

管线钢生产工艺及冲击韧性不稳定的影响因素分析

Production Technology and Influence of Inclusions on Unstable Impact Energy of Pipeline Steel

供稿|许学利 / XU Xue-li

内 容 导 读

本钢已成功完成X100管线钢热轧板卷的生产实验工作，具备了从A级钢到X100钢级全系列热轧板卷的批量生产能力。然而，高规格管线钢工业生产过程中因冲击韧性不稳定而引起的废品率增高现象依然存在。本文简单介绍了高规格管线钢的生产工艺，并以22.4 mm X80管线钢为研究对象，分析了铸坯中心偏析、钢板非金属夹杂物等因素对管线钢低温冲击韧性的影响，并提出了改善管线钢产品质量、解决冲击韧性不稳定问题的方法。

管线钢是最能代表热连轧工艺技术的典型钢种，也是近些年研究的热点问题。国内许多企业都已经具备批量生产管线钢的能力。本钢2300 mm热轧生产线设4座组合蓄热步进梁式加热炉，出炉板坯经辊道输送到粗轧高压水除鳞箱，用高压水清除板坯表面氧化铁皮后板坯送往定宽压力机，板坯可进行最大350 mm的减宽。然后板坯由带附属立辊可逆式粗轧机E1R1和带附属立辊的四辊可逆式粗轧机E2R2将板坯轧成28~60 mm的中间坯，然后经延迟辊道送往精轧机区，由切头飞剪切除中间坯的头尾。切头后的中间坯经精轧高压水除鳞箱用高压水(或蒸汽)除去二次氧化铁皮，然后进入精轧机F1—F7进行轧制。出精轧机后热轧带钢在热输送辊道上由带钢冷

却系统采用适当的冷却制度由终轧温度冷却到规定的卷取温度。

2010年本钢在2300 mm热轧生产线自主研发厚15.3 mm、宽1550 mm的高级别石油管线X100螺旋焊管钢，以其耐严寒、抗冲击性能高等特点，先后通过中国石油集团公司宝鸡制管厂、华北石油制管厂、西安管材研发所的各种理化性能检验，同时，其性能指标成为中石油此类产品的行业标准。

管线钢冲击韧性是一个非常重要的指标，很多学者都进行过相关研究。然而，本钢批量生产高规格管线钢时存在个别产品因工艺波动而产生冲击韧性不稳定的现象。本文以22.4 mm X80管线钢为研究对象，进行相关检验，分析了铸坯中心偏析、钢板

非金属夹杂物等因素对冲击功的影响。

工艺要求

22.4 mm X80管线钢的化学成分要求较为宽松,没有严格的化学成分波动范围。但22.4 mm X80管线钢要求具有良好的低温冲击韧性, -20℃是较为常见的检验温度,应用于寒冷地区的管线钢需要检

表2 22.4 mm X80管线钢的力学性能和工艺性能

| 牌号 | 拉伸实验 ^a | | | 冷弯 | 冲击实验 ^c (-20℃) | | 硬度 ^b |
|-------------|-------------------|----------|-------|--------|--------------------------|------------|-----------------|
| | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 延伸率/% | | 冲击功/J | DWTT, SA % | |
| 22.4 mm X80 | 555~690 | 625~825 | ≥21 | $d=2a$ | ≥210 | ≥90 | ≤265 |

注: a——拉伸、冲击实验取30°方向 ϕ 12.7 mm圆棒状试样,弯曲试样取横向试样。b——钢带横截面上硬度。c——冲击试样为全试样尺寸10 mm×10 mm×55 mm。

