

热轧工艺参数对 X80 管线钢成品组织的影响

Effect of Hot Rolling Process Parameters on Microstructure of X80 Pipeline Steel

供稿|高燕, 臧振东, 李岩杰, 刘志卫, 李杨 / GAO Yan, ZANG Zhendong, LI Yanjie, LIU Zhiwei, LI Yang

内容导读

通过使用 Gleeble3500 动态热模拟机, 针对 X80 管线钢设计的实验成分进行了不同精轧工艺参数和冷却参数的交叉模拟实验, 通过观察期成品的组织, 找到了相对理想的工艺参数, 从而为实际生产工艺确定提供理论依据。

管线钢是指用于输送石油、天然气等管道所用的一类具有特殊要求的钢种, 根据厚度和后续形成等方面的不同, 可由热连轧机组、中厚板轧机生产热板, 经螺旋焊接或直缝焊接形成大口径钢管。管线钢应用环境可分为高寒、高硫地区和海底铺设 3 类。这些工作环境恶劣的管线, 线路长, 又不易维护, 对质量要求都很严格。管线钢面临的诸多挑战包括: 油气田大部分在极地、冰原、荒漠、海洋地区, 自然条件较为恶劣, 或者为了提高运输效率, 管道的口径不断被扩大, 输送压力不断被提升。需要管线钢具有良好的力学性能(厚壁、高强度、高韧性、耐磨性), 还应具有大口径、可焊接性、耐严寒低温性、耐腐蚀性、抗海水和抗氢致开裂(HIC)、抗硫化物应力腐蚀(SSCC)性能等。随着这些需求的增加管线钢的级别由原来的 X46、X52、X60、X65 逐步发展到 X70、X80 甚至 X100、

X120 等更高级别^[1-4], 提高管线钢的强度级别既能提升管道系统的抗压能力, 进而增加运输量, 又能降低管道壁的厚度, 从而降低投入的建设成本, 该两点因素推动了高强管线钢的研发与产业化。高强度管线钢的设计一般采用较低的 C 含量, 提高钢材的塑性和可焊性能, 通过添加微量合金元素 Nb、V、Ti、Mo、B、Mn 元素等^[5], 改善钢的各种性能, 再通过控轧控冷工艺, 获得一定的硬化相, 比如贝氏体、甚至微量的马氏体, 并通过晶粒细化、微合金的沉淀强化等手段获得优良的强度和塑性综合性能。本文以 X80 管线钢为研究对象, 采用了低 C、微合金 Nb、V、Ti、Cr、Ni、Mo 的成分设计理念, 通过实验室模拟轧制过程和冷却过程对钢材组织的影响规律, 匹配了多种热轧的工艺控制方案, 从而获得不同的金相组织, 为工业生产制定合理的控制轧制工艺提供制定依据。

实验材料和方法

应用多功能真空感应炉进行冶炼，获得如表 1 所列成分的 X80 管线钢钢锭，然后对钢锭进行机加工，获得热模拟需要的试样块，机加工采用带锯和线切割方式，最终获得的试样尺寸为 10 mm×15 mm×20 mm 的立方体，备用。

实验方案：实验在 Gleeble3500 动态热模拟机上进行，模拟加热炉加热，粗轧过程、精轧过程等轧制过程，采用交叉实验，重点模拟了精轧过程，选

表 1 试样化学成分 (质量分数) %

C	Si	Mn	Als	Nb+Ti+V	Cr+Ni+Mo
0.055	0.222	1.72	0.029	≤0.11	≤0.80

用不同的精轧开轧温度、终轧温度、冷却速率，模拟不同的卷取温度，缓冷至室温，而后使用金相显微镜和透射电镜检测，观察其组织和形貌，根据不同参数下得到的组织找到最优的关键参数。交叉实验方案如表 2，其中铸坯加热温度为 1180 °C 保温 3 min，粗轧 1020 °C 变形 30%，应变速率 15 s⁻¹，试样压下的最终厚度为 4.0 mm。

表 2 关键参数交叉实验方案

编号	精轧一道	精轧二道	精轧三道	卷取温度/°C	层冷冷速/(°C/s)
1 [#]				500	32
2 [#]				500	25
3 [#]	950 °C 变形 40%， 应变速率 15 s ⁻¹	880 °C 变形 20%， 应变速率 20 s ⁻¹	810 °C 变形 20%， 应变速率 25 s ⁻¹	500	15
4 [#]				350	32
5 [#]				350	25
6 [#]				350	15
7 [#]	930 °C 变形 40%， 应变速率 15 s ⁻¹	840 °C 变形 20%， 应变速率 20 s ⁻¹	750 °C 变形 20%， 应变速率 25 s ⁻¹	350	32
8 [#]				500	32

