X80管线钢埋弧焊丝用盘条的研制*

高 丹[1],胡 波[1],赵晓敏[2],黄伟桐[3]

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

摘 要: 以包钢X80管线钢成分、组织、性能为研究基础,结合制管过程使用的焊接工艺和焊缝组织、性能特点,自主研发设计了一种高强、高韧的X80管线钢埋弧焊丝用BGX80盘条,并利用CCT曲线、拉伸试验以及金相检验等手段分析研究了其组织和力学性能变化规律。结果表明,包钢摩根生产线采用X80管线钢埋弧焊丝用钢盘条控制轧制技术与延迟缓冷技术,保证了盘条的强度和韧性。

关键词: X80管线钢; 埋弧焊丝; 合金成分设计; 盘条
中图分类号: TG356.45 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)02-0066-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.02.017

Development of Wire Rod for Submerged Arc Welding Wire of X80 Pipeline Steel

Gao Dan[1], *Hu Bo*[1], *Zhao Xiao-min*[2], *Huang Wei-tong*[3]

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

Abstract: The high strength and toughness BGX80 wire rod for submerged arc welding wire of X80 pipeline steel is independently researched, developed and designed by taking the composition, microstructure and performances of X80 pipeline steel of Baotou Steel as research basis combining with welding technology, weld structure and performance characteristics in the process of manufacturing pipe. Moreover, the change rules of its microstructure and mechanical properties are analyzed and studied by such means as CCT curve, tensile test and metallographic inspection. The results showed that the use of controlled rolling and delayed slow cooling technologies for steel wire rod for submerged arc welding wire of X80 pipeline steel in Morgan production line of Baotou Steel ensured the strength and toughness of wire rod.

Key words: X80 pipeline steel; submerged arc welding wire; alloy composition design; wire rod

管线运输作为石油、天然气最经济、最安全、不间断的长距离输送方式,近年来得到了巨大的发展,X80管线钢也成为中国大输量、高压力输气管道的首选钢级。在管线项目建设中,钢管的成本约占总投资的

* **收稿日期:** 2021-01-13
作者简介: 高 丹(1984-),女,黑龙江省五常市人,工程师,现从事线棒材新产品研发工作。

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

40% 左右，而同一条管线用 X80 级钢管替代 X70 钢管，管材建设费用可以节省 8% ~12%，具有可观的经济效益[1]。X80 级管线钢是石油天然气输送管线工程实际应用系列中钢级最高的钢种，为了确保 X80 钢管道建设质量，保障管道长期安全可靠运行，应当深入研究焊接材料、焊接方法、焊接匹配等。

X80 级管线钢具有高强度、高韧性特点，与其配套的焊接材料要求在提高强度的同时必须有较好的低温韧性。研发与 X80 高钢级管线钢等强匹配的埋弧焊丝，推动 X80 级管线钢管的工程应用，具有重要的意义[2]。

1　埋弧焊丝用盘条合金成分设计

X80 级管线钢为超低碳微合金钢[3]。在研究分析 X80 管线钢组织、性能、成分的基础上，结合制管过程使用的焊接工艺和焊缝组织、性能特点，利用合金元素的强韧化机理，研究设计 X80 管线钢埋弧焊丝的化学成分。焊丝成分设计的目标是得到以针状铁素体为主的焊缝组织，确保焊缝金属获得优良的强韧性匹配。根据合金元素强韧化机理以及在焊缝金属中的作用，从焊缝金属强度、韧性、与 X80 管线钢匹配性以及焊丝成本等多方面综合考虑，选择 C、Si、Mn 作为焊丝成分的基本强化元素，Mo、Ni 作为焊丝的合金化元素，确保焊缝金属的强韧性，加入 Ti、B 等微合金元素提高针状铁素体比例，最终选用 Mn - Mo - Ti - B 合金系作为盘条成分的合金系。钢种牌号为 BGX80，其化学成分见表 1。

