

含稀土非开挖钻杆用管的热处理试验研究

孙文秀¹, 康利明², 姜海龙¹, 米永峰¹, 姚晓乐¹

(1. 内蒙古包钢钢管有限公司, 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)

摘 要: 文章结合非开挖钻杆的使用工况要求以及主要失效形式, 开展了对非开挖钻杆用管的淬透性和热处理试验研究。试验结果表明: 该含稀土非开挖钻杆用无缝钢管获得最小 50% 马氏体的淬透层深度为 11 mm, 获得最小 95% 马氏体的淬透层深度为 7 mm, 具有良好的淬透性; 经过调整回火温度的热处理试验后, 得出了最佳推荐热处理制度。

关键词: 非开挖钻杆; 淬透性; 热处理试验

中图分类号: TG156

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)02-0033-03

Study on Heat Treatment Test of Steel Tube for Trenchless Drill Pipe Containing Rare Earth

Sun Wenxiu¹, Kang Liming², Jiang Hailong¹, Mi Yongfeng¹, Yao Xiaole¹

(1. Inner Mongolia Baotou Steel Pipe 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)

Abstract: The studies on hardenability and heat treatment test of steel tube for trenchless drill pipe are carried out combining with its service condition requirements and main failure modes in the paper. The experimental results showed that the depth of hardening layer for obtaining minimum 50% martensite was 11 mm and that for obtaining minimum 95% martensite was 7 mm for the seamless steel tube for trenchless drill pipe containing rare earth, which was with good hardenability; the optimal recommended heat treating regime was obtained after the heat treatment test with adjusting tempering temperature.

Key words: trenchless drill pipe; hardenability; heat treatment test

非开挖技术作为一种新型的地下施工技术, 在地表和地层结构破坏极小的情况下, 穿越河流、重要交通干线、建筑物, 实现对诸如供水、煤气、天然气、污水、电信电缆等公用管线的检测、铺设、修复与更换的施工技术, 具有不影响交通、综合成本低、环境污染小、施工周期短等明显优势, 成为城市化进程中, 不可替代的一种先进施工手段。图 1 为非开挖

技术应用示意图^[1,2]。

在非开挖技术的施工中, 非开挖钻杆作为常规基础的消耗材料, 其安全性对施工顺利与否有着十分重要的影响。首先, 非开挖钻杆在使用过程中必须承受巨大的内外压力, 这就要求材料要有足够高的强度、硬度和耐磨性, 通过调质处理可以使材料获得足够的强度和塑韧性要求, 而调质的效果与钢的

淬透性有着密切的关系,因此必须保证材料具有足够的淬透性^[3]。另外,非开挖钻杆的失效形式可分为杆体失效和丝扣失效两类,而其中导致杆体失效的主要原因为管体在调质后强度、硬度不合理所导致的杆体断裂^[4]。非开挖钻杆用管为轧态交货,由于后续的非开挖钻杆加工制造过程中需进行调质处理,因此开展对原材料无缝钢管的淬透性及热处理试验研究,从而制定合理的热处理工艺,对于非开挖钻杆的安全、高效使用是具有重要意义的。

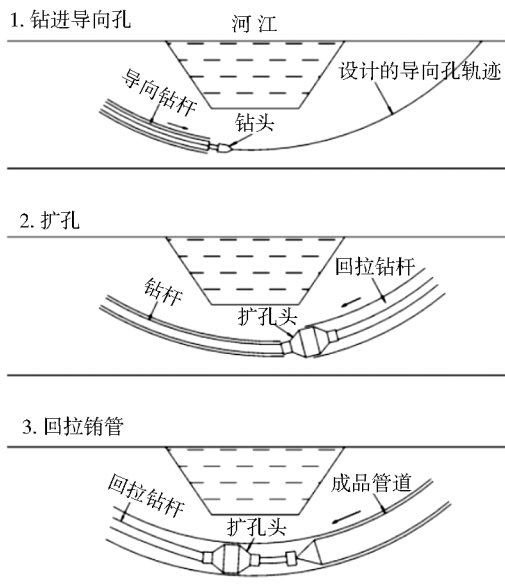


图 1 非开挖技术应用示意图

1 试验材料

试验材料采用某钢厂的连铸圆坯,规格为 $\Phi 200$ mm,该材料采用真空顶底复吹转炉冶炼、LF 炉外精炼、VD 真空处理、圆坯连铸而成,试验钢在冶炼过程中添加适量稀土铈铁合金,试验钢的化学成分见表 1。

