高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板开发*

白海瑞,袁晓鸣,魏慧慧

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 采用低碳、铌钛微合金化成分设计及控轧控冷工艺,在包钢2 250 mm热轧生产线成功开发出高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板,该钢屈服强度≥550 MPa,抗拉强度≥650 MPa,断后伸长率≥25%,-20 ℃纵向全尺寸冲击功≥100 J,强韧性匹配良好,具有良好的低温冲击性能、冷弯性能和焊接性能,能够满足客户旋挖钻机钻杆用热轧卷板的技术要求。实现了包钢高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板产品的批量生产及供货。

关键词: 高强度; 热轧卷板; 控轧控冷; 力学性能

中图分类号: TG335.5; TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0027-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.016

Development of Hot Rolled Coil for Drill Pipe of High Strength Rotary Drilling Rig

Bai Hai-rui, Yuan Xiao-ming, Wei Hui-hui

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The hot rolled coil for drill pipe of high strength rotary drilling rig is successfully developed on the 2 250 mm hot continuous rolling production line of Baotou Steel with the component design of low carbon and niobium titanium microalloying as well as controlled rolling and cooling process. Its yield strength is not less than 550 MPa, tensile strength is not less than 650 MPa, percentage elongation after fracture is not less than 25%, longitudinal full-size impact energy is not less than 100 J at -20 ℃ as well as the matching of strength and toughness is good. Moreover, it is with good low temperature impact performance, cold bending performance and welding performance so that it could meet the technical requirements of hot rolled coil for drill pipe of rotary drilling rig for customers as well as its batch production and supply are realized in Baotou Steel.

Key words: high strength; hot rolled coil; controlled rolling and cooling; mechanical property

旋挖钻机钻杆是旋挖钻机与施工用钻头之间的连接设备,是沿着共同的轴心发生扭矩传递逐节伸缩的管状结构,一般由无缝钢管经机加工、热处理、焊接及修整后套装而成。随着技术的快速发展,国家装备制造的产业振兴和基础建设投入的不断增加,对旋挖钻机钻杆用钢的强度、低温韧性、焊接性能提出更高的要求。国内某著名无缝钢管企业针对顾客的技术要求,开发出屈服强度不小于550 MPa的无缝钢管,用于旋挖机钻杆生产,但生产工序较长、工艺复杂、成本较高。目前已有部分重工制造企

* 收稿日期: 2021-05-07

作者简介: 白海瑞(1986-),男,内蒙古土默特左旗人,硕士,高级工程师,现从事板带材产品研发工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

业开始采用直缝焊管替代无缝管生产旋挖机钻杆。直缝焊管与无缝钢管相比，具有生产成本低、尺寸精度高、生产效率高、长度自由、管径规格全等明显的优势[1]。高强韧直缝焊旋挖钻机钻杆用热轧卷板开发迫在眉睫，且具有良好的市场前景。本文根据包钢2 250 mm生产线特点，化学成分采用低碳铌钛微合金化的设计思路，并结合控轧控冷工艺，成功试验开发高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板。

1 化学成分和生产工艺

通过合理的化学成分设计(低碳+铌钛微合金化)及轧制(控轧控冷)工艺，来实现高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板的高强度、高韧性、良好的焊接性能。其工业化生产工艺为：铁水预处理(要求入转炉铁水硫含量不大于0.010%，脱硫渣扒清面积大于90%)→转炉冶炼(出钢温度不低于1 620 ℃，保证成分与温度协调出钢；转炉出钢过程中加入铝铁、硅铁、锰铁等进行脱氧合金化，加入铬铁合金调整成分)→LF精炼(LF炉造渣脱硫，并加入铝铁、锰铁、硅铁、铌铁、钼铁等合金调整到目标成分范围)→RH精炼(RH真空处理期间根据钢水成分加入钛铁等合金调整成分。保证循环纯脱气时间不小于7 min；RH真空处理结束后，喂入钙线进行钙处理，喂丝后保证软吹时间大于8 min)→板坯连铸(过热度15～30 ℃)→加热炉(保证合金元素的充分固溶，要求预热段、加热段以及均热段时间之和不小于120 min)→粗轧(各道次压下量均应不低于10%，第5道次和第6道次压下率应不小于25%)→精轧(采用恒速轧制)→层流冷却(自学习)→卷取→取样、检验(金相组织和力学性能检测)→包装→入库。

