BT－65MnRE钢的CCT曲线测定与分析*

贾冬梅[1],米永峰[1],王 昊[2],康 虹[1],姜海龙[1],余泽金[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包头市三隆稀有金属材料有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章通过测定BT－65MnRE钢在不同冷速下的连续冷却转变曲线,利用金相显微镜观察了不同冷速下的显微组织。结果表明:试验钢BT－65MnRE的相变点A_{c1}为707 ℃,A_{c3}为764 ℃,当冷却速度为1～4 ℃/s时,室温组织为珠光体+先共析铁素体,当冷却速度为5～8 ℃/s时,室温组织为珠光体+贝氏体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度为10～30 ℃/s时,室温组织为珠光体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度大于40 ℃/s时,室温组织为马氏体。

关键词: 耐磨管; BT－65MnRE; CCT曲线; 显微组织
中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009－5438(2021)03－0041－04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.012

Determination and Analysis on CCT Curve of BT－65MnRE Steel

Jia Dong－mei[1], *Mi Yong－feng*[1], *Wang Hao*[2], *Kang Hong*[1], *Jiang Hai－long*[1], *Yu Ze－jin*[1]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Baotou City Sun Lux Rare Metals Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the microstructures of BT－65MnRE steel at different cooling rates are observed with the metalloscope by determining its continuous cooling transformation (CCT) curves at different cooling rates. The results showed that the phase transition points of test steel BT－65MnRE, A_{c1} was 707 ℃ and A_{c3} was 764 ℃, the microstructure at room temperature was pearlite + proeutectoid ferrite when the cooling rate was 1～4 ℃/s, it was pearlite + bainite + martensite + a small number of ferrite when the cooling rate was 5～8 ℃/s, it was pearlite + martensite + a small number of ferrite when the cooling rate was 10～30 ℃/s and it was martensite when the cooling rate was greater than 40 ℃/s.

Key words: wear－resistant pipe; BT－65MnRE; CCT curve; microstructure

耐磨钢管主要应用于建筑、采矿、电力等行业,主要作为泵车送料管输送混凝土及其他砂浆使用,毛坯管与连接法兰相焊,焊后再进行热处理以达到设计使用要求。通常送料管在一定压力下将混凝土从输送泵送往高处,工作时耐磨管承受一定的压力负荷加频繁振动状态,从而要求管壁有足够的厚度与强度,但管壁又不能太厚以满足轻量化要求,同时,耐磨管还应有良好的耐磨性和冲击韧性。值得

* 收稿日期:2021－05－06
作者简介:贾冬梅(1988－),女,内蒙古锡林浩特市人,工程师,现从事无缝钢管新产品研发工作。

中国知网 https://www.cnki.net

关注的是国产泵车输送料管的耐磨性问题。国内生产的钢管耐磨度低，更换频繁，给混凝土现场浇注造成很大麻烦。国产输送料管无法超越国外先进产品已经成了制约臂架式泵车向高精尖发展、领跑世界的瓶颈[1]。材料的耐磨性主要取决于其硬度。通过调整成分与热处理工艺，实现耐磨钢硬度和韧性的合理匹配，获得优良的综合机械性能，进而提高冲刷冲击条件下的耐磨性能，使其满足不同磨损工况的需要。在该背景条件下，包钢研发了混凝土输送用稀土耐磨管 BT－65MnRE。为此，对其连续冷却转变行为进行研究，为热处理工艺的制定提供了参考依据。

1 试验材料及方法

试验材料采用现场生产的轧态无缝钢管，规格为 Φ152 mm×5.5 mm，该钢管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、PQF 穿孔轧制而成，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。在轧态无缝管头端切取 300 mm 的试验样品，加工成规格为 Φ3 mm×10 mm柱体共计 20 个，采用 FORMASTOR－F 全自动相变仪进行测试，首先将试样以200 ℃/s的加热速度加热到 850 ℃后保温 10 min，进行奥氏体化与成分均匀化处理，然后分别 40 ℃/s、20 ℃/s、10 ℃/s、8 ℃/s、5 ℃/s、4 ℃/s、3 ℃/s、2 ℃/s、1 ℃/s的恒定冷却速度将试样冷却至室温，其连续冷却转变工艺方案见图 1。记录各冷却速度下的时间、膨胀量和温度数据，得到了每个冷却速度下的膨胀量—温度曲线，用切线法测定各连续冷却曲线上的相变开始点和相变结束点，将相应的开始点和结束点用曲线连接，得到了试验钢的过冷奥氏体连续冷却转变曲线，即 CCT 曲线。将冷却至室温的试样经砂纸研磨和抛光后用 4% 硝酸酒精溶液进行腐蚀，在 Axio observerA1M 光学显微镜下观察不同冷却条件下的室温金相组织。