表 1 化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
≤ 0.30	≤ 0.37	≤ 1.42	≤ 0.018	≤ 0.008	≤ 0.90	≤ 0.20	≤ 0.05

2 试验方法及结果

2.1 钢种的淬透性试验

本文采用末端淬火法对该非开挖钻杆用钢的淬透性进行了实验室研究,测定了不同淬火温度下,材料分别获得 50% 和 95% 马氏体洛氏硬度值的淬透层深度,描述了材料的淬透性及其变化规律,为制定

经济合理的淬火工艺提供可靠的技术依据。通常钢在一定的淬火温度下所获得的淬透层深度越大,则其淬透性越好^[5]。

试验依据的标准是 GB/T 225—2006^[6]《钢淬透性的末端淬火试验方法》。取该钢种圆坯 300 mm 长,轧制成 35 mm 厚的板坯,并加工成如图 2 所示的带有凸缘的圆棒试样共 14 个,其中两个一组,分为 7 组。将加工后的试样放入不锈钢加热保护装置中,进入箱式电阻炉中,将 7 组试样分别加热至 840 °C、850 °C、860 °C、870 °C、880 °C、890 °C、900 °C,并保温约 40 min 后,迅速用钳子取出试样,放在 WDZ-02 自动端淬试验机上进行喷水淬火试验,喷水时间 10 min 以上。淬火完成时,迅速用钳子取出试样,之后快速开启水阀,水冷时间 10 min 以上。若取下的试样还是热的,则立即放入水中继续冷却。

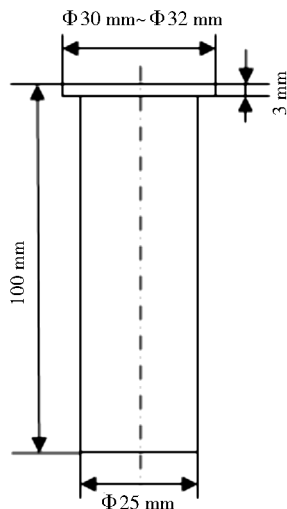


图 2 端淬试样示意图

试样冷却后,在平行于轴线的方向上加工出两个相互平行的平面,随后对距离淬火端面 1.5 mm、3 mm、5 mm、7 mm、9 mm、11 mm、13 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm、40 mm、45 mm、50 mm 处的洛氏硬度值进行测量。

API Spec 5CT^[7] 标准中,分别依据公式 $HRC_{\min} = 52 \times (\% C) + 21$ 、 $HRC_{\min} = 59 \times (\% C) + 29$,确定该钢种获得最小 50% 马氏体和 95% 马氏体的洛氏硬度值分别为 35.6HRC 和 45.5HRC。将该钢种在 840 °C ~ 900 °C 不同温度淬火后的末端淬透性曲线绘制如图 3 所示。曲线横坐标为淬火试样至淬火端面的距离,纵坐标为在该距离所测得的洛氏硬度值。

实验结果表明:该钢种在 840 ℃ ~ 900 ℃ 淬火温度下获得最小 50% 马氏体的淬透层深度为 11 mm, 获得最小 95% 马氏体的淬透层深度为 7 mm, 具有良好的淬透性。非开挖钻杆的常用壁厚规格为 6.5 mm ~ 10.54 mm, 实际生产中通常采用内喷外淋的淬火水冷方式, 因此该钢种可满足非开挖钻杆常用规格的淬透性要求。

