低碳中锰无缝钢管组织转变规律研究*

魏 淼,米永峰,石晓霞,姜海龙,张行刚,许博超

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以低碳中锰钢为研究对象,利用FORMASTOR-F全自动相变仪,测定了试验钢连续冷却转变的CCT曲线。结果表明:冷却速度为0.1~0.5 ℃/s时,室温组织为先共析铁素体+珠光体;冷却速度为1~2 ℃/s时,出现粒状贝氏体,室温组织为铁素体+珠光体+粒状贝氏体;当冷速为5~10 ℃/s时,贝氏体逐渐向马氏体转变,马氏体不断增加,室温下为马氏体+贝氏体混合组织;当冷速大于10.0 ℃/s,室温下为马氏体组织。为热处理工艺的制定提供了参考依据。

关键词: 低碳中锰钢;无缝管;连续冷却;CCT曲线;组织转变

中图分类号: TG142.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0062-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.017

Study on Law of Microstructure Transformation for Low Carbon Medium Manganese Seamless Steel Tube

Wei Miao, Mi Yong-feng, Shi Xiao-xia, Jiang Hai-long, Zhang Xing-gang, Xu Bo-chao

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the continuous cooling transformation (CCT) curve of test steel is determined with FORMASTOR-F full automatic phase transformation instrument by taking low carbon medium manganese steel as the object of study. The results showed that the microstructure at room temperature was proeutectoid ferrite + pearlite when the cooling rate was 0.1~0.5 ℃/s; when the cooling rate was 1~2 ℃/s, there was granular bainite and the microstructure at room temperature was ferrite + pearlite + granular bainite; when the cooling rate was 5~10 ℃/s, the bainite gradually transformed to martensite, so the martensite increased continuously and it was the mixed microstructure of martensite + bainite at room temperature; when the cooling rate was greater than 10.0 ℃/s, it was martensite structure at room temperature, which provide references for formulating heat treatment process.

Key words: low carbon medium manganese steel; seamless steel tube; continuous cooling; CCT curve; microstructure transformation

中锰钢同时具有高强度与高塑性,具有突出的竞争优势和广阔的市场前景。低碳中锰钢的综合力学性能取决于铁素体晶粒大小、组织组成以及显微组织的分布状态,显微组织贝氏体钢比相同碳含量的珠光体钢具有更高的强度。若采用贝氏体组织替代铁素体组织,钢中的珠光体将会显著提高钢的强

* 收稿日期:2021-05-06

作者简介:魏 淼(1989-),女,内蒙古包头市人,工程师,现从事无缝钢管的产品研发及质量攻关工作。

中国知网 https://www.cnki.net

度，而一定体积分数的铁素体作为韧性相可以提高强塑性。有学者认为，当钢中的碳含量低于 0.10% 时，珠光体影响的只是抗拉强度。为此，设计了该低碳中锰钢，对其连续冷却组织转变规律进行了研究，为热处理工艺的制定提供参考依据[1]。

1　试验材料及方法

1.1　材料

试验钢的化学成分如表 1 所示。

采用高炉铁水为原料，经铁水预脱硫处理、真空顶底复吹转炉冶炼、LF 钢包炉精炼、VD 真空处理、圆坯连铸、PQF 穿孔轧制而成，轧态无缝管规格为 Φ219 mm × 12 mm。在轧态无缝管头端切取300 mm 长试验样品，正火后加工成规格为 Φ3 mm × 10 mm 柱体共计 20 个。

表 1　试验钢的化学成分(质量分数)　%

C	Si + Mn	P	S	Al_s
<0.10	<4.0	≤0.015	≤0.005	≥0.020

1.2　CCT 曲线试验方法

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 900 ℃后保温 10 min，进行奥氏体化与成分均匀化处理；然后分别以 0.1 ℃/s、0.5 ℃/s、1.0 ℃/s、2.0 ℃/s、5.0 ℃/s 、10.0 ℃/s、15.0 ℃/s 的恒定冷却速度将试样冷却至室温，其连续冷却转变试验方案如图 1 所示。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，将相应的开始点和终点用曲线连接，从而绘制试验钢的过冷奥氏体连续冷却转变曲线，即 CCT 曲线[2]。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组织。

