Nb含量及成品厚度对X65M管线钢性能的影响

李 钊[1],刘 芳[2],赵 进[2],宿 成[1],杨紫越[1],赵莉萍[3]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司化检验中心,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古科技大学材料与冶金学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以包钢生产X65M管线钢为研究对象,讨论了不同Nb含量、成品厚度与取样方向对X65M管线钢卷板力学性能的影响,数据分析得出,化学元素Nb能够有效细化X65M管线钢卷板晶粒,相同热轧工艺下,成品厚度越薄X65M管线钢卷板低温韧性越好,横向取样机械性能明显高于30°方向取样机械性能。这将为包钢的实际生产和产品验收提供可靠的理论依据。

关键词: X65M; 管线钢; Nb; 低温韧性

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)03-0058-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.03.015

Effect of Content of Nb and Finished Product Thickness on Performances of X65M Pipeline Steel

Li Zhao[1], *Liu Fang*[2], *Zhao Jin*[2], *Su Cheng*[1], *Yang Zi-yue*[1], *Zhao Li-ping*[3]

(1. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Chemical Inspection Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The article takes X65M pipeline steel produced by Baotou Steel as the research object and discusses the effect of different contents of Nb, finished product thicknesses and sampling directions on the mechanical properties of X65M pipeline steel coiled plate. The data analysis showed that the chemical element Nb could effectively refine the grain of X65M pipeline steel coiled plate. With the same hot rolling process, the thinner the finished product was, the better the low temperature toughness of X65M pipeline steel coiled plate was, the mechanical performances of lateral sampling was significantly better than those of sampling with 30° direction, which will provide a reliable theoretical basis for the actual production and product acceptance of Baotou Steel.

Key words: X65M; pipeline steel; Nb; low-temperature toughness

石油与天然气是现代社会进步极为重要的基础,随着世界各地能源的不断开发与利用,石油、天然气的开采、输送与储存越来越受到人们的重视。管线钢是专门用于制造天然气管道与石油管道的金

收稿日期: 2017-10-12

作者简介: 李 钊(1986-),男,山西省大同市人,硕士,工程师,现从事新产品研发推广工作。

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

属材料，其力学性能是影响实际应用的一个重要因素[1]。本文以 X65M 管线钢为例，对包钢 2250 热轧产线工艺流程进行了阐述，通过不同的成分设计和产品厚度，讨论了对 X65M 管线钢卷板金相组织、力学性能等方面的影响，为 X65M 管线钢卷板的大批量生产提供了理论分析和技术支持。

1　生产工艺流程

高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF 炉外精炼→RH 真空处理→板坯连铸→缓冷→板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→E1R1 粗轧机轧制→E2R2 粗轧机轧制→飞剪→高压水除鳞→F1—F7 精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→托盘运输系统→入库→取样、检验→称重、包装。

1.1　炼钢工艺

1.1.1　化学成分

表 1 为某工程用 X65M 管线钢的化学成分。

表 1　X65M 管线钢化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V	Nb	Ti
≤0.120	≤0.25	≤1.50	≤0.030	≤0.015	≤0.25	0.30～0.50	≤0.20	≤0.080	≤0.050	≤0.040

1.1.2　冶炼要求

(1) 冶炼用铁水需经 KR 脱硫处理，要求入转炉铁水 w[S] ≤50×10^{-6}。

(2) 转炉终点出钢温度不低于 1 620 ℃，保证成分与温度协调出钢。

(3) LF 精炼就位温度不低于 1 560 ℃，LF 炉精炼造渣脱氧、脱硫，加入硅铁、锰铁、铌铁等进行合金化。

(4) RH 真空处理期间进行测温、取样和加入钛铁微调成分。RH 真空处理结束后，调整氩气流量使钢水处于软吹状态，喂入硅钙线进行钙处理，喂线后保证软吹时间大于 10 min，控制合理的氩气流量，防止钢液裸露。

1.1.3　连铸工艺

表 2 为 X65M 管线钢连铸工艺参数。铸机采用恒拉速控制，拉速为 1.0～1.5 m/min。铸坯低倍组织检验执行 YB/T 4003—2016[2]，连铸坯偏析不得大于 B 类 1.0 级，中心疏松不得大于 1.5 级。

表 2　X65M 管线钢连铸工艺参数

铸坯厚度/mm	过热度/℃	
	第 1 炉	其它
230	25～40	15～30

1.2　热轧工艺

表 3 为 X65M 管线钢热轧工艺参数。为保证合金元素的充分固溶，要求热轧加热炉预热段、加热段以及均热段时间之和不小于 150 min。热轧粗轧模式依据实际选择“3＋3”或“1＋5”模式，粗轧单道次压下率均不小于 10%。