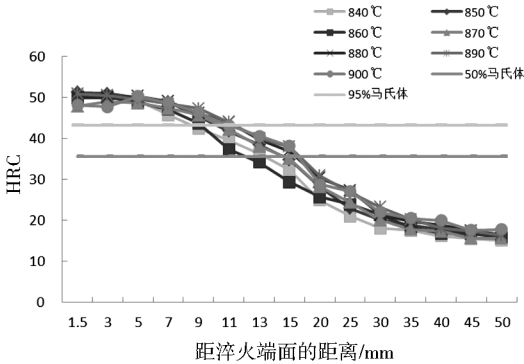
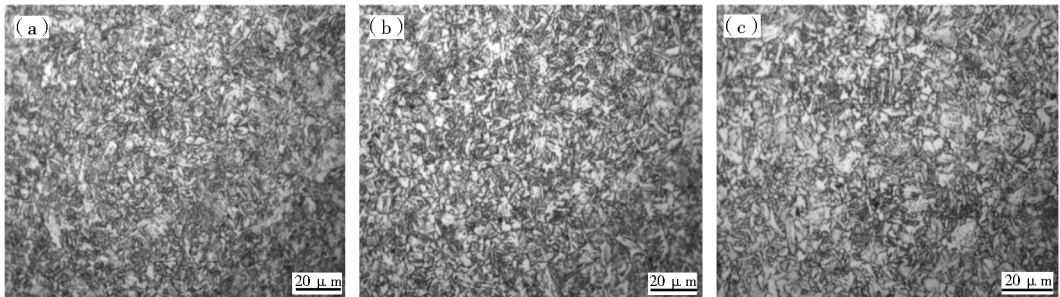


图3 末端淬透性曲线



(a) 620 ℃回火试样显微组织 (b) 640 ℃回火试样显微组织 (c) 660 ℃回火试样显微组织

图4 不同回火温度试样的显微组织

表2 调质后的力学性能结果

回火温度/℃	$R_{0.6}$ /MPa	R_m /MPa	$A/\%$	冲击功/J(V型、纵向; 试样尺寸:10 mm × 5 mm × 55 mm)
620	835	909	18.5	62
640	791	867	18	66
660	750	797	17	63
设计要求	724 ~ 931	≥793	≥14	≥30

3 结论

(1) 该含稀土非开挖钻杆用无缝钢管具有良好的淬透性, 可满足常用规格的实际生产要求。

(2) 该钢种在 840 ℃ ~ 900 ℃ 淬火温度下获得

2.2 钢种的热处理试验

依据上述该钢种的末端淬透性试验结果, 结合现场热处理生产中, 钢管在出炉后会产生 30 ℃ ~ 50 ℃ 的温降, 因此将该钢种的淬火温度确定为 890 ± 10 ℃。试验钢 890 ℃ 淬火后, 分别经 620 ℃、640 ℃ 和 660 ℃ 回火, 检验金相组织和室温力学性能, 结果如图 4 和表 2 所示。

由图 4 可知, 试验钢在 890 ℃ 淬火及 620 ℃、640 ℃ 和 660 ℃ 不同温度回火后的组织均为回火索氏体, 晶粒度为 9 级。经不同回火温度后, 试验钢的力学性能均满足设计要求, 随着回火温度的升高, 延伸率和冲击功变化不大, 但屈服强度和抗拉强度均呈现较为明显的下降趋势, 且当回火温度为 660 ℃ 时, 强度均已达设计要求下限。因此该试验钢推荐最佳热处理工艺为 890 ± 10 ℃ 淬火, 630 ± 10 ℃ 回火。

最小 50% 马氏体的淬透层深度为 11 mm, 获得最小 95% 马氏体的淬透层深度为 7 mm。

(3) 该钢种的推荐热处理制度为 890 ± 10 ℃ 淬火, 630 ± 10 ℃ 回火。

(下转第 52 页)

V、Ti 等微合金的微合金化钢,在铸坯凝固过程中,树枝晶间形成 Nb、V、Ti 和 C、N 等元素的富集,最终会形成(Nb、V、Ti)(C、N)类型夹杂物。最终铸坯经轧制,这类夹杂物保留到了珠光体带中^[4],这类夹杂物会增加材料的脆性,降低材料的塑性和韧性,甚至在加工过程中出现裂纹。断裂源处的裂纹与试样心部的偏析带位置对应,且裂纹附近有金属流变,在材料内壁的次表面位置可以看到一层加工硬化层,表明材料在加工过程中发生了加工硬化,使晶粒发生滑移,晶粒被拉长、纤维化。

