提高包钢小规格热轧盘螺钢筋性能分析*

赵晓敏[1],吕 刚[1],高 丹[2],杨鲁明[1],白月琴[1],王 刚[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司长材厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过优化小规格热轧盘螺钢筋的化学成分、加热工艺、精轧温度、吐丝温度以及冷却控冷等轧制关键控制点,比对分析了优化前后钢筋的力学性能、宏观金相组织和显微组织,结果表明优化后的Φ8 mm、Φ10 mm盘螺屈服强度415 MPa以下占比明显降低,宏观金相未见明显不同衬度,微观显微组织未见回火马氏体、魏氏组织等异常组织。

关键词: 小规格; 热轧盘螺; 优化; 研究

中图分类号: TG142.1; TG335.6^{+3} **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0055-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.001

Analysis on Improving Properties of Hot Rolled Coiled Reinforced Bar with Small Specification of Baotou Steel

Zhao Xiao-min[1], *Lv Gang*[1], *Gao Dan*[2], *Yang Lu-ming*[1], *Bai Yue-qin*[1], *Wang Gang*[1]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Long Products Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: Such key control points of rolling as the chemical composition, heating process, finishing temperature, laying temperature, cooling and controlled cooling of hot rolled coiled reinforced bar with small specification are optimized as well as the mechanical properties, macroscopic metallographic structure and microstructure of reinforced bar before and after optimization are compared and analyzed. The results showed that the proportion of optimized Φ8 mm and Φ10 mm coiled reinforced bar with yield strength below 415 MPa significantly reduced, there were no obvious different contrasts for macroscopic metallographic structure as well as such abnormal microstructures as the tempered martensite and widmannstatten structure.

Key words: small specification; hot rolled coiled reinforced bar; optimization; research

直径在6~16 mm螺纹钢筋被称为盘螺钢,广泛应用在预应力钢筋混凝土和钢筋混凝土中。与普通钢筋相比,盘螺钢是一种强度高、综合性能优良、节能环保、使用寿命长且安全性高的钢筋材料,简称盘螺。盘螺属于螺纹钢,它是一种应用非常广的建材用钢,由于具有良好的韧性和焊接性等综合性能,

* 收稿日期:2021-09-28

作者简介:赵晓敏(1986-),女,内蒙古赤峰市人,硕士,工程师,现从事线棒材新产品研发工作。

现阶段广泛用于钢筋混凝土建筑结构[1-2]。

通常钢铁行业生产HRB400E盘螺，是在HRB400基础成分上添加钒等微量合金生产，但时有屈服强度偏低、富余量较小的现象[3]。为了提高盘螺的屈服强度富余量，使其达到415 MPa以上，同时保证盘螺的宏观金相和微观金相组织满足新国家标准，使得盘螺基圆内部宏观金相不能出现衬度明显的反衬环，微观金相组织主要是铁素体加珠光体，不产生魏氏组织、粒状贝氏体、马氏体异常组织或产生少量的下贝氏组织。基于此思想，本文通过加热制度、控温轧制(精轧温度、入减定径温度、吐丝温度)工艺的优化，屈服强度富余量得到提高，并且盘螺宏观金相未有明显的衬度，而且未见魏氏组织、贝氏体等异常组织。

1 化学成分设计

微合金化和控轧控冷技术是当前冶金行业提高建筑用螺纹钢筋屈服强度、满足国内外市场钢筋使用性能需要的两种主要手段。其中，微合金化是在钢中添加V、Ti、Nb等微合金元素，通过合金固溶强化和弥散强化的方式来实现材料综合性能的提高，但由于合金资源较为紧缺，合金价格持续上涨，使得生产成本越来越高。而采取控制轧制、低温控冷技术，可以在合金元素含量低的情况下，既保证钢筋满足性能要求，又可以降低合金成本，是性能提高与经济性相结合的最佳手段。基于此设计思路，在GB/T 1499.2—2018[4]国家标准基础上，优化了热轧盘螺钢筋的化学成分，如表1所示。

表1 热轧盘螺钢筋化学成分优化(质量分数) %

项目	C	Si	Mn	P	S	V	Ceq
GB/T 1499.2—2018	≤0.25	≤0.80	≤1.60	≤0.045	≤0.045	≤0.15	≤0.54
优化前	0.22~0.25	0.30~0.50	1.20~1.40	≤0.040	≤0.040	适量	≤0.54
优化后	0.22~0.25	0.60~0.80	1.40~1.60	≤0.040	≤0.040		≤0.54