表 1　BGX80 盘条化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Mo	Ti	B
0.02 ~0.10	0.10 ~0.45	1.40 ~1.90	≤0.015	≤0.010	0.30 ~0.50	0.03 ~0.10	微量

2　埋弧焊丝用盘条试制材料与方法

2.1　X80 管线钢埋弧焊丝用盘条试制工艺路线

铁水预处理→转炉冶炼→LF 炉精炼→VD 炉脱气→6#铸机(150 mm × 150 mm 方坯)结晶器电磁搅拌、凝固末端电磁搅拌、全保护浇注→高线控制轧制及控制冷却→斯太尔摩辊道缓冷→成品包装和检验。

2.2　炼钢试制工艺

在 LF 冶炼过程中选择适当氩气流量，避免钢水和钢渣被二次氧化，保证转炉供精炼钢水的稳定性，以提高 X80 钢质纯净度。优化过脱氧制度，提高钢中残余元素含量控制水平，合理控制上钢温度，保证铸机浇注的过热度，解决连浇过程中中间包的水口堵塞问题，实现 X80 钢的稳态浇注。同时，采用转炉冶炼双渣操作、连铸全保护浇注等技术，加强各工艺的稳定操作，实现冶炼过程稳产、优产。

2.3　轧钢试制工艺

2.3.1　加热及开轧温度控制

由于 BGX80 合金含量相对较高，为了提高成分的均匀性，需要坯料在炉加热 2 h 以上。BGX80 盘条是拉拔完以后制成焊丝，为了保证其拉拔性能，需要控制奥氏体晶粒度，因此开轧温度不能过高。

2.3.2　精轧入口及吐丝温度控制

高速线材精轧机轧制是升温过程，如果精轧机出口温度过高，会导致轧材内部组织晶粒粗大，不利于成品的组织及性能。BGX80 中含有 Mn、Mo、Ti 等合金元素，所以，吐丝温度应当尽量低一些，最好可以使盘条直接冷却到相变前温度，充分应用保温罩的缓冷能力，以得到尽量多的铁素体和珠光体组织。

斯太尔摩辊道是盘条完成相变的主要区域，需采用延迟型控冷工艺，主要的措施有：降低辊道速度、盖保温罩、封堵辊道缝隙和风机进风口等，以保证盘条的理想组织及通条性能稳定。