工艺设计

工艺路线

铁水脱硫→转炉冶炼→LF精炼→连铸→加热→2300 mm热轧机组轧制→层冷→卷取→检验→包装出厂。

炼钢工艺设计

对于管线钢的性能要求适合焊接同时保障强韧性指标是主要方向。较低的碳含量可以同时提高管线钢的韧性和塑性,并有利于焊接性能,但是碳含量的降低也将导致强度的下降^[1]。Mn具有降低相变点的作用,有利于细化铁素体晶粒。因此,管线钢的炼钢工艺设计采用低碳设计,需加入一定量的Mn保障强度。Nb是控轧钢中最有效的细化晶粒元素,加入Nb可以扩大奥氏体未再结晶区的温度范围,使得更多的轧制变形在奥氏体未再结晶区进行,变形的奥氏体在 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变可以提高铁素体形核率^[2]。此外,管线钢的炼钢工艺成分设计时还考虑微钛固氮以提高低温冲击韧性。

对于管线钢来讲,控制钢水的洁净度十分重要,S、P含量必须控制在较低范围,并采用Ca质处理控制硫化物形貌,提高韧性指标^[3]。

轧制工艺设计

为了获得细小的奥氏体晶粒,在保证加热质量的基础上,采用较低的加热温度;在轧制工艺的粗

测-40℃的冲击功和剪切面积。22.4 mm X80管线钢的化学成分和力学性能要求见表1和表2。

表1 22.4 mm X80管线钢的化学成分(质量分数) %

| C | Si | Mn | P | S | 其他 |
|-------|-------|-------|--------|--------|----------|
| ≤0.12 | ≤0.40 | ≤1.95 | ≤0.025 | ≤0.015 | <i>n</i> |

注: 22.4 mm X80最大锰含量不得大于1.95%。*n*由供方决定可加入铌、钒、钛元素中的一种或它们的任一组合,但铌、钒、钛元素含量之和不应超过0.15%。

轧阶段为细化奥氏体晶粒适当控制轧制温度和采取较大的压下率保证铸态奥氏体完全再结晶,在精轧阶段控制轧制的重点在于终轧温度的控制,终轧温度越低,变形量越大越利于改善钢板的韧性^[4]。这是因为降低终轧温度可以增加奥氏体晶粒内部的形变带的密度,提高相变时的形核率,细化相变后铁素体的晶粒,以达到改善低温韧性的目的,降低终轧温度还可以促使Ti的化合物在奥氏体内弥散析出,阻止奥氏体晶粒的长大,使形变奥氏体在相变时转变为细小的相变产物,对晶粒细化有一定的作用^[5]。为了使轧后组织迅速转变,防止转变组织铁素体晶粒长大和组织粗化,控冷需采用前段冷却的方式。

实验与分析

冲击韧性对材料的内部结构缺陷、显微组织的变化很敏感,如夹杂物、偏析等都会使钢材冲击韧性明显降低^[6]。

实际生产过程中,22.4 mm X80管线钢产品性能大多能满足标准要求,且-20℃冲击功大于220 J,但个别钢卷的冲击功相对不稳定,为140~180 J。本研究选取2个炉次冲击功较低(1#炉次冲击功为140 J、2#炉次冲击功为180J)的试样以及1个冲击功相对较高(3#炉次冲击功为320 J)的试样铸坯原料和钢卷进行对比检验分析。

铸坯中心偏析检验

3组冲击功不同的试样中心偏析检验结果如表3

表3 中心偏析检验结果

| 编号 | 冲击功/J | 中心偏析/级 |
|----|-------|--------|
| 1# | 140 | C1.5 |
| 2# | 180 | C1.5 |
| 3# | 320 | C0.5 |

所示。与冲击功320 J的试样相比，冲击功较低的1#、2#样品中心偏析相对较严重，3#样品中心偏析轻微。

金相检验

3组试样的金相组织如图1所示，非金属夹杂物检验结果如表4所示，非金属夹杂物分布如图2所示。3组试样的晶粒度均为11.5级，没有差别。通过

对3个试样的组织和晶粒度进行金相检查分析，发现3组试样组织3#试样针状铁素体分布稍微好于1#、2#试样，但是差别不大。从非金属夹杂物分析，1#、2#样品非金属夹杂物硫化物类夹杂相对较多，3#样品明显好于1#、2#样品。非金属夹杂物硫化物类夹杂是导致冲击功较低的重要因素。