表 3　X65M 管线钢热轧工艺参数

粗轧中间坯厚度/mm	卷取温度/℃	层冷模式
53	480	前集中

2　结果与分析

2.1　不同 Nb 含量对晶粒度的影响

图 1 为 X65M 管线钢卷板的金相组织：多边形铁素体(F)＋珠光体(P)＋针状铁素体。

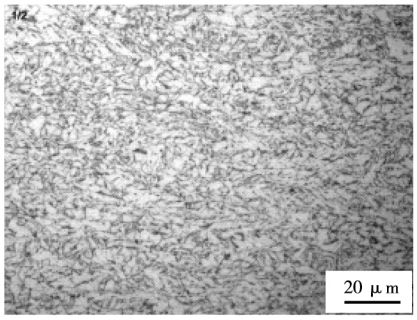
对比图 1 X65M 管线钢卷板 1/2 处与 1/4 处金相组织，由于卷板边部冷速快，心部冷速慢，所以 1/4 处金相组织较 1/2 处金相组织更加细小且针状铁素体含量多，多边形铁素体含量少。

由图 1(a)与(c)可知，成品厚度相同，w[Nb]含量 0.024% 的试样晶粒度为 12 级，w[Nb]含量 0.034% 的试样晶粒度为 13 级。这是由于固溶于高温奥氏体中的 Nb 元素，在轧制过程中形成 Nb(C、N)析出相，高温下抑制奥氏体再结晶，增加未再结晶区奥氏体的晶格畸变能，提高相变驱动力；大变形量下的奥氏体中存在大密度的位错和亚晶界，这都有利于铁素体晶粒的形核与长大，从而细化晶粒；与此同时，Nb 元素在奥氏体中的固溶度大于其在铁素体中的固溶度，因此在奥氏体向铁素体发生相变的过程中，Nb(C、N)晶粒在相间的形核与长大将导致周围形成贫碳区域，进而有利于铁素体转变[1,3]。

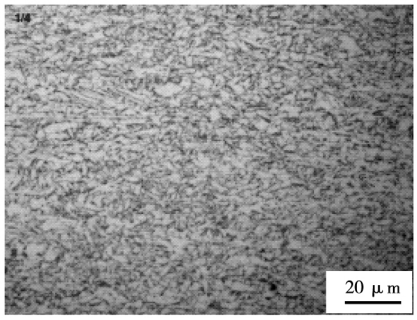
由图 1(c)与(e)可知，Nb 含量相同，成品厚度 12.7 mm 的试样晶粒度为 13 级，成品厚度

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

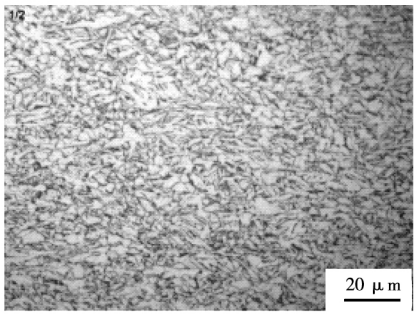
14.29 mm的试样晶粒度为11.5级。这是由于采用相同连铸坯厚度(230 mm)轧制成品厚度越薄,累积变形量越大,奥氏体单位体积的晶界面积和变形带面积越大,铁素体的有利形核地点越多,越有利于细化晶粒。



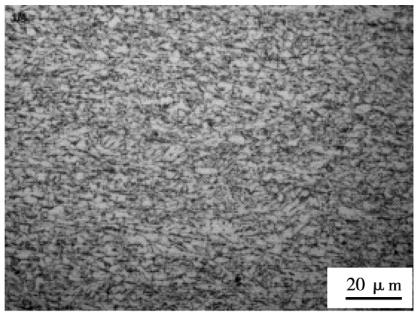
(a) w[Nb]=0.024%(1/2处,成品厚度12.7 mm)



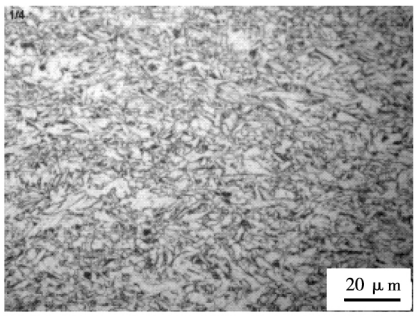
(b) w[Nb]=0.024%(1/4处,成品厚度12.7 mm)



