高强焊管用薄规格热轧卷板试验开发*

白海瑞[1],刘智光[2],刘 野[3],张秀飞[3]

(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. 包头钢铁(集团)有限责任公司纪委,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢金属制造有限责任公司,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3~6 mm厚高强焊管用热轧卷板,该钢屈服强度≥670 MPa,抗拉强度≥750 MPa,断后伸长率≥19%,强韧性匹配良好,具有良好的冷弯性能和焊接性能,能够满足客户高强焊管的生产。实现了包钢高强焊管用薄规格热轧卷板产品的批量生产和供货。

关键词: 高强焊管; 热轧卷板; 薄规格; 力学性能
中图分类号: TG335.11 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0053-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.016

Pilot Development of Thin Gauge Hot Rolled Coil Plate for High Strength Welded Pipe

Bai Hai-rui[1], *Liu Zhi-guang*[2], *Liu Ye*[3], *Zhang Xiu-fei*[3]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Discipline Inspection Commission of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The hot rolled coil plate with thickness of 3~6 mm for high strength welded pipe is successfully developed with the composition design of low carbon and microalloying of niobium and titanium as well as controlled rolling and controlled cooling process with 2 250 mm hot rolling production line of Baotou Steel. Its yield strength is greater than 670 MPa, tensile strength is greater than 750 MPa and percentage elongation after fracture is greater than 19% so that the matching of strength and toughness is good as well as it is with good cold bending and welding performances, which could satisfy the manufacture of high strength welded pipe for customers. As a result, the batch production and supply of thin gauge hot rolled coil plate product for high strength welded pipe of Baotou Steel are realized.

Key words: high strength welded pipe; hot rolled coil plate; thin gauge; mechanical properties

* **收稿日期:** 2020-10-19
作者简介: 白海瑞(1986-),男,内蒙古土默特左旗人,硕士,工程师,现从事板带材产品研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

随着国家基础建设的推进，装备制造业产业振兴和技术进步的快速发展，大型工程机械设备下游产业链高端原材料国产化，以实现降本增效、产品升级换代、替代进口。高强度等级钢管的应用，目的是为了减薄钢结构断面尺寸、降低设备自重、节省建造投入成本，这对高强韧钢管的需求更加迫切。目前高强韧钢管被广泛应用于工作环境恶劣、要求高强度和耐疲劳性好的工程、建筑、港口等机械产品上，如旋挖钻机、装载机、挖掘机、自卸车的油压缸、吊臂结构件等。近年来，国内各无缝管生产企业均在开发高级别的无缝钢管，这对无缝钢管生产机组提出巨大的挑战。国内已有装备制造企业开始尝试采用热轧卷板直缝焊管替代无缝管生产高强焊管，直缝焊管相对于无缝焊管具有明显的自身优势，如尺寸精度高、管径规格全、生产效率高、生产成本低等特点[1]。高强韧直缝焊管用热轧卷板开发迫在眉睫，具有良好的市场前景。本文将以低碳、铌钛微合金化的成分设计并结合包钢2 250 mm产线特点，成功开发出3～6 mm厚高强焊管用热轧卷板。

1 化学成分和生产工艺

高强焊管用热轧卷板的高强度、高韧性、良好的冷弯性能和焊接性能是通过低碳、铌钛微合金化成分设计以及控轧控冷工艺来实现，其生产工艺流程为：铁水预处理→转炉冶炼→LF精炼→RH精炼→板坯连铸→加热炉→粗轧→精轧→层流冷却→卷取→取样、检验→包装→入库。

1.1 化学成分

碳是最基本的化学元素，对于卷板的强度起决定性作用，但碳含量不易过高，为了获得良好的焊接性能，碳的质量分数控制在0.10%以下[2]；硅元素可以起到固溶强化的效果，但硅元素含量过高易导致钢板表面质量恶化，一般控制在0.10%～0.20%之间；锰元素可扩大奥氏体相区，降低过冷奥氏体相的转变温度，有利于相变组织的细化，同时锰元素是有效固溶强化元素，但锰元素含量过高会使钢板芯部形成带状组织，恶化钢材的性能，钢板的w[Mn]控制在≤1.80%；铌是一种较强的细化晶粒元素，适量的铌加入既能提高产品的强度，又能保证产品的韧性，同时适量的铌元素可以推迟奥氏体再结晶，提高再结晶温度，减小轧机负荷，节约能源[3]，w[Nb]控制在≤0.06%；钛是一种相对铌较为廉价的合金元素，主要起固溶强化和析出强化，同时在焊接过程中抑制晶粒粗大，改善焊接性能，w[Ti]控制在≤0.09%；对于用于制造高强焊管的热轧钢板来讲，控制钢水的洁净度十分重要，S、P含量必须严格控制，改善钢材的冷弯性能和低温冲击性能。表1列出了热轧卷板的化学成分。

表1 热轧卷板化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Al_t	Nb	Ti
≤0.10	0.10～0.20	≤1.80	≤0.017	≤0.005	0.020～0.050	≤0.06	≤0.09

1.2 热轧轧制工艺

热轧采用包钢2 250 mm热轧生产线进行生产，2 250 mm机组具有钢板温度、板形、尺寸等自动控制系统。热轧工艺采用了控轧控冷的热机械处理技术，其中包括板坯加热温度的控制、形变奥氏体再结晶区粗轧阶段的道次压下和道次分配、形变奥氏体非再结晶区精轧阶段道次压下和道次分配、层流冷却的控制和卷板卷取温度的控制。通过合理的成分设计、轧制工艺及冷却工艺进行最终产品的组织和性能控制。