2 轧制各工序控制关键点

2.1 加热工艺

加热温度的高低直接决定着轧制前钢坯奥氏体晶粒尺寸的大小。加热到完全奥氏体化温度后，钢材塑性越好，变形抗力越低，奥氏体晶粒越粗大；加热温度越低，钢材塑性越差，变形抗力变大，钢坯奥氏体晶粒越细小。根据细晶粒轧制工艺要求，在满足轧机轧制能力的条件下，为了获得细小的奥氏体晶粒，应采用较低的开轧温度。

加热炉为蓄热式步进梁式加热炉，燃料采用高炉煤气和转炉煤气的混合煤气，设有加热燃烧控制系统，精确控制残氧含量在4%以下，保证炉内的微氧化气氛。加热是高线生产的首要工序，加热工艺的设定还要根据钢种的化学成分、微合金元素的固溶度、钢种的表面脱碳等进行确定。对于含V的钢种设计，加热过程还应考虑V的固溶度，由于V的碳氮化物在900 ℃就开始溶解，因此不需要设定过高的加热温度和过长的加热时间，加热温度过高，保温时间过长容易造成奥氏体晶粒过于粗大，达不到细化晶粒的目的，保证不了抗震钢筋的各项性能指标。针对C-Si-Mn钢种还需考虑低温轧制对轧机电流的影响，因此设定加热段炉温不低于980 ℃，均热段温度不低于1 080 ℃，加V钢种的炉温按照中上限进行控制[5-6]。

小方坯加热至奥氏体温度区域，消除铸态组织和偏析并使碳化物溶解和奥氏体均匀化，同时要避免加热温度过高与加热时间过长使奥氏体晶粒粗大。出钢温度选择在900~980 ℃，加热工艺见表2。

表2 钢坯加热制度 ℃

项目	预热段	加热段	均热段
优化前	<800	900~1 050	950~1 050
优化后	<800	850~1 000	900~1 000

2.2 轧制温度控制

控制轧制温度主要控制钢材在精轧阶段的温度。根据传统的细晶轧制技术理论将精轧阶段钢材温度控制在两相区，在施加一个较大的相变过冷度，钢材的晶粒度较细。吐丝温度是钢材风冷开始温度。由于高速线材轧制已经有较高的变形速率，通过控制进精轧温度在(900±10) ℃，避免奥氏体在再结晶区域轧制形成变形奥氏体晶粒，以便后续获

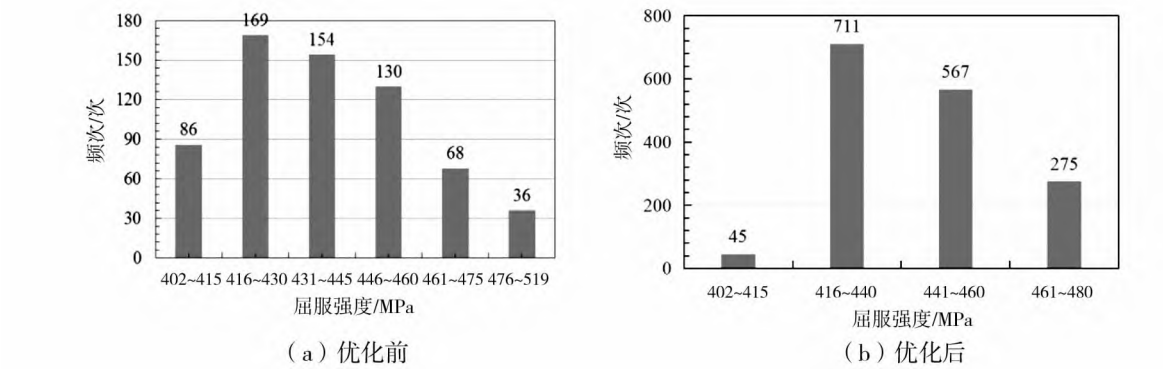
得细小的铁素体晶粒[7]。

控制吐丝温度主要是为了控制轧后晶粒长大，降低先共析铁素体的析出体量，提高珠光体相的比例。终轧后奥氏体变形后不发生动态再结晶，为控冷后得到较为细小铁素体和珠光体做好充足的准备，吐丝温度最好控制在(850 ± 10) ℃；轧后进行快速冷却，1—4 架风机开启 100%，快冷至铁素体区，形成均匀细小的铁素体组织，然后在珠光体相变区进行延迟冷却，提高珠光体组织的比例，即在冷却到 500 ~ 700 ℃时关闭风机。盘螺的力学性能存在波动主要与斯太尔摩冷却线的辊道速度有关系，为了提高盘螺力学性能的稳定性，将起步辊道速度由原来的 0.75 m/s 降低到 0.5 m/s，屈服强度的稳定性得到明显改善。

