

L360NB 管线钢连续冷却转变 (CCT) 曲线的测定和冷却速度对组织的影响

王 倩 袁泽喜 宋新莉

(武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 武汉 430081)

摘 要 用 Gleeble-1500 热模拟试验机测定了 L360NB 管线钢圆铸坯(/% : 0.14C, 0.32Si, 0.14Mn, 0.020Ti, 0.010V, 0.038Nb, 0.040Al) 的连续冷却转变 (CCT) 曲线, 并用光学显微镜观察了 0.1 ~ 50 °C/s 冷却速度的组织。结果表明, 当冷却速度为 0.1 °C/s 时, 钢的组织主要为板条贝氏体和准多边形铁素体, 有少量针状铁素体, 当冷却速度 ≥ 1.0 °C/s, 准多边形铁素体减少, 板条状贝氏体和针状铁素体增加; 当冷却速度 ≥ 10 °C/s 时试样的组织主要为板条状贝氏体和针状铁素体, 准多边形铁素体很少, 在 50 °C/s 时未观察到块状准多边形铁素体, 说明 Nb、V、Ti 复合微合金化促进贝氏体形成。

关键词 L360NB 管线钢 CCT 曲线 组织

Measurement of CCT Curves and Effect of Cooling Rate on Structure of a Pipe Line Steel L360NB

Wang Qian, Yuan Zexi and Song Xinli

(Key Lab for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The continuous cooling transformation (CCT) curves of Round casting bloom of pipe line steel L360NB (/% : 0.14C, 0.32Si, 0.14Mn, 0.020Ti, 0.010V, 0.038Nb, 0.040Al) has been measured by a Gleeble-1500 thermal simulation machine, and the structure of steel with cooling rate 0.1 ~ 50 °C/s is observed by optical microscope. Results show that with cooling rate 0.1 °C/s the main structure of steel is lath bainite + quasi-polygonal ferrite with minor acicular ferrite, with cooling rate ≥ 1.0 °C/s the quasi-polygonal ferrite decreases and the lath bainite and acicular ferrite increase, as cooling rate ≥ 10 °C/s the main structure in specimen is lath bainite + acicular ferrite with minor quasi-polygonal ferrite, as 50 °C/s the block quasi-polygonal ferrite is not observed in specimen, it is indicated the Nb-V-Ti compound alloying promotes the formation of bainite.

Material Index Pipe Line Steel L360NB, CCT Curves, Structure

随着石油天然气及其它能源的开发, 管线钢的生产获得迅速的发展, 用管线输送油气等能源, 具有经济、安全、高效的优点^[1]。L360NB 是新型无缝钢管用低碳微合金钢, L360NB 流体管线管用于石油、天然气工业中的气、水、油运输, 如海底管线, 低温管线, 其屈服强度大于 360 MPa。本文是通过热模拟机以及热磁仪测试出其 CCT 曲线, 以便在生产中采取正确的生产工艺, 使 L360NB 钢有优良的性能。

1 实验材料与方案

实验用钢为衡阳华菱钢管(集团)有限公司生产的 L360NB 无缝钢管连轧管坯, 其为热轧的无缝钢管, 工艺流程为: 圆管坯→加热→穿孔→三辊斜轧、连轧或挤压→中间冷却→再加热→定径(或减径)→冷却→矫直→水压试验(或探伤)→标记→入库。其化学成

分见表 1。

衡阳钢管厂生产的管坯外径为 48.3 mm, 管坯厚度为 10.2 mm。将管坯切割并加工成 $\Phi 8$ mm \times 12 mm 的圆柱体试样, 要求试样表面光滑。

将试样放进膨胀仪中进行加热, 最高温度为 950 °C。从室温到 500 °C 范围内加热速度可以快点。每 5 °C 记一次数据。500 °C 以后加热速度应控制在 1 ~ 2 °C/min, 并且每分钟记一次数据。通过线膨胀实验记录的数据作出其膨胀曲线, 并由膨胀曲线的拐点确定钢的临界温度。