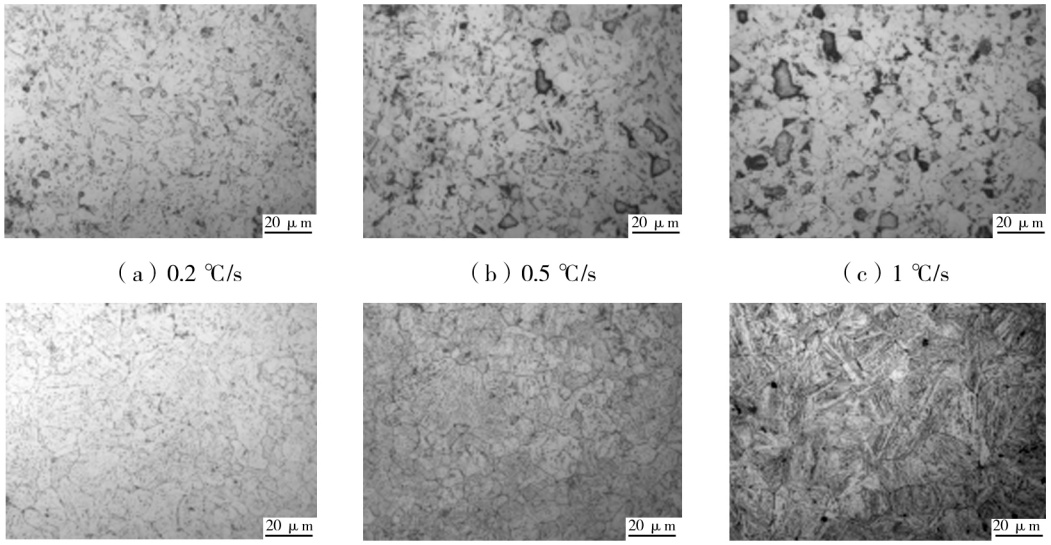
3　试验结果与分析

3.1　BGX80 连续转变曲线测定

采用 Formastor - F II 全自动相变仪测定了该钢种的静态 CCT 曲线，将试样以 10 ℃/s 的加热速度加热到 950 ℃，保温 10 min，然后分别以 0.2 ℃/s、0.5 ℃/s、1 ℃/s、5 ℃/s、10 ℃/s、30 ℃/s、45 ℃/s、77 ℃/s、116 ℃/s 冷速连续冷却至室温，根据温度—膨胀量曲线测定不同冷速下的相变点，绘制 CCT 曲线。由 CCT 曲线得出：A_{C1} 温度为 631 ℃，A_{C3} 温度为 877 ℃，贝氏体转变的开始温度在 595 ℃左右，终了温度在 280 ℃左右。不同冷却速度得到的显微组织见图 1，试验结果表明，BGX80 钢发生两种不同类型的组织转变，冷却速度慢时(冷却速度 ≤1 ℃/s)得到铁素体 + 珠光体 + 贝氏体组织，冷却

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

速度快(冷却速度>1 ℃/s)时得到贝氏体组织,没有马氏体组织。



(a) 0.2 ℃/s (b) 0.5 ℃/s (c) 1 ℃/s

(d) 5 ℃/s (e) 10 ℃/s (f) 30 ℃/s

图1 BGX80钢不同冷却速度所对应的金相组织

获得这种特征转变曲线是由其化学成分决定的,BGX80钢含有Mn、Mo、Ti、B,微量的硼可以明显抑制钢中铁素体在奥氏体晶界上的形核,使"C"曲线右移,从而改变其基本形状;钼元素能有效地使珠光体转变曲线右移,钼硼复合作用使过冷奥氏体向铁素体的等温转变曲线进一步右移,使贝氏体转变开始线明显突出。

为尽可能减少贝氏体组织的出现,轧制应采用缓慢冷却相变控制工艺。

根据该钢种特点及以往生产经验,将BGX80的开轧温度确定为980~1 020 ℃。所以,精轧入口温度设定为870~880 ℃,最终确定吐丝温度为800~810 ℃。

3.2 力学性能检验

用户一般要求X80焊丝用盘条力学性能不大于780 MPa,必须保证盘条通条性能稳定。在BGX80同一批次不同盘卷上取拉伸试样进行力学性能检验,结果见表2。数据显示,现行工艺条件下,盘条性能稳定,通条强度差值控制在50 MPa以下,通条性能差值小,有利于盘条后序拉拔制丝,满足了用户深加工需求。

3.3 金相组织检验

为了保证拉拔性能,用户要求X80焊丝用盘条晶粒细小、组织均匀,晶粒度一般要控制在9级以上。从图2中可以看出,BGX80盘条金相组织由铁素体+珠光体+少量贝氏体组成,晶粒度10.5级。盘条中少量的贝氏体组织不影响后序拉拔工艺。

表2 BGX80力学性能检验结果

序号	抗拉强度/MPa	延伸率/%	面缩率/%
1	750	21.5	70
2	733	20.0	68
3	732	19.0	65
4	765	21.5	67
5	740	20.0	66
6	772	21.0	68
最小	732	19.0	65
最大	772	21.5	70
差值	40		