3　轧制试验结果与讨论

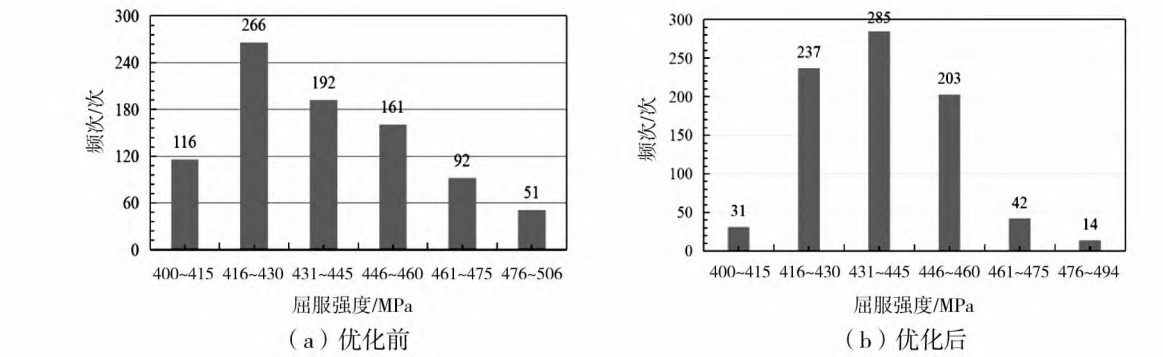
3.1　力学性能

采用此轧制关键控制工艺轧制了规格 Φ8 mm、Φ10 mm 的盘螺，并与工艺优化前的盘螺性能进行比对分析。南钢黄亚鹤工程师研究了 C - Mn 低成本盘螺各项性能与时效时间的关系，发现随着时间的推移，屈服强度指标变化在 15 MPa 以内，抗拉强度随着时间的变化有所增加，增加值在 10 MPa 左右，断后伸长率、最大力总伸长率等塑性指标有所提高[8]。考虑盘螺屈服强度的富余量，重点比对分析盘螺的屈服强度。图 1、图 2 是 Φ8 mm、Φ10 mm 热轧盘螺工艺优化前后屈服强度统计比对图，比对分析发现化学成分和工艺优化后，盘螺屈服强度偏低的占比明显降低，对于规格 Φ8 mm 的热轧盘螺屈服强度最低为 402 MPa，屈服强度在 402 ~ 415 MPa 范围之间的占比为 2.82%，而优化前屈服强度在 402 ~ 415 MPa范围之间的占比为 13.37%。对于规格 Φ10 mm 的热轧盘螺屈服强度最低为 400 MPa，屈服强度在 400 ~ 415 MPa 范围之间的占比为 3.82%，而优化前屈服强度在 400 ~ 415 MPa 范围之间的占比为 13.21%。从屈服强度统计图发现盘螺的屈服强度散差得到改善。



(a) 优化前　　(b) 优化后

图 1　Φ8 mm 热轧盘螺工艺优化前后屈服强度统计比对



(a) 优化前　　(b) 优化后

图 2　Φ10 mm 热轧盘螺工艺优化前后屈服强度统计比对

3.2 宏观金相与显微组织

图3是热轧盘螺的宏观金相照片，螺纹钢宏观金相要求基圆内部不能出现明显衬度不同的反衬环，即图3(c)。图3(a)是优化前热轧盘螺宏观金相，发现基圆内部有明显的不同的衬度，但未形成封闭的反衬环，利用LEICA DMIRM型光学显微镜将此处放大100倍观察，此处显微组织为魏氏组织，如图4所示。经过工艺优化后，盘螺宏观金相无明显衬度，而且微观金相组织为铁素体+珠光体组织，未见异常组织，如图5所示。



