawing speed and reduction test process : (a) Scheme 1, (b) Scheme 2, (c) Scheme 3

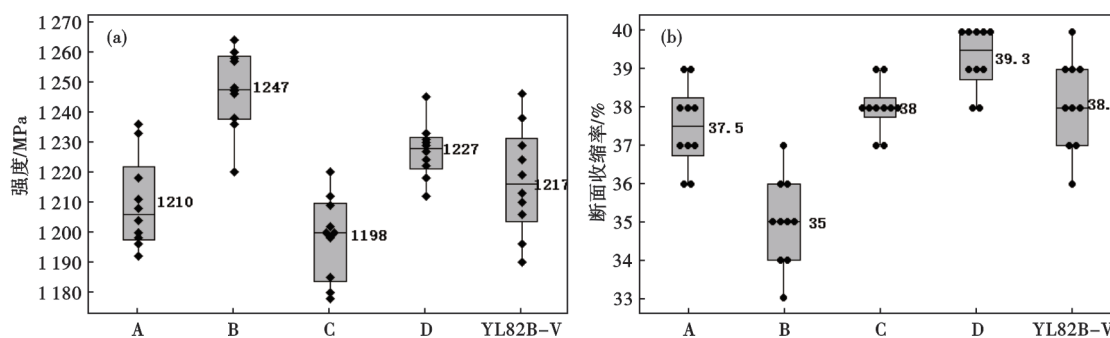


图 3 YL82B-QM 不同冷却方案与 YL82B-V 对比: (a) 同圈强度, (b) 同圈面缩率

Fig. 3 Different cooling schemes of YL82B-QM are compared with YL82B-V: (a) in-circle strength, (b) in-circle shrinkage

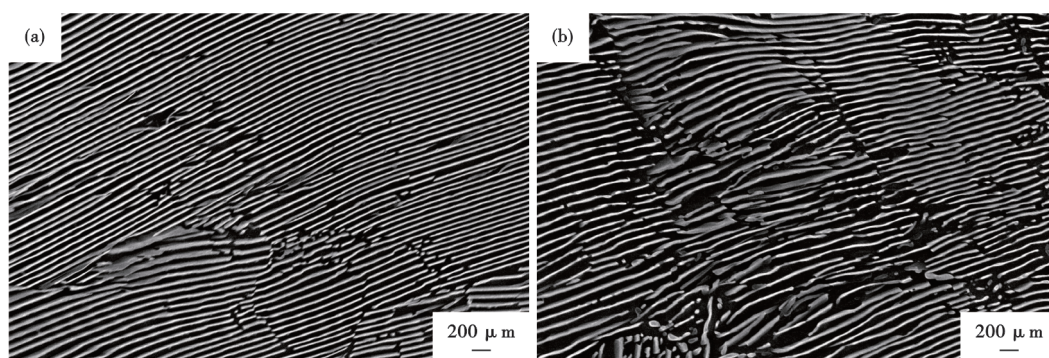


图4 YL82B-QM盘条(a)与YL82B-V盘条(b)SEM显微组织形貌

Fig. 4 SEM Microstructure morphology of YL82B-QM wire rods (a) and YL82B-V wire rods (b)

表4 YL82B-QM与YL82B-V盘条生产的钢丝性能对比  
Table 4 Comparison of steel wire properties produced by YL82B-QM and YL82B-V wire rod

牌号	抗拉强度/ MPa	屈服力/kN	延伸率/%	弯折次数/次 (180°)
YL82B-QM	1 642	1 489	8.0	5
YL82B-V	1 630	1 482	6.5	5

YL82B-QM盘条生产的钢丝相比YL82B-V盘条生产的钢丝,在抗拉强度、屈服力、延伸率等关键指标上均有明显提高,可以更好满足用户的使用要求。

### 3 结论

(1)在成分设计上,青岛特钢在线热处理技术

生产的YL82B-QM盘条与目前主流的YL82B-V风冷盘条相比,V含量由0.09%降低到 $\leq 0.005\%$ ,Cr含量由0.28%降低到 $\leq 0.05\%$ ,Mn含量由0.85%降低到0.70%,在保证产品性能的同时,更加的低能耗和环保。

(2)与YL82B-V盘条相比,YL82B-QM盘条平均强度提高了10 MPa,平均面缩提高了1.2%,片层间距降低了14%,索氏体化率提高了3%,YL82B-QM盘条的通条性能更加均匀。

(3)由于YL82B-QM盘条各项性能指标更优良,用户采用同样的加工工艺,YL82B-QM盘条生产的钢丝在强度和延伸率等方面均好于目前主流的YL82B-V盘条。

### 参考文献

- [1] 祁玉栋,孙天梁. 接触网系统对高速铁路行车安全的影响[J]. 城市建设理论研究(电子版),2016(5): 34-37.
- [2] 钱刚,许晓红,张剑锋. 绿色低碳高效超高强度桥梁索钢用线材的研发及应用[J]. 现代交通与冶金材料,2021,1(3):75-82.
- [3] 睦文杰,李天然,韩向楠,等. Mo微合金化对82B高碳建筑用钢组织和力学性能的影响[J]. 特殊钢,2022,43(2): 64-68.
- [4] 郭洛方,徐凯,高永彬,等. 盐浴等温热处理对超高强硬线钢100Si组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2023,44(3): 84-89.
- [5] 李麦麦,袁相坤,高永彬,等. 铬合金化对C82D2Cr钢帘线盘条组织和性能的影响[J]. 特殊钢,2023,44(1): 101-104.
- [6] 李战卫,于学森,沈奎,等. 高强度汽车紧固件用钢SCr440连续冷却和等温冷却组织转变研究及应用[J]. 特殊钢,2022,43(2): 90-94.
- [7] 魏勇,韦贺,严海峰,等. 等温温度对82B高碳钢过冷奥氏体转变的影响[J]. 金属热处理,2018,43(12):211-215.
- [8] 史远,黄胜永,安治国. 冷却速率对30CrNiMo8钢过冷奥氏体转变的影响[J]. 理化检验(物理分册),2017,53(11):782-785.
- [9] 褚峰,沈奎,胡显军,等. 高碳帘线钢的冷却相变行为[J]. 金属热处理,2023,48(2):79-84.
- [10] 王雷,李月云,胡磊,等. 高碳钢盘条斯太尔摩冷却相变研究[J]. 热加工工艺,2018,47(22):191-194,199.
- [11] 李阳,甄先锋,王广顺,等. 在线盐浴热处理生产高性能Fe-C-Mn-Si高碳钢线材[J]. 中国冶金,2023,33(4):104-110.
- [12] 吕进,徐东,郑冰,等. 工艺因素对82B钢280 mm×325 mm铸坯凝固过程的影响[J]. 特殊钢,2022,43(2): 12-15.
- [13] 刘立德,张毅,龙国荣,等. SWRH82B钢Φ14~15 mm盘条的生产实践[J]. 特殊钢,2018,39(4): 23-27.
- [14] 宋延成,张奇毅,陈海燕,等. Cr对超高强帘线钢LX82A工艺和力学性能的影响[J]. 特殊钢,2023,44(3): 20-23.