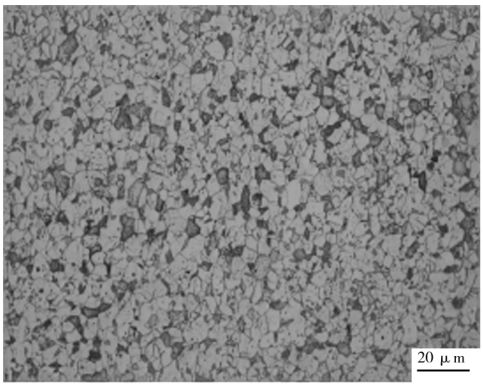


图2 BGX80盘条金相照片

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

3.4　使用效果

根据 GB/T 12470—2018《埋弧焊焊丝－焊剂组合分类要求》[4] 中熔敷金属性能、Q/SY GJX 0102—2018《螺旋缝埋弧焊管技术条件》[5] 中 X80 钢管焊接接头性能的要求，熔敷金属屈服强度≥540 MPa，抗拉强度≥620 MPa，伸长率≥17%，－40 ℃条件下，熔敷金属冲击吸收功平均值不小于 27 J。BGX80 制丝后，配合宝鸡 BG－S101H1 焊剂，进行熔敷金属检验，熔敷金属力学性能见表 3。

表 3　BGX80 熔敷金属力学性能

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	－40 ℃冲击吸收功/J			
			试样 1	试样 2	试样 3	平均值
600	660	25.6	51	45	43	46.3

从检验结果可以看出，BGX80 熔敷金属力学性能满足 X80 管线钢标准要求。

4　结论

(1) 包钢生产的 BGX80，成分设计合理，满足盘条力学性能指标要求。

(2) 炼钢、轧钢工艺路线设计合理，轧钢控轧控冷工艺参数设定正确，盘条金相组织理想，性能稳定，通条抗拉强度差小于 50 MPa。

(3) BGX80 配合宝鸡 BG－S101H1 焊剂进行熔敷金属检验，熔敷金属力学性能满足 X80 管线钢标准要求。

参　考　文　献

[1] 张振永. 中俄东线 X80 钢级 Φ1 422 mm 管道工程设计关键技术应用[J]. 焊管，2019，42(7)：64－71.

[2] 毕宗岳. 新一代大输量油气管材制造关键技术研究进展[J]. 焊管，2019，42(7)：10－25.

[3] 王晓香. 2016—2017 年以来我国焊管产业的运行情况及技术进步[J]. 焊管，2018，41(6)：1－6.

[4] GB/T 12470—2018. 埋弧焊焊丝一焊剂组合分类要求[S].

[5] Q/SY GJX 0102—2018. 螺旋缝埋弧焊管技术条件[S].

(上接第 28 页)

(2) 3# 高炉在中修开炉后，注重了煤气流分布各阶段的调整和控制，其中鼓风动能下降 17.6～22.5 kJ/s，保证了初始煤气流分布的合理，避免了中心过吹。

(3) 3# 高炉在 2018 年原燃料质量相对稳定时期，3 个区域矿焦比取值区间如下：中心区域矿焦比在 1.2～3.5 t/t 之间，中心环带矿焦比在 3.4～5.1 t/t之间，边缘环带矿焦比在 3.4～4.0 t/t 之间，且在该条件下，3# 高炉取得了较为理想的经济指标。

参　考　文　献

[1] 冯广斌，曹锋，袁苗苗，等. 长钢 9 号高炉煤气流分布的合理控制[J]. 炼铁，2013，32(4)：43－44.

[2] 那树人. 炼铁计算辨析[M]. 北京：冶金工业出版社，2009.

[3] 朱仁良. 宝钢大型高炉操作与管理[M]. 北京：冶金工业出版社，2015.

[4] 姜喆，车玉满，郭天永，等. 鞍钢 2 号高炉合理鼓风动能的探讨[J]. 炼铁，2017，36(2)：14－15.

[5] 成兰伯. 高炉炼铁工艺及计算[M]. 北京：冶金工业出版社，1991.

[6] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京：冶金工业出版社，2002.

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