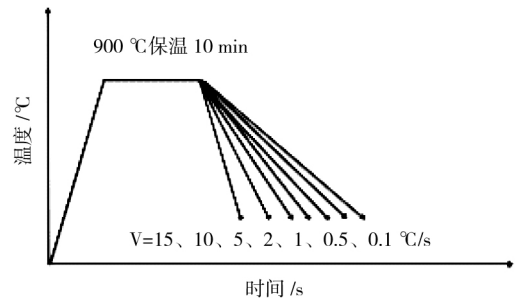


图 1　热模拟试验方案

2　试验结果及分析

CCT 曲线是确定各种钢生产轧制工艺的重要基础之一，是分析转变产物金相组织与性能的依据，也是制定热处理工艺的重要参考资料。可以系统地表示出热轧工艺参数、轧后在线冷却速度对钢材组织的影响，而且是衡量钢种成分、选用与之匹配轧制工艺参数的主要依据[3]。

2.1　试验钢的连续冷却转变图

由于钢的各相在结构、比热容和体积方面有所差异，因此在固态转变过程中由于体积的差异导致其膨胀曲线在相变时会产生拐点，利用切线法，用光滑曲线将相变点链接起来，即可得到 CCT 曲线。图 2为试验钢连续冷却转变 CCT 曲线。试验钢的各相变临界点：A_{r_1} 为 387 ℃，A_{r_3} 为 653 ℃，A_{c_1} 为 647 ℃，A_{c_3} 为 818 ℃，冷却速度从左到右依次是：15 ℃/s、10 ℃/s、5 ℃/s、2 ℃/s、1 ℃/s、0.5 ℃/s、0.1 ℃/s。