1.1 化学成分设计

碳是最基本的化学元素，对于热轧卷板的强度指标起关键作用，但碳含量不易过高，碳含量太高恶化热轧卷板的焊接性能，通常碳含量控制在0.10%以下[2]；硅元素的添加可以发挥固溶强化作用，但硅含量太高钢带表面氧化铁皮不宜去除，影响钢板表面质量，一般控制在0.30%以下；锰是固溶强化有效元素之一，可扩大和稳定奥氏体区，降低奥氏体相转变温度，有助于相变后组织细化，但锰含量太高促使铸坯心部偏析加重，从而致使钢板形成严重的带状组织，影响钢材的力学性能，钢板的锰含量控制在1.80%以下；铬、钼可提高钢的淬透性，对先共析铁素体起抑制作用，促进贝氏体相变；铌是细晶强化的有效元素，钢中添加适量的铌元素，不但可以提高钢的强度，而且可以增加钢的韧性[3]，铌含量控制在不大于0.07%；钛元素在钢中起固溶强化和析出强化的作用，同时在钢带的焊接过程中抑制晶粒过分长大，改善焊接性能，钛元素含量控制在不大于0.03%；对于制造旋挖钻机钻杆用热轧卷板来讲，需严格控制钢水洁净度和S、P有害元素含量，从而改善钢材的180°冷弯性能和冲击性能。热轧卷板的化学成分见表1。

表1 热轧卷板化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Nb	Ti	Cr	Mo
≤0.10	≤0.30	≤1.70	≤0.015	≤0.008	0.020～0.050	≤0.07	≤0.025	≤0.30	≤0.30

1.2 热轧轧制及冷却工艺

热轧卷板的轧制在包钢2 250 mm生产线进行，该机组配备多功能自动控制系统，可自动控制钢板的尺寸、板形、温度等因素。采用控轧控冷的热机械轧制技术，包括控制热轧板坯的加热温度、控制形变奥氏体在再结晶区粗轧阶段和再结晶区精轧阶段的道次分配和道次压下、层流冷却的自学习控制及卷取温度的精准控制。通过合理的控轧控冷工艺保证最终产品的组织和性能。

根据旋挖钻机钻杆用热轧卷板的技术协议要求，并结合2 250 mm生产线的生产能力，热轧卷板的主要加热制度、轧制及冷却参数见表2。粗轧各道次压下量不低于10%，以保证形变奥氏体的再结晶，从而细化晶粒，且需开启除鳞水。终轧温度为805～835 ℃，采用恒速轧制，采用前段冷却的层冷模式，卷取温度为400～440 ℃，中温相变以保证贝氏体的生成。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

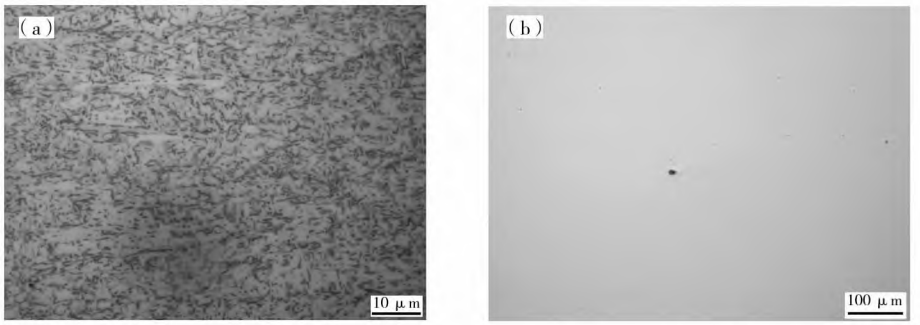
表 2　主要加热轧制冷却工艺

板坯厚度/mm	出炉温度/℃	均热时间/min	精轧开轧温度/℃	终轧温度/℃	冷却方式	卷取温度/℃
230	1 180 ± 20	30 ~ 60	≤960	820 ± 15	前段冷却	420 ± 20

2　热轧卷板组织与性能

2.1　显微组织

对试验开发的热轧卷板的金相组织进行观察分析，其组织为粒状贝氏体，如图 1(a) 所示，晶粒度按 GB/T 10561—2005 标准评级[图] 为 13 级。为保证热轧卷板具有优良的强韧性、良好的冷弯性能和焊接性能，工业化生产时采取深度脱硫、软吹以及钙处理等一系列措施，可保证钢质纯净，有害元素 P、S 等的含量实现极低控制。经过变质处理的夹杂物上浮并去除，长条形夹杂物基本消除，仅有极少量的球形夹杂物，该球形夹杂物危害性较小，如图 1(b) 所示，按 GB/T 10561 标准进行评级，为 D_s 类(单颗粒球状类) 1.0 级。