表 1 试验钢的化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
≤0.70	≤0.37	≤1.1	≤0.020	≤0.010	≤0.40	≤0.20	≤0.20	≤0.05

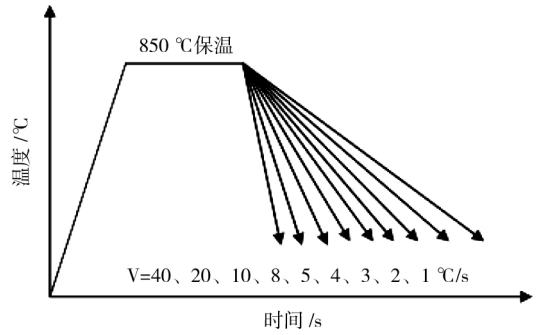


图 1 热模拟试验方案

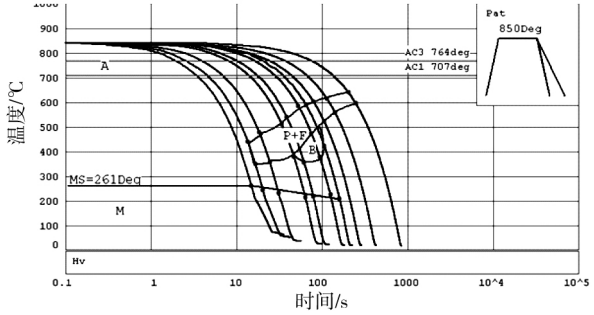


图 2 连续冷却转变 CCT 曲线

2 试验结果及分析

2.1 试验钢的连续冷却转变图

CCT 曲线反应了连续冷却条件下过冷奥氏体的转变规律，是分析转变产物组织与性能的依据，也是制定热处理工艺的重要参考资料。根据试验曲线确定不同冷却速度下的相变开始温度、结束温度，将转变温度和马氏体点标注在曲线图中，即 CCT 曲线图，见图 2。