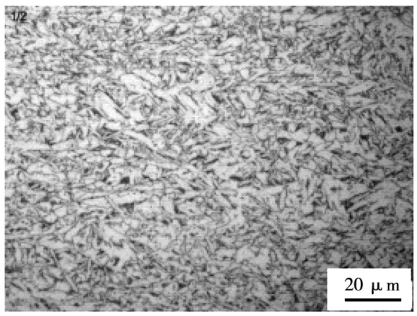
(c) w[Nb]=0.034%(1/2处,成品厚度12.7 mm)



(d) w[Nb]=0.034%(1/4处,成品厚度12.7 mm)



(e) w[Nb]=0.034%(1/2处,成品厚度14.29 mm)



(f) w[Nb]=0.034%(1/4处,成品厚度14.29 mm)

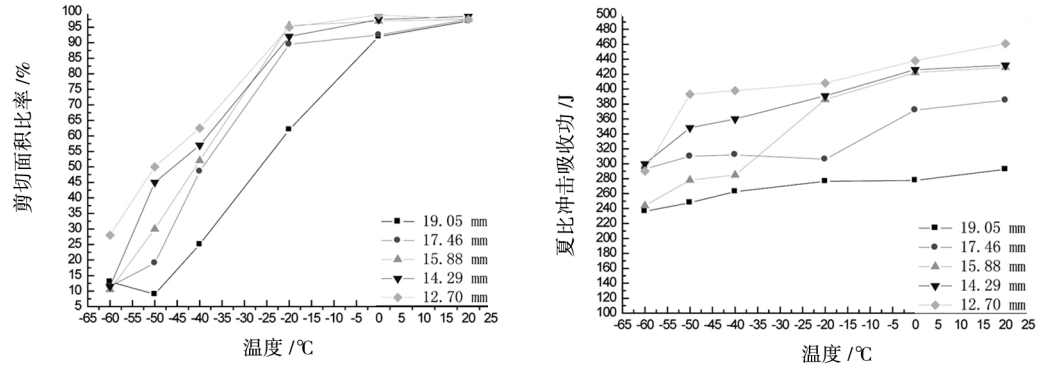
图1 X65M热轧钢带金相组织

2.2 成品厚度对低温韧性的影响

图2(a)为相同铸坯轧制成不同厚度规格X65M管线钢卷板系列温度落锤撕裂试验结果。随着成品厚度的增加,落锤撕裂试验韧性断面剪切面积比率下降,12.70~17.46 mm厚度规格X65M管线钢卷板韧脆转变温度低于-20 ℃满足标准要求(标准要求:韧性断面剪切面积比率不低于85%),而19.05 mm厚度规格X65M管线钢卷板韧脆转变温度仅低于0 ℃。图2(b)为相同铸坯轧制成不同厚度规格X65M管线钢卷板系列温度夏比冲击试验结果。随着成品厚度的增加,夏比冲击吸收功下降,系列温度夏比冲击吸收功差值减小,系列温度曲线变化平缓。12.7 mm厚度规格X65M管线钢卷板20 ℃与-60 ℃夏比冲击吸收功相差171 J,而19.05 mm厚度规格X65M管线钢卷板20 ℃与-60 ℃夏比冲击吸收功相差56.5 J。20 ℃试验温度下,成品厚度12.7 mm X65M管线钢卷板夏比冲击吸收功461 J,成品厚度19.05 mm X65M管线钢卷

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

板夏比冲击吸收功292.7 J。由于轧制成品厚度越薄，累积变形量越大，能量起伏越大，越有利于再结晶晶粒的形核与长大。所以相同连铸板坯规格，成品厚度越小，低温韧性越好。在相同外力作用下，细小均匀晶粒内部和晶界附近的应变相差越小，变形越均匀，脆性断裂的机会越少，并且不易产生裂纹。