表4 非金属夹杂物检验结果

| 编号 | 冲击功/J | 非金属夹杂物/级 | | | | |
|----|-------|----------|-----|---|-----|----|
| | | A | B | C | D | DS |
| 1# | 140 | 1 | 0.5 | 0 | 1 | 0 |
| 2# | 180 | 2 | 0.5 | 0 | 1 | 0 |
| 3# | 320 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |

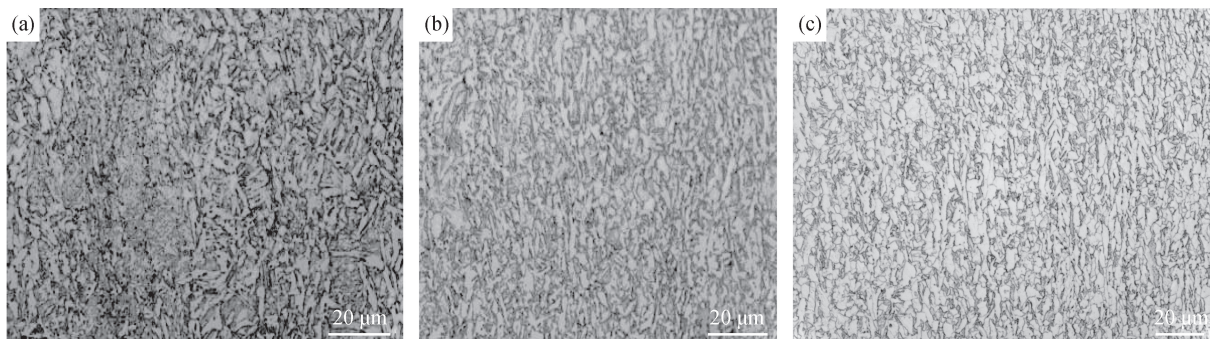


图1 22.4 mm X80金相组织：(a) 1#样品；(b) 2#样品；(c) 3#样品

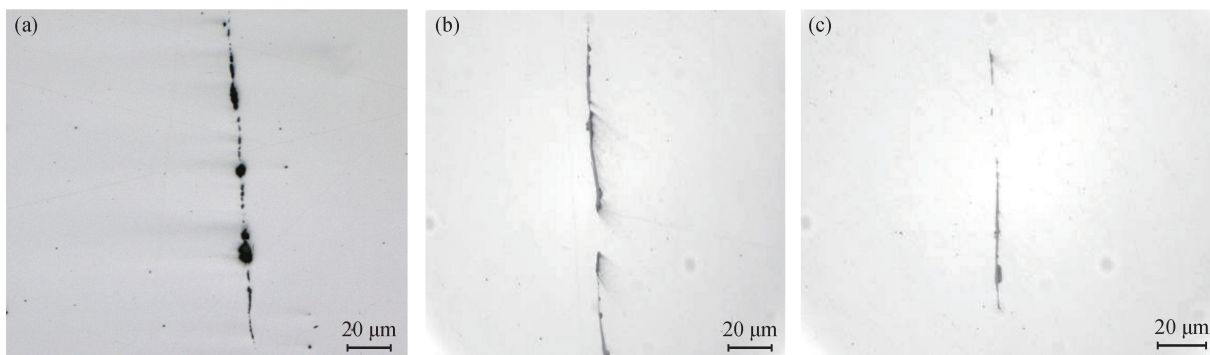


图2 非金属夹杂物照片：(a) 1#样品；(b) 2#样品；(c) 3#样品

分析讨论

通过以上数据对比分析发现，冲击功低的试样中心偏析相对严重，非金属夹杂物硫化物类夹杂相对较多。因此，分析认为现场生产22.4 mm X80管线钢时部分试样冲击功降低归因于中心偏析和非金属夹杂物的影响，实际生产过程中应针对这两个问题进行改进。通过在炼钢工序采取如轻压下、电磁搅