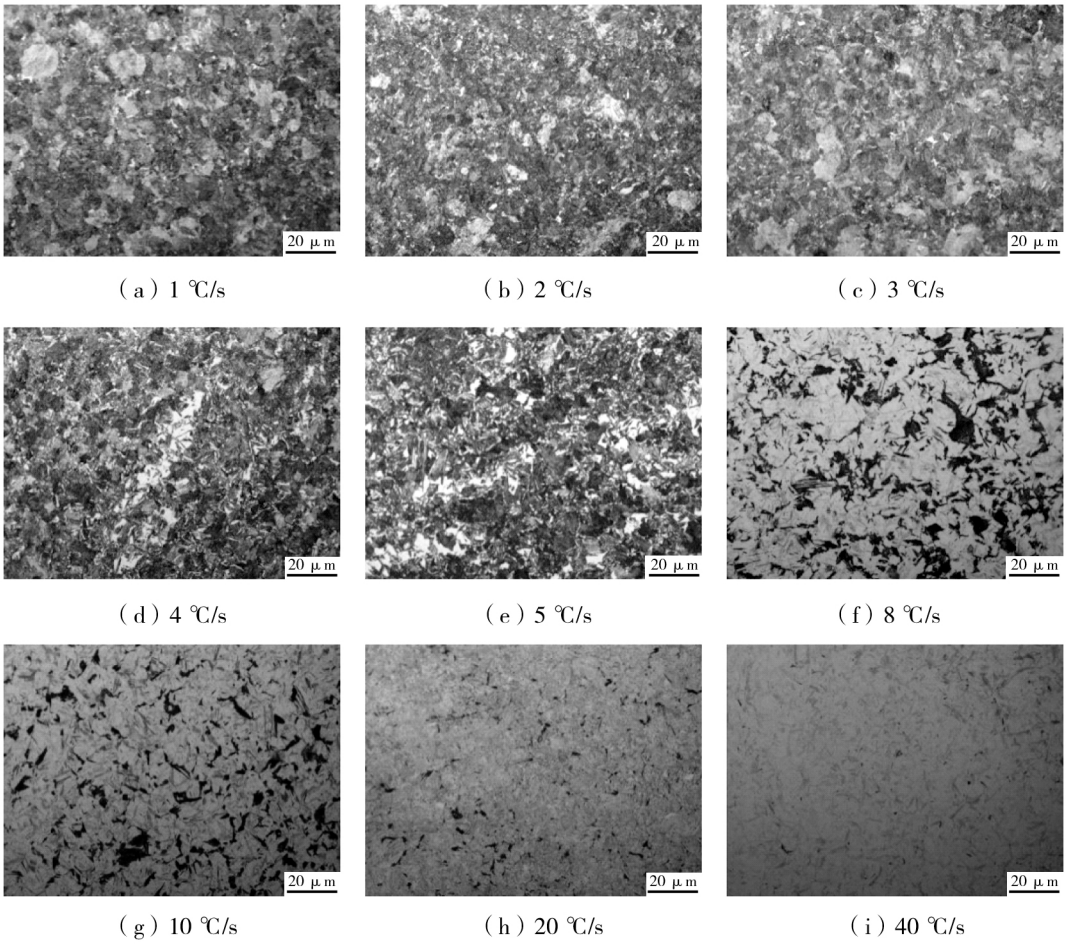
从图 2 可以看出，可以测定钢各个转变的相变点温度，其中 A_{r1} 为 610 ℃、A_{r3} 为 661 ℃、A_{c1} 为 707 ℃、A_{c3} 为 764 ℃，马氏体转变开始温度为 261 ℃。当冷却速度小于 4 ℃/s 时，冷却曲线从左上方向右下方移动，冷却曲线进入珠光体＋先共析铁素体相区，随着冷却速度提高，珠光体含量较高，少量铁素体析出。当冷速为 5～8 ℃/s 时，冷却曲线穿过珠光体＋贝氏体＋马氏体 3 个相区[2]。奥氏体先转变成珠光体，随着温度继续降低，析出一定量的贝氏体和马氏体。当冷却速度在 10～30 ℃/s 时，

中国知网 https://www.cnki.net

先进入珠光体转变区，铁素体减少，随着温度进一步降低，剩余奥氏体转变为马氏体，组织为珠光体＋铁素体＋马氏体组织。当冷却速度大于30 ℃/s时，不经珠光体相区直接转变成马氏体。

2.2　不同冷速下的组织分析

采用不同的冷却速度冷却到室温的试样，通过镶嵌、抛磨及腐蚀，经蔡氏显微镜观察微观金相组织见图 3。



（a）1 ℃/s　（b）2 ℃/s　（c）3 ℃/s

（d）4 ℃/s　（e）5 ℃/s　（f）8 ℃/s

（g）10 ℃/s　（h）20 ℃/s　（i）40 ℃/s

图 3　不同冷却速度下 BT－65MnRE 的显微组织

图 3(a)—图 3(c) 是冷却速度为 1～3 ℃/s 条件下的室温显微组织，为珠光体＋先共析铁素体，随着冷速增大，珠光体含量增多，片层间距变细，晶粒变细，少量铁素体分布在珠光体晶界处。从图 3(d)—图 3(f) 看出，冷速为 4～8 ℃/s 时，冷却曲线穿过 4 个相变区，室温显微组织为珠光体＋少量铁素体＋少量贝氏体＋少量马氏体。从图 3(g)—图 3(h) 看出，冷却速度为 10～20 ℃/s 时，冷却曲线不经过贝氏体相区，室温显微组织为珠光体＋马氏体＋少量铁素体。图 3(i) 为冷速为 40 ℃/s条件下的组织，其显微组织为全部板条状马氏体组织，晶粒随着冷却速度增大变得细小均匀。