(a) 金相组织　　(b) 夹杂物

图 1　金相组织和夹杂物

2.2　力学性能

对试验生产的热轧卷板在 WAW - 600C 拉伸试验机进行力学性能检测(横向取样) ，表 3 列出了力学性能范围，屈服强度 596 ~ 663 MPa，抗拉强度 702 ~ 720 MPa，延伸率 33% ~ 37%，- 20 ℃纵向全尺寸冲击功 391 ~ 420 J，180°弯曲试验(横向取样) 要求 $d = 2.0\ T$(d 为弯心直径，T 为试样厚度) ，经检测试样弯曲处无开裂现象，冷弯性能合格，冷弯试样照片如图 2 所示。热轧卷板强韧性匹配良好，力学性能满足用户技术协议要求。

表 3　热轧卷板力学性能

项目	$R_{t0.5}$/MPa	R_m/MPa	A_{50}/%	- 20 ℃ 纵向全尺寸冲击 KV_2/J	180 ℃ 冷弯试验($d = 2.0\ T$)
热轧卷板	596 ~ 663	702 ~ 720	33 ~ 37	391 ~ 420	合格
协议要求	≥550	≥650	≥25	≥100	拉伸面不得出现任何裂纹、裂缝和断裂



图 2　冷弯照片

3　热轧卷板用户试用

热轧卷板经小批量试制后发往用户，经开卷、分条、卷管、直缝焊接、热处理等工序制管，用户检测制管后管体力学性能见表 4。包钢试验开发的高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板母材、制管后管体及焊缝处质量满足用户要求，得到用户的好评，截至目前已累计供货近千吨。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 管体力学性能

项目	$R_{t0.5}$/MPa	R_m/MPa	A_{50}/%	-20 ℃ 纵向全尺寸冲击 KV_2/J	180 ℃ 冷弯试验($d=2.0\ T$)
热轧卷板	574~645	691~790	34~38	161~304	合格
协议要求	≥550	≥650	≥25	≥100	拉伸面不得出现任何裂纹、裂缝和断裂

4 结束语

采用低碳+铌钛微合金化成分设计及控轧控冷工艺在包钢2 250 mm热轧生产线成功开发出高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板,其化学成分和轧制工艺设计合理,强韧性匹配良好,具有良好的低温冲击性能及焊接性能,能够满足客户高强度旋挖钻机钻杆的生产,已累计供货近千吨,实现了包钢高强度旋挖钻机钻杆用热轧卷板产品的批量生产和供货。

参 考 文 献

[1] 黎剑峰,王利树. 直缝焊管在钢结构中的应用前景[J]. 冶金丛刊,2011,(6):46-50.

[2] 赵培林,路峰,王建景. 700 MPa级超高强度汽车大梁用钢研究与开发[J]. 轧钢,2011,28(2):12-16.

[3] 卢军辉,王晓春,张慧,等. Nb-Ti微合金化610 MPa级汽车大梁钢板工艺研究[J]. 炼钢,2011,27(4):61-64.

[4] GB/T 10561—2005,钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法[S].

(上接第7页)

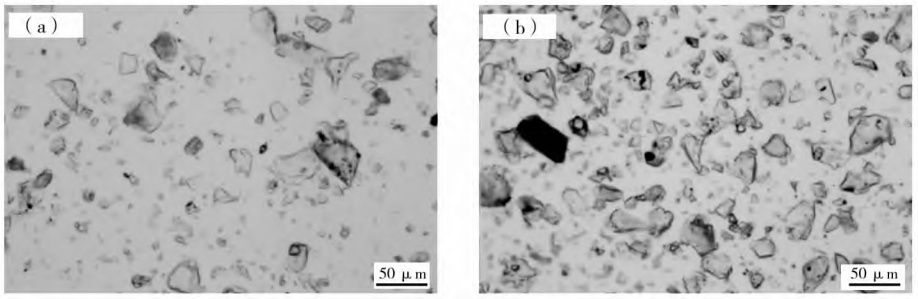


图2 萤石强磁精矿显微组织

3 结论

(1) 中贫矿矿石类型复杂,属于难选矿石,堆放时间较长,氧化程度较深,矿石经过长期风化、水浸及氧化,物理化学性质发生了较大变化,易碎易磨易泥化,整个试验过程中,磨矿粒度细,选矿难度大,且生产时会对水系统造成严重影响。

(2) 中贫矿选铁,可以获得铁品位64.22%的铁精矿,回收率77.69%。

(3) 中贫矿选稀土,可获得稀土品位55.85%的稀土精矿,回收率60.08%。

(4) 中贫矿选萤石,可获得萤石品位91.7%的萤石精矿,回收率29.67%。

参 考 文 献

[1] 谭程鹏,冯其明,欧乐明. 金平白马寨镍矿中贫矿强化浮选研究与实践[J]. 有色金属(选矿部分),2011,(3):16-19.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net