根据高强焊管用热轧卷板的性能要求，结合生产线的设备能力和生产条件，主要加热轧制冷却工艺见表2。终轧温度和卷取温度是热轧带钢控制轧制和控制冷却的主要参数，精轧终轧温度范围为855～885 ℃，层冷模式为前段冷却，卷取温度范围为595～625 ℃，工艺实现稳定，对批量生产具有重大的指导意义。

表2 主要加热轧制冷却工艺

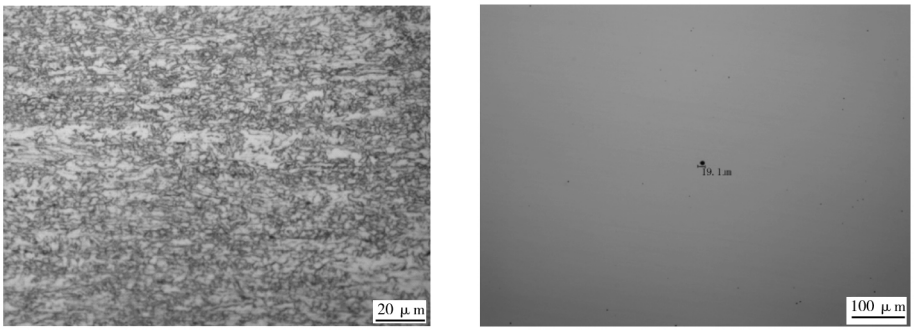
板坯厚度/mm	出炉温度/℃	均热时间/min	在炉时间/min	终轧温度/℃	冷却方式	卷取温度/℃
230	1 250	30～60	180～240	870±15	前段冷却	610±15

中国知网 https://www.cnki.net

2　热轧卷板组织与性能

2.1　显微组织

对热轧卷板的显微组织进行观察，如图 1(a) 所示，其组织为铁素体 + 少量珠光体 + 析出物，晶粒度按 GB/T 10561—2005 标准评级[4]，晶粒度为 12 ~ 13 级。为了保证优良的强韧性匹配，好的焊接性能和冷弯性能，热轧卷板的冶炼都进行深脱硫、软吹、钙处理等措施，钢质纯净，磷、硫等有害元素的含量控制极低。夹杂物经过变质处理并充分上浮，钢内基本消除了长条形夹杂，仅含有少量危害性较小的球形夹杂物，夹杂物照片见图 1(b) ，钢中非金属夹杂物按GB/T 1056—2005标准评级，夹杂物为 Ds 类(单颗粒球状类) 1.0 级。



(a) 金相组织　　(b) 夹杂物

图 1　显微组织和夹杂物

2.2　力学性能

对所生产的热轧卷板(厚度规格为 3 ~ 5 mm) 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 685 ~ 703 MPa，抗拉强度 761 ~ 770 MPa，延伸率 23.5% ~ 27.5%。180° 弯曲试验(横向取样) 要求 $d = 1.5\ T$(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，力学性能满足用户协议要求。

表 3　热轧卷板力学性能控制水平

指标	$R_{t0.5}$/MPa	R_m/MPa	A/%	180 ℃冷弯试验 ($d = 1.5\ T$)
热轧板	685 ~ 703	768 ~ 785	23.5 ~ 27.5	合格
协议要求	≥670	≥750	≥19	拉伸面不得出现任何裂纹、裂缝和断裂

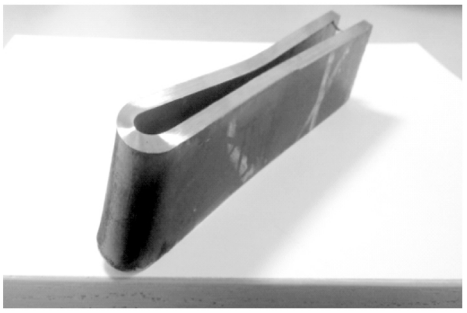


图 2　冷弯照片

3　热轧卷板用户试用

热轧卷板经小批量试制后已发往用户，经开卷、分条、卷管、直缝焊接、热处理等工序制管，图 3 为某著名重工企业应用热轧卷板直缝焊接生产的高强焊管。检测显示热轧卷板母材、制管后管体及焊缝处质量满足用户要求，得到用户的好评。

中国知网　https://www.cnki.net



图3 热轧卷板制备的高强焊管

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焊管用薄规格热轧卷板，其化学成分和轧制工艺设计合理，强韧性匹配良好，具有良好的冷弯性能及焊接性能，能够满足客户高强焊管的生产，已累计供货1 000余t。

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，等. 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25页)

参 考 文 献

[1] Nobuyuki Oyama. 烧结工艺使用气体燃料喷入技术减少CO_2排放[J]. 世界钢铁，2013，(1)：16－22.

[2] 周文涛，胡俊鸽，郭艳玲. 日韩烧结技术最新进展及工业化应用前景分析[J]. 烧结球团，2013，38(3)：5－15.

[3] 韩秀丽，吕水，杨光. 不同碱度司家营烧结矿矿相结构特征及其对冶金性能的影响[J]. 河北理工大学学报(自然科学版)，2011，33(1)：22－26.

[4] 郭兴敏，朱利，李强. 高碱度烧结矿的矿物组成与矿相结构特征[J]. 钢铁，2007，42(1)：17－19.

中国知网 https://www.cnki.net