实验结果与分析

通过金相显微镜观察各个工艺的金相组织如图 1 所示。

通过场发射扫描电镜观察各个工艺下不同试样的组织形貌如图 2 所示。

从以上金相显微镜和电镜实验检测可以得出各个实验条件下，产品的组织，具体见表 3。

X80 管线钢若想获得高的产品机械性能和高的低温冲击性能，较为理想的组织为针状铁素体（多边形铁素体、粒状贝氏体、贝氏体铁素体）和多边形铁素体的混合组织，随着加速冷却速率的提高，可能在组织中出现分布的 MA 岛。

第 1 种实验方式，采用相同的轧制工艺，比较不同的冷却速度和卷取温度获得不同的组织（试样

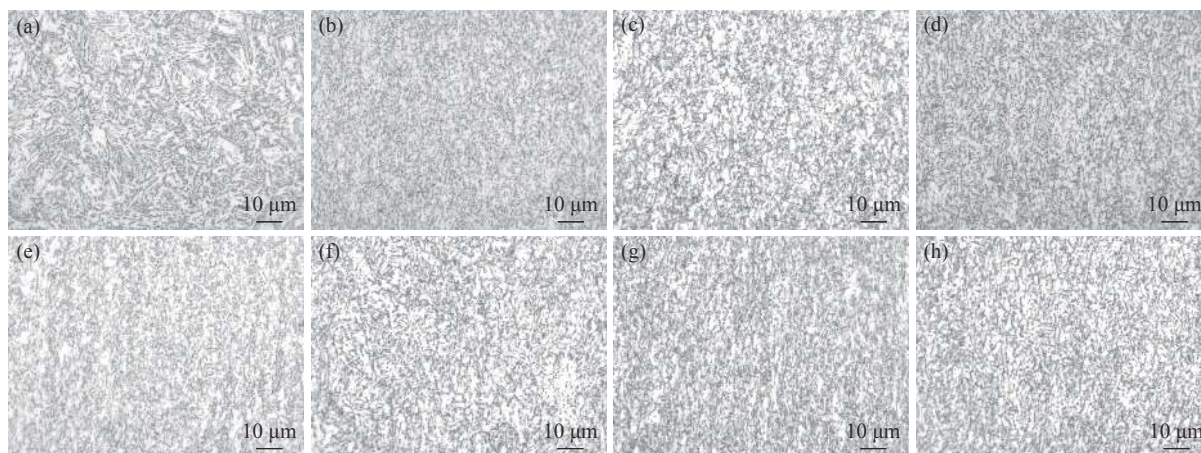


图 1 不同试样金相组织: (a) 1[#]; (b) 2[#]; (c) 3[#]; (d) 4[#]; (e) 5[#]; (f) 6[#]; (g) 7[#]; (h) 8[#]

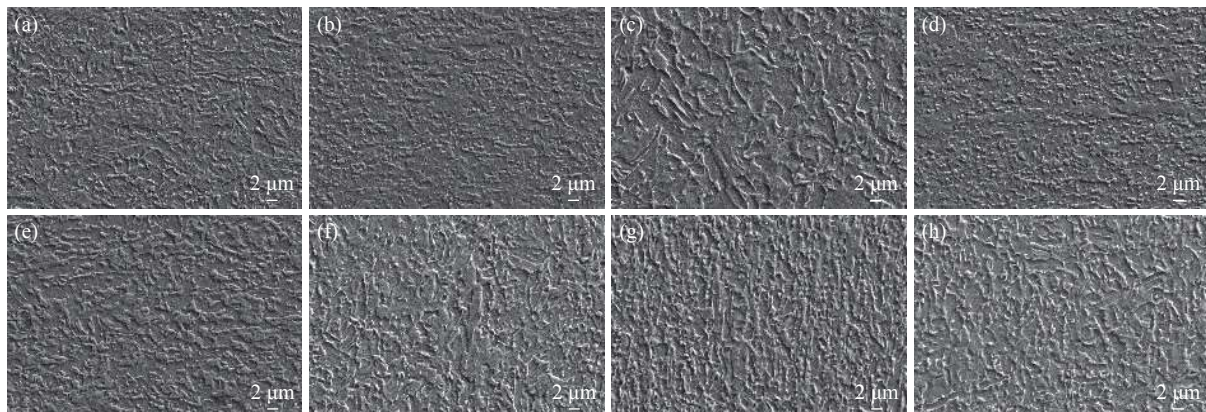


图2 场发射扫描电镜不同试样组织形貌: (a) 1[#]; (b) 2[#]; (c) 3[#]; (d) 4[#]; (e) 5[#]; (f) 6[#]; (g) 7[#]; (h) 8[#]