综合分析表明,车轮钢心部有偏析带并伴有主要成分为 C、Nb 的点串状夹杂物,这些均会在加工成型过程中阻碍铁素体的正常变形,而且旋压变形不同于金属普通的塑性变形,它是塑性变形和流动变形的复杂过程^[5]。车轮钢旋压时金属流动性不一致,从而产生加工硬化,在心部偏析部位产生应力集中诱发裂纹,后经冲孔使应力释放,导致开裂。

减轻钢的心部偏析是一个复杂的过程,需要从炼钢、连铸、轧制等多个环节进行综合控制,针对 590CL 车轮钢心部偏析及偏析带上的夹杂物,建议调整成分,确保合适的铌、碳比例,查找偏析带产生的具体原因,优化炼钢、连铸和轧制工艺,如采用先进的电磁搅拌技术、动态轻压下技术,控制二冷区冷却水量,减少偏析带的存在。在轧制过程中,控制好加热温度、开轧温度和终轧温度,利用低温高压下以及合理的控轧控冷工艺,减少带状组织的形貌和大小^[6]。

4 结论

(1)590CL 车轮钢开裂位置均位于轮辐外缘部

位的风孔与剪切端之间,断裂源位于车轮钢的风孔端,约在钢板厚度的心部位置。

(2)590CL 车轮钢开裂原因是心部有珠光体偏析带并伴有主要成分为 C、Nb 的点串状夹杂物,在加工成型过程中阻碍铁素体的正常变形,使旋压时金属流动性不一致,从而产生加工硬化,在风孔端的心部偏析部位产生应力集中诱发裂纹,后经冲孔使应力释放,导致开裂。

(3)针对 590CL 车轮钢心部偏析及偏析带上的夹杂物,建议调整成分,确保合适的铌、碳比例,优化炼钢、连铸和轧制工艺。

参 考 文 献

- [1] 张云开. 钢制车轮轮辋滚压和轮辐强力旋压成形工艺分析研究[D]. 福建: 华侨大学, 2014.
- [2] 姜锡山, 赵晗. 钢铁显微断口速查手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 王建忠, 李冠楠, 张继永. 中厚板 Q345R 延伸率不合格原因分析及改进[J]. 山西冶金, 2024, 47(7): 15-17.
- [4] 张桥英, 刘国平, 赵勇, 等. 低合金高强度钢板拉伸断口分层机理分析研究[C]. 第七届中国钢铁年会论文集, 北京, 2009.
- [5] 张振杰, 计云萍. 轮辐用热轧车轮钢 BT380CL 开裂原因分析[J]. 包钢科技, 2019, 45(5): 53-56.
- [6] 刘跃飞. Q345B 热轧钢板加工开裂的原因分析[J]. 金属材料与冶金工程, 2015, 43(1): 21-23.

(上接第 35 页)

参 考 文 献

- [1] 刘永刚. 非开挖定向穿越钻杆失效机理及改进技术研究[D]. 四川: 西南石油大学, 2017.
- [2] 葛鹏飞. 油气管道穿越钻杆质量控制的关键[D]. 西安: 西安石油大学, 2015.
- [3] 刘永刚, 王显林, 张献才, 等. 油气管道非开挖定向穿越中的钻杆失效研究[J]. 金属热处理, 2019, 44(S1): 504-509.
- [4] 王银强, 蒋中印, 何田, 等. 非开挖钻杆失效原因及加强措施浅谈[J]. 内蒙古石油化工, 2014(23): 71-72.
- [5] 董珍, 姜海龙, 卢艳蓉, 等. 石油钻杆管体用钢的淬透性试验研究[J]. 包钢科技, 2020, 46(1): 54-56.
- [6] GB/T 225—2006, 钢淬透性的末端淬火试验方法[S].
- [7] API Spec 5CT, 套管和油管规范[S].