2.3　讨论

2.3.1　淬火回火温度的制定

通过 CCT 曲线测定得到试验钢 BT－65MnRE 的 A_{c1} 为 707 ℃，A_{c3} 为 764 ℃，由于稀土耐磨管的服役工况要求该产品具有高的耐磨性，显微组织的耐磨性顺序为马氏体、贝氏体、珠光体。考虑到加工性能，该钢管还需要一定的塑韧性，因此该钢管在后期使用时对管体内表面进行感应淬火得到一定厚度的马氏体，保证耐磨性，同时钢管外表面一定厚度为细片层珠光体组织，保证产品的塑韧性。根据耐磨管相变点温度及性能要求可以确定钢管的热处理工艺采用淬火＋低温回火工艺，由 CCT 曲线测定的相变点温度可以确定淬火温度一般控制在 A_{c3} 以上 30～50 ℃，低温回火温度一般控制在 150～250 ℃，消除淬火产生的应力防止裂纹产生，稀土耐磨管 BT－65MnRE的热处理工艺为 810 ℃ 以上淬火，

中国知网　https://www.cnki.net

180 ℃低温回火。

2.3.2 冷却介质的选择

淬火的冷却介质一般有水、水蒸气、风(空气)、油及特殊有机淬火液等,水冷、风冷及油冷等几种冷却方式是现场生产使用比较多的方式。考虑工厂批量作业的生产节奏及可操作性,油淬的生产节奏最慢,对环境的友好性较差,因此批量化大生产采用水冷和风冷居多,从试验钢的连续冷却转变过程可以看出,冷却速度大于20 ℃/s时,奥氏体大多转换成马氏体,经低温回火后稳定组织,为耐磨性提供一定的保障。因此淬火方式选择水冷较为合适,也适用于现场工业生产。

3 结论

(1)混凝土输送用稀土耐磨管BT-65MnRE的相变点A_{c1}为707 ℃、A_{c3}为764 ℃,建议该钢的淬火温度大于810 ℃,回火温度为180 ℃。

(2)当冷却速度为1~4 ℃/s时,试验钢BT-65MnRE室温显微组织为珠光体+先共析铁素体,当冷却速度为5~8 ℃/s时,室温显微组织为珠光体+贝氏体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度为10~30 ℃/s时,室温显微组织为珠光体+马氏体+少量铁素体,当冷却速度大于40 ℃/s时,室温显微组织为马氏体。

(3)结合经济性、环保性、现场生产效率及组织稳定性,建议淬火方式为水冷。

参 考 文 献

[1] 邢文静,杜晓东,丁厚福. 不同介质对三种钢的冲击腐蚀磨损性能的影响[J]. 材料热处理学报,2007,(3):20.

[2] 王雅静,刘宗昌,段宝玉. Hi3钢淬火、回火工艺及组织的研究[J]. 热处理,2013,(4):26-31.

(上接第40页)

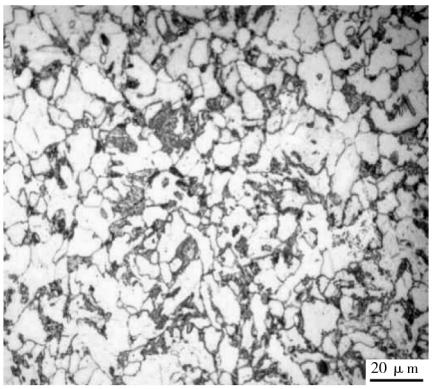


图6 重新回火处理后的组织(500×)

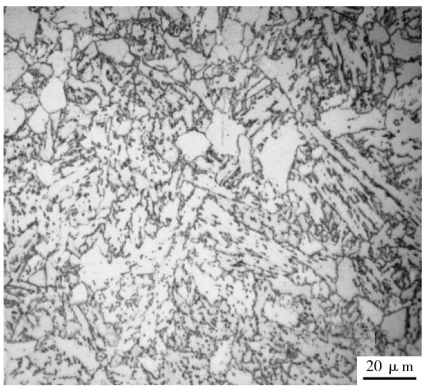


图7 重新正火+回火处理后的组织(500×)

3 结论

(1)当正火温度低于900 ℃或回火温度超过780 ℃时,12Cr1MoVG钢易产生黄块马氏体异常组织。

(2)12Cr1MoVG高压锅炉管材料无论是正火不足或是回火超温产生的黄块马氏体均应可采用重新正火+回火热处理予以消除。

参 考 文 献

[1] GB/T 5310—2017,高压锅炉用无缝钢管[S].

[2] 吴承建,陈国良,强文江. 金属材料学[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

中国知网 https://www.cnki.net