表3 各实验条件下组织

试样号	组织形貌分析
1 [#] 、4 [#]	组织为贝氏体、少量先共析铁素体
2 [#] 、5 [#]	组织呈现双相，先共析铁素体、贝氏体
3 [#]	组织粗大，为贝氏体、先共析铁素体、微量马奥（MA）岛组织，存在碳化物析出
6 [#] 、7 [#] 、8 [#]	组织为贝氏体、铁素体、针状铁素体、微量马奥（MA）岛组织

1[#]~6[#]）。选用 500 °C 卷取温度时，无论是高冷速还是低冷速，均无法获得针状铁素体，仅能得到贝氏体和先共析铁素体，因此不适用生产 X80 产品，无法获得良好的组织；根本原因是 500 °C 卷取时，由于温度较高，针状铁素体转变难以进行完全，在缓冷过程中有可能形成多边形铁素体或发生块状转变，然后在冷却过程逐渐形成铁素体和贝氏体的混合组织。

选用 350 °C 卷取温度时，采用冷速大于 25 °C/s，产品也无法获得针状铁素体，仅能得到贝氏体和先共析铁素体，随着冷速的增大先共析铁素体含量减少。而采用冷速为 15 °C/s，获得的组织为贝氏体、铁素体、针状铁素体、微量 MA 岛，该工艺较为适用生产 X80 产品。根本原因由于针状铁素体生成温度高于贝氏体生成温度，当 350 °C 卷取时，如冷速较高（25 °C/s 以上），针状铁素体生成孕育时间不足，针状铁素体无法完全形成，仅能在后续冷许过程中生成贝氏体组织；如冷速较低（15 °C/s），针状铁素体生成有充足的孕育时间，则针状铁素体组织生成量占主要部分，剩余的奥氏体转变为贝氏体组织和微量 MA 岛。

第二种实验方式，采用低温终轧的试样方式

（试样 7[#]和 8[#]），无论采用高温还是低温的卷取温度，均能获得较为理想的组织，根本原因为随着终轧温度的降低，奥氏体相变温度点降低，实验钢变形后获得的组织缺陷及形变能累积作用明显，针状铁素体的形核驱动力加大，形核率增加，从而提供更多的相变形核位置，针状铁素体转变较完全，这时即使较大冷速（32 °C/s）冷却至卷曲温度仍可以形成以针状铁素体为主的混合组织。

但是由于终轧温度较低，对于热轧机是个很大的挑战，在产线能力具备的情况下，可以推广使用，总体趋势是，终轧温度降低是有利于形成针状铁素体。

结论

（1）采用第 1[#]、4[#]热轧工艺，可以得到的组织为贝氏体和少量先共析铁素体。

（2）采用第 2[#]、5[#]种热轧工艺，可以得到先共析铁素体和贝氏体的双相组织

（3）采用第 3[#]种热轧工艺，可以得到的组织为贝氏体和先共析铁素体和微量 MA 组织，存在碳化物析出，强度韧性会有所降低。

（4）采用第 6[#]、7[#]、8[#]种热轧工艺，可以得到的组织为贝氏体和铁素体和针状铁素体和微量 MA 组织，为较理想组织状态。该三种工艺方案可以实现 X80 管线钢组织需求，但是结合轧机能力，第 6[#]试样方案是较为理想的热轧工艺。

参考文献

- [1] 张圣柱，程玉峰等. X80 管线钢性能特征及技术挑战. 油气储

- 运, 2019(2): 1
- [2] 宋海武, 齐长发, 艾星辉, 等. 控轧控冷工艺参数对 X65 管线钢显微组织的影响. 特殊钢, 2009(6): 55
- [3] 朱涛, 江海涛, 许洪讯, 等. 热连轧工艺生产厚规格 X80 管线钢的工艺及组织性能. 钢铁钒钛, 2009(4): 75
- [4] 孔萃敏, 蔡庆伍, 余伟. 控轧控冷工艺对 X70 管线钢组织的影响. 宽厚板, 2004(10): 21
- [5] 刘清友, 孙新军, 贾书君, 等. 低碳高铌合金设计在高等级管

线钢生产中的理论与技术//2009 年全国高品质热轧板带材控轧控冷与在线、离线热处理生产技术交流研讨会. 宜兴, 2009

作者简介: 高燕 (1978—), 女, 河北衡水人, 硕士, 河钢集团唐钢公司质量管理部高级工程师, 研究方向为热轧产品工艺技术质量管理, 通信地址: 河北省唐山市路北区文化路龙泽悦府; E-mail: gaoyanhf@163.com。