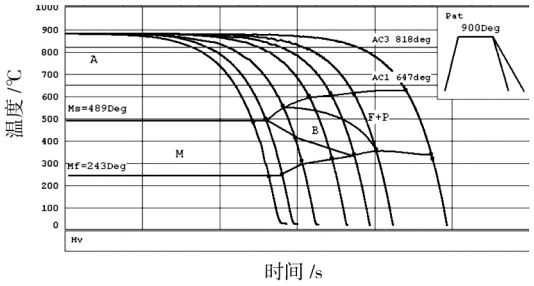


图 2　连续冷却转变 CCT 曲线

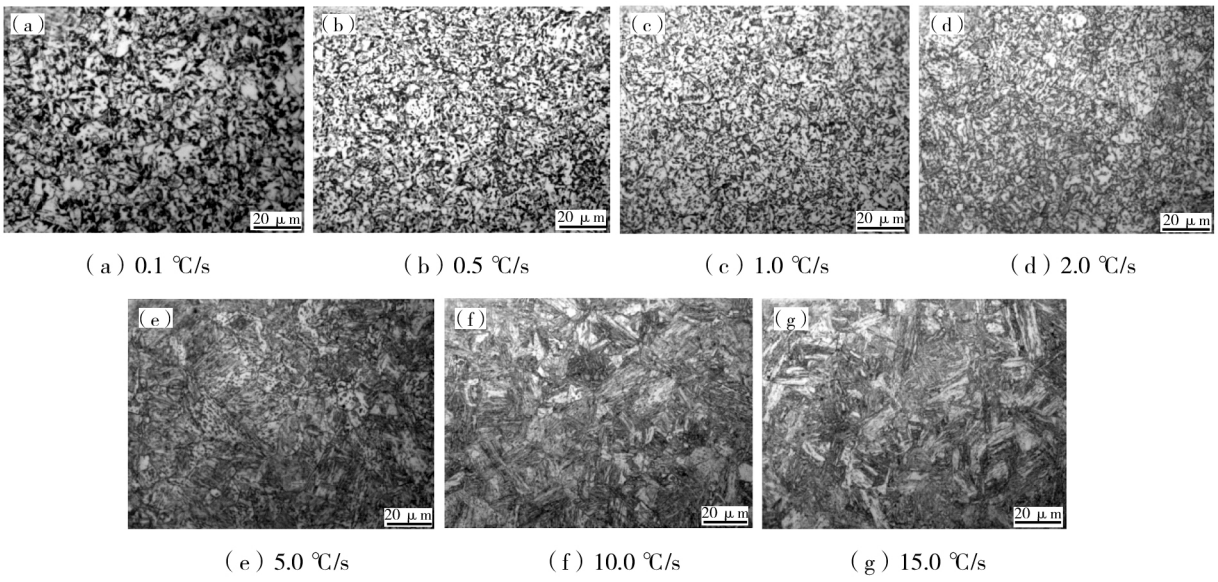
从图 2 可以看出，马氏体转变开始温度为 489 ℃，结束温度为 243 ℃。当冷却速度在 0.1 ~ 0.5 ℃/s范围进行连续冷却时，冷却曲线由奥氏体相区进入铁素体 + 珠光体相区，在此冷速范围内得到的室温组织为铁素体 + 珠光体的混合组织。当冷却速度为 1 ℃/s 时，冷却曲线跨过铁素体 + 珠光体相区，进入贝氏体相区，室温得到铁素体 + 珠光体 + 贝氏体组织。随着冷却速度的提高，当冷却速度为 2.0 ℃/s，曲线跨过贝氏体转变区，进入马氏体相区，贝氏体转变结束剩余奥氏体发生马氏体转变，此冷速范围内得到的室温组织为铁素体 + 珠光体 + 微量贝氏体 + 微量马氏体的混合组织。冷却速度为 5 ℃/s时，冷却曲线由奥氏体相区进入贝氏体相区，后进入马氏体相区，室温下得到贝氏体 + 马氏体组织。冷却速度为 10 ℃/s，仅发生马氏体转变，该冷

中国知网　https://www.cnki.net

却速度为马氏体转变临界冷却速度。

2.2 不同冷速下的组织分析

采用不同冷却速度冷却到室温的试样，通过镶嵌、抛磨及腐蚀，在蔡司显微镜下观察其金相显微组织，具体显微组织形貌见图3。冷却速度为0.1～0.5 ℃/s过冷奥氏体转变组织是白色铁素体+黑色珠光体，此冷速内随着冷却速度的增加，珠光体区域更加细小，且分布更弥散。当冷却速度为1.0 ℃/s时，出现了少量的粒状贝氏体。试验钢在较慢的冷速(1.0～2.0 ℃/s)下形成的贝氏体主要为粒状贝氏体，其特征是基体铁素体上分布岛状组织，岛状组织是平行排列不连续的长条状或颗粒状，其中长条状岛状物的铁素体基体为平行的针片状铁素体[3]；在较快的冷速(5.0～15.0 ℃/s)下贝氏体向马氏体转变，板条状马氏体逐渐增多，在板条马氏体基体上零星分布着细小的贝氏体，当冷却冷速达到10.0 ℃/s后，组织大多均转变为马氏体。



(a) 0.1 ℃/s (b) 0.5 ℃/s (c) 1.0 ℃/s (d) 2.0 ℃/s

(e) 5.0 ℃/s (f) 10.0 ℃/s (g) 15.0 ℃/s

图3 不同冷却速度下试验钢的显微组织

2.3 讨论

通过CCT曲线测得试验钢的A_{c_1}为647 ℃，A_{c_3}为818 ℃，该钢不仅要具有较好的韧性，同时还需要较好的塑性。热处理后获得索氏体将塑性提高，另外，采用调质处理可获得高的强度与韧性，实现强韧性良好匹配。因此，采用淬火+高温回火是该试验钢最佳选择。试验钢A_{c_1}为647 ℃，为了避免回火进入两相区，高温回火温度不宜超过647 ℃。根据经验，碳锰钢淬火温度一般为A_{c_3}以上30～70 ℃，中低合金钢为了保证合金元素充分溶于奥氏体中，可将温度适当提高，一般控制在A_{c_3}以上50～100 ℃左右，试验钢热处理工艺应为910 ℃淬火，640 ℃以下高温回火。