(a)优化前 (b)优化后 (c)反衬环

图3 热轧盘螺宏观金相照片

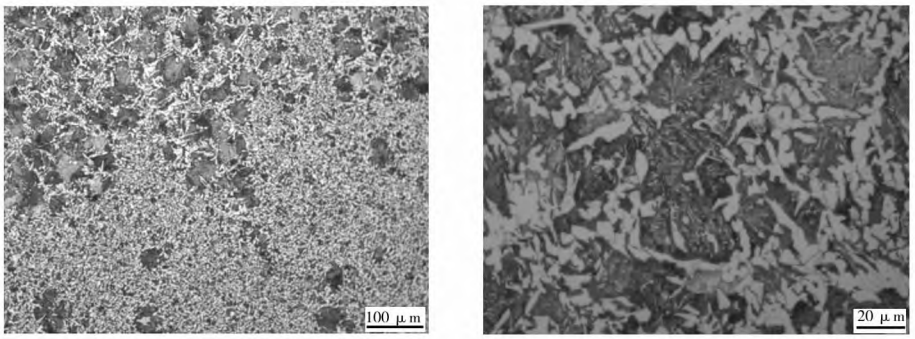


图4 衬度不同处的微观组织照片

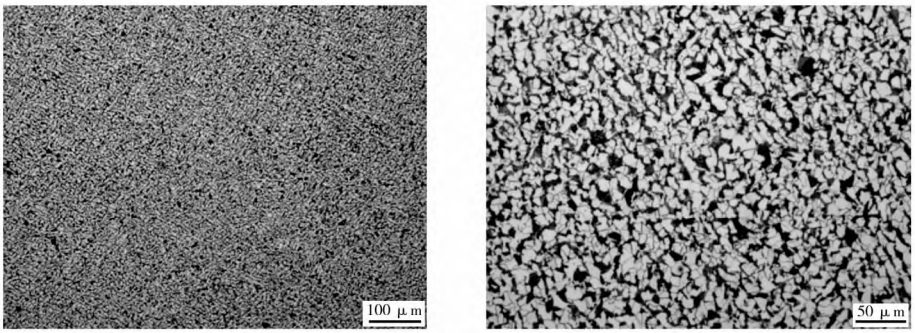


图5 工艺优化后盘螺的显微组织照片

4 结论

(1)通过化学成分和工艺优化，热轧盘螺的屈服强度得到改善，对于规格Φ8 mm、Φ10 mm的热轧盘螺屈服强度在400~415 MPa范围之间的占比由原来的13.37%、13.21%分别降低到为2.82%、

3.82%。

(2) 盘螺宏观金相的不同衬度和魏氏组织得到明显缓解,从而保证了盘螺的屈服强度满足标准要求,且富余量较大。

参 考 文 献

[1] 梁云科,孙国庆,刘学森. 400 MPa 级抗震盘螺生产工艺研究 [J]. 天津冶金,2014,(4):27-29.

[2] 李探,刘学森. HRB400E 盘螺工艺优化 [J]. 天津冶金,2020,(3):36-39.

[3] 陈文勇,贾元海,王晓飞,等. HRB400 盘螺控温控冷技术试验 [J]. 河北冶金,2016,(12):21-25.

[4] GB/T 1499.2—2018,钢筋混凝土用钢: 热轧带肋钢筋 [S].

[5] 李德成. 控轧控冷工艺下普通 C-Mn 钢强化机理的研究 [J]. 现代冶金,2013,41(1):29-31.

[6] 冯宝,杨其敏,邱卫锋,等. 盘螺 HRB400E 屈服强度偏高分析 [J]. 山西冶金,2018,(3):5-6.

[7] 马正洪,张玺成,钱萍,等. 低锰 HRB400E 盘螺控冷机理分析 [J]. 轧钢,2015,32(1):79-81.

[8] 黄亚鹤. 超细晶低锰盘螺产品开发与应用 [J]. 现代冶金,2020,48(5):42-45.

(上接第 47 页)

进{100}取向晶粒的生长,Sn 的晶界偏析可以提高晶界迁移率,抑制不利织构发展,从而提高磁感应强度。

Sn 的加入在提高磁感的同时,也增加了铁损,主要是因为 Sn 含量偏低时,Sn 在各个晶界处的偏聚量不均匀,对{111}面织构的抑制力不强,Sn 含量过高时,在再结晶和晶粒长大过程中,除了抑制{111}面晶粒在原始晶界处的形核和晶粒长大外,还对其他有利织构组分的晶粒长大也有一定程度的抑制作用,从而导致了铁损的增大与磁感的降低[6]。

4 结论

(1) 加入 Sn 元素后,热轧板组织变形晶粒更加扁长,冷轧板剪切带明显增加,成品晶粒尺寸减小,成品 γ-fiber 织构显著减弱,有利 λ-fiber 织构增加。

(2) 随着 Sn 的加入,铁损值持续增加,磁感应强度值先增加后降低,在 Sn 含量为 0.006% ~ 0.007% 获得最大值。

参 考 文 献

[1] 何忠治,赵宇,罗海文. 电工钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社,2012.

[2] 董浩. 高磁性能冷轧无取向硅钢薄带的研制 [D]. 沈阳: 东北大学,2009.

[3] 高超,李运刚,齐艳飞,等. 微合金元素 Sn、Nb、RE 对无取向硅钢性能的影响 [J]. 华北理工大学学报(自然科学版),2013,35(3):27-30.

[4] Fan Lifeng, Dong Ruifeng, Qiu Shengtao, et al. Effect of Sn on High Permeability Grain-Oriented Silicon Steel [J]. Journal of Superconductivity, 2014,27(9):1 959-1 965.

[5] McLean D. Grain Boundaries in Metals [M]. London: Oxford University Press, 1957.

[6] 董浩,赵宇,喻晓军,等. 锡含量对无取向硅钢薄带铁损和织构的影响 [J]. 金属功能材料,2008,15(2):5-8.