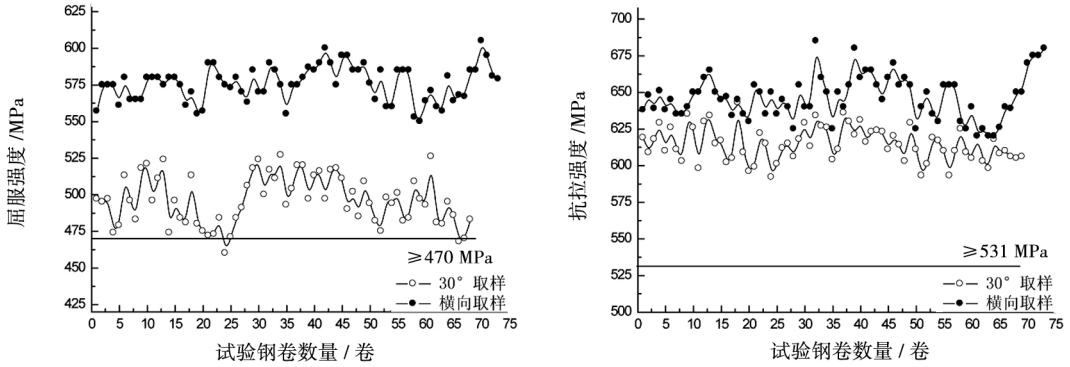


（a）系列落锤撕裂试验　　（b）系列夏比冲击试验

图 2　X65M 管线钢卷板系列温度韧脆转变试验

2.3　取样方向对力学性能的影响

图 3 是规格为 14.29 mm × 1 800 mm X65M 管线钢卷板不同取样方向的机械性能对比结果，其中 30°取样是指沿轧制方向 30°进行取样，横向取样是指垂直于轧制方向进行取样。由图 3(a) 可知，相同规格热轧卷板横向取样屈服强度值为 550 ~ 600 MPa，30° 方向取样屈服强度值为 475 ~ 520 MPa，横向取样检验结果超出 30°方向取样检验结果约70 MPa。由图 3(b) 可知，相同规格卷板横向取样抗拉强度为 630 ~ 660 MPa，30°方向取样抗拉强度为600 ~ 620 MPa，横向取样检验结果超出 30°方向取样检验结果约 30 MPa。



（a）屈服强度对比　　（b）抗拉强度对比

图 3　X65M 管线钢卷板机械性能对比

引起 X65M 管线钢卷板不同取样方向力学性能波动的原因主要有以下 4 个方面：

(1) 30°方向制取的拉伸试样存在微小不平面，拉伸过程中引伸计标距内的实际变形由两部分组成，一部分受拉展平面产生的附加变形，另一部分是真实的弹性、塑性变形[4]，而横向制取的拉伸试样基本不存在拉展平面的附加变形。

(2) 室温条件下，枝晶间的强度大于枝干的强度，横向力学性能受枝晶间的强度影响较大，30°方向力学性能相对横向而言受枝干的强度影响较大。然而，影响枝晶间强度的主要因素是显微疏松，在高温下，显微疏松易萌生显微裂纹，但在室温下，对合

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

金的性能影响较小[5-6]。

(3) 偏聚于横向晶界的溶质原子形成了柯氏气团。柯氏气团的形成,减小了晶格畸变,降低了溶质原子与位错的弹性交互作用能,使位错处于较稳定的状态,减少了可动位错数目,这就是柯氏气团对位错的束缚或钉扎作用。位错运动到晶界附近时被阻碍,于是位错就塞积在这个位置。若使位错线运动,脱离开气团的钉扎,需要更大的外力,从而增加了固溶体合金的塑性变形抗力。

(4) 热轧卷板微观组织具有一定的择优取向性,垂直于轧制方向的晶粒多为小晶粒,平行于轧制方向存在一定量的大晶粒。这种热轧卷板的织构造成力学性能呈现各向异性[7]。

3 结论

(1) Nb元素的添加能够显著细化X65M管线钢卷板的晶粒尺寸。相同铸坯、热轧工艺与冶炼成分,成品厚度越薄,金相组织越细小。

(2) 使用相同铸坯与轧制工艺生产不同厚度规格的X65M管线钢卷板,成品厚度越薄,低温韧性越好。

(3) 使用相同铸坯与轧制工艺生产同一规格的X65M管线钢卷板,横向检验卷板机械性能明显高于30°方向检验卷板机械性能。

参 考 文 献

[1] 杨超飞,吴庆辉,陈颖,等. Nb含量对高碳钢组织和性能的影响[J]. 材料热处理技术,2012,41(10):63-66.

[2] YB/T 4003—1997,连铸钢板坯低倍组织缺陷评级图[S].

[3] 李成良,刘春林,黄远坚. Nb对热轧盘条组织性能的影响[J]. 南方金属,2016,211(4):20-22.

[4] 张群芳,侯永亮,谷峰. 制样因素对X70管线钢规定总延伸强度Rt0.5的影响[J]. 理化检验-物理分册,2016,52(2):112-113.

[5] LIU L R, JIN T, ZHAO N R, et al. Formation of carbides and their effects on the stress rupture of a Ni-base single crystal superalloy[J]. Materials Science and Engineering, 2003, (A361): 191-197.

[6] 史振学,李嘉荣,刘世忠,等. DD6单晶高温合金横向拉伸性能及其断裂行为[J]. 航空材料学报,2009,2(2):101-104.

[7] 张福全,马永富,周惦武,等. Zr-Sn-Nb合金织构与力学性能[J]. 稀有金属材料与工程,2017,46(3):88-692.

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