常用的淬火冷却介质有水、水溶液、矿物油、熔盐、熔碱等，工业生产中容易实现且成本较低的有水、冷风和油。水是冷却能力较强的淬火介质，而使用油作为淬火介质生产节奏较为缓慢，而且生产过程对环境不友好，一般情况下空冷的速度为3～6 ℃/s，根据天气、周围环境、试样大小实际冷却速度会有一些变化。因此，工业生产中大多数采用水冷或空冷。

从试验钢的连续冷却转变过程可以看出，冷却速度大于5 ℃/s时，奥氏体大多转换为马氏体，钢中马氏体含量越高，热处理后回火索氏体含量也越多，综合性能也就越好，因此采用水冷较为合理，也更适用于现场生产。

3 结论

(1) 试验钢的相变点为A_{c_1}为647 ℃，A_{c_3}为818 ℃。

(2) 低碳高锰试验钢当冷速为0.1～0.5 ℃/s

(下转第68页)

中国知网 https://www.cnki.net

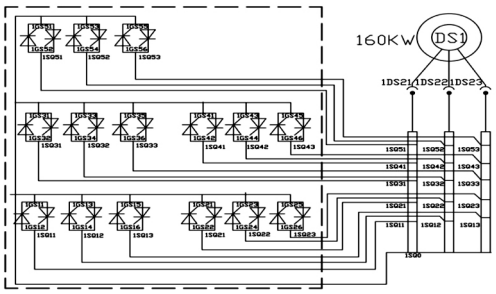


图5 电机二次控制原理

转子回路串入三相对称电阻变转差率调速既能限制起动电流，又能增大起动转矩，还可以提高功率因数，适用于大、中容量异步电动机重载起动[3]。为了有较大的起动转矩，使起动过程平滑，应在转子回路中串入多级对称电阻，并随着转速的升高，逐渐切除起动电阻。串电阻后，机械特性线性段斜率变大，特性变软。我们所采用的是五级电阻调速。

4 结束语

可控硅无触点的小电流控制大电流功能在钢管公司冶金吊车中使用，电气设备故障率低，维护简单，能够满足正常冶炼工序。

参 考 文 献

[1] 清华大学. 晶闸管电路 [M]. 北京: 科学出版社，1977.

[2] 武钢钢铁研究所. 可控硅技术 [M]. 北京: 中国工业出版社，1970.

[3] 李付亮. 电机及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社，2015.

(上接第64页)

时，室温组织为先共析铁素体+珠光体；冷却速度为1.0~2.0 ℃/s时，出现粒状贝氏体，室温组织为铁素体+珠光体+粒状贝氏体；当冷速为5.0~10.0 ℃/s时贝氏体逐渐向马氏体转变，马氏体不断增加，室温下为马氏体+贝氏体混合组织，当冷速大于10.0 ℃/s，室温下为马氏体组织。

(3) 结合现场生产效率和成本、环境保护及产品性能稳定性方面，建议该种低碳高锰钢采用淬火+高温回火热处理工艺。淬火采用水冷，淬火温度910 ℃；回火温度640 ℃。

参 考 文 献

[1] Xu Pingguang, Fang Hong sheng, Bai Bingzhe. New duplex microstructure of grain boundary allotriomorpnic ferrite/granulor bainite [J]. J Iron & Steel Res. Int, 2002,9(2):33-38.

[2] 石晓霞，张行刚，郭志文. 经济型抗CO_2腐蚀油井管热处理工艺研究 [J]. 包钢科技，2018，44(3):43-46.

[3] 彭海红，陈晔，李国宝，等. X60管线钢再结晶和过冷奥氏体连续冷却相变行为的研究 [J]. 钢铁钒钛，2006，27(4):34-37.

中国知网 https://www.cnki.net