拌、保护浇铸等改进措施，本钢生产的22.4 mm X80管线钢产品冲击功逐步趋于稳定，冲击功偏低问题得到解决。

结束语

本钢在生产高规格管线钢时，中心偏析和非金属夹杂物不理想是影响其低温冲击的主要因素。通

(下转第 80 页)

参考文献

- [1] 全国钢标准化技术委员会. GB 6654—1996压力容器用钢板. 北京: 中国标准出版社, 1996
- [2] 全国钢标准化技术委员会. GB 713—2008锅炉和压力容器用钢板. 北京: 中国标准出版社, 2008
- [3] 全国钢标准化技术委员会. GB/T 228.1—2010金属材料拉伸试验第1部分: 室温试验方法. 北京: 中国标准出版社, 2010
- [4] 全国钢标准化技术委员会. GB/T 3625—2007预热器及冷凝器用钛及钛合金管. 北京: 中国标准出版社, 2007
- [5] 全国钢标准化技术委员会. JB/T4745—2002钛制焊接容器. 北京: 中国标准出版社, 2002
- [6] 全国钢标准化技术委员会. GB/T 3625—2007换热器及冷凝器用钛及钛合金管. 北京: 中国标准出版社, 2007
- [7] 王凤平, 李晓刚, 林翠, 等. 316L不锈钢法兰腐蚀失效分析与对策. 腐蚀科学与防护技术. 2003, 15(3): 180
- [8] 邹武装. 钛手册. 北京: 化学工业出版社, 2012: 343
- [9] 刘春雷, 栾江峰. 管壳式换热器常见失效形式浅析及对策探讨. 化工装备技术. 2008. 29(3): 30
- [10] 李庄, 黄明达. 化工设备突发事故处理与分析预防技术规范实务全书. 天津: 化学工业出版社, 2004: 404
- [11] 姚勇. 奥氏体不锈钢在Cl⁻介质中使用的腐蚀危害. 特种设备安全技术. 2006(3): 46
- [12] 张圆磊, 屈洪, 马健. 承压设备焊接工艺评定中的一些问题. 压力容器, 2013, 30(3): 71

作者简介: 李晓鹏(1980—), 男, 陕西省宝鸡市人, 现就职于宝钛集团、工程师、硕士。2004年毕业于华北工学院机械设计制造及其自动化专业, 获学士学位, 2015年毕业于西安建筑科技大学机械设计制造及其自动化专业, 主要研究方向: 化工设备制造及改造。自2004年以来, 发表各类文章9篇, 独立完成PTA、PVA、冶金、制盐、多晶硅、水处理、制药行业170余台各类化工设备成套制造文件编制及多个大型化工项目的现场安装、检修及改造。E-mail: 297341506@qq.com。

(上接第 69 页)

过在炼钢工序采取优化措施以后, 中心偏析和非金属夹杂物较高问题得到解决, 本钢生产的22.4 mm X80管线钢获得良好的强韧性匹配。

参考文献

- [1] 张月新. X60、X65级高韧性管线钢的研究. 焊管, 1989, 12(5): 5
- [2] Liu H L, Liu C J, Jiang M F. Effects of rare earths on the austenite recrystallization behavior in X80 pipeline steel. *Advanced Materials Research*, 2010, 129-131: 542
- [3] 刘宏亮, 刘承军, 王云盛, 等. 稀土管线钢轧制工艺的模型研究. 稀土, 2011, 32(3): 1
- [4] 肖福仁. 针状铁素体管线钢的组织控制与细化工艺研究[学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2003
- [5] Liu H L, Liu C J, Jiang M F. Effect of rare earths on impact toughness of a low-carbon steel. *Materials & Design*, 2013, 33(1): 306
- [6] Liu C J, Liu H L, Jiang M F. Effect of rare earths on austenite grain growth behavior in X80 pipeline steel. *Advanced Materials Research*, 2010, 163-167: 61

作者简介: 许学利(1982—), 男, 工程师, 辽宁省本溪钢铁集团公司产品研究院高强钢研发所工作, 主要从事热轧产品管线钢研制与开发。E-mail: xuxueli6699@163.com。