将试样放入 Gleeble-1500 热模拟试验机的工作室中, 抽真空并充入惰性气体保护试样不发生氧化,

表 1 试验 L360NB 管线钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of test pipe line steel L360NB / %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	V	Nb	Al
0.14	0.32	0.14	0.015	0.012	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02	0.01	0.038	0.04

接着以 10 °C/s 速度加热到 930 °C,保温 3 min 进行奥氏体化,分别以 0.05 ~ 50 °C/s 共 11 个冷却速度进行冷却,自动记录在不同冷却速度下试样的线膨胀变化与温度的关系曲线及数据,将各个冷却速度所测得的具有相同意义的组织相变点连接起来即绘制成 T-t 形式的 CCT 曲线图^[2]。

将热膨胀试样镶样磨光,再经抛光机抛光,然后用 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀,在光学显微镜下观察其组织^[3]。

2 实验结果与分析

2.1 相变临界点测试

当钢发生固态相变时,由于新、旧两相结构和比热容不同,材料的体积将发生不连续变化,因而,热膨胀曲线在相变发生的温度处形成拐点,图 1 中曲线 1 是升温过程测量的线膨胀 L-T 曲线,用来确定 Ac_1 和 Ac_3 相变临界点;而曲线 2 是降温过程测量的 L-T 曲线,用来确定 Ar_1 和 Ar_3 相变临界点。据此可以通过线膨胀实验测量到 L360NB 钢的相变临界点^[4]。L360NB 钢的线膨胀曲线如图 1 所示。取两线膨胀曲线所测相变临界点(温度)的平均值列于表 2。

2.2 CCT 曲线

根据热模拟数据作出各个冷却速度的线膨胀曲线,并将具有相同物理意义的点连接起来,得到 L360NB 钢的 CCT 曲线图如图 2 所示。

图 2 的 L360NB 钢 CCT 曲线表明,在各个冷却速度下都得到铁素体、贝氏体。

2.3 金相组织及硬度

L360NB 钢在各冷却速度下的金相组织图如图 3 所示。

由图 3 看出,当冷却速度为 0.1 °C/s 时,所观察的组织基本上是板条贝氏体 BF 和大块状的准多边形铁素体 QF(晶界边界清晰不规则,呈任意弯曲状或锯齿状),还加上少量细小成角度的针状铁素体 AF,由于该钢含 Nb 量较多,奥氏体化温度 930 °C 正是 Nb 的碳氮化物大量析出并长大的温度,微量 Nb 不仅是形成有一定取向差的多边形胞状亚结构的必要条件,同时大颗粒的 Nb 析出物也是贝氏体相变前形成晶内针状铁素体(或粒状贝氏体条带)核心的有利位置^[5],冷却速度慢通过铁素体转变区时间

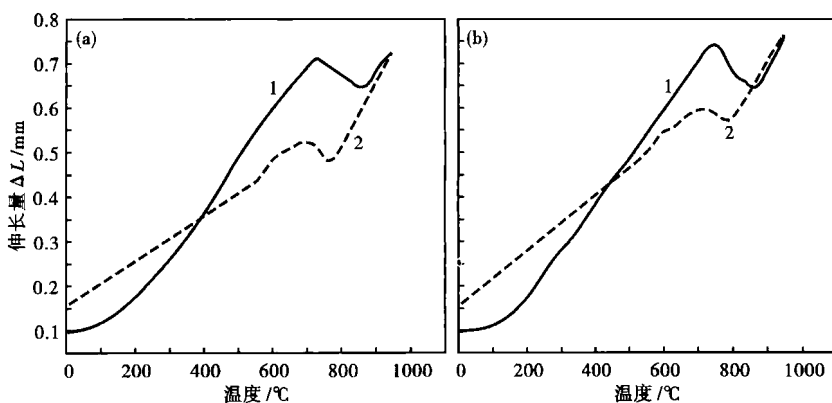


图 1 L360NB 管线钢线膨胀曲线:曲线 1-升温;曲线 2-降温;(a) 第 1 次试验;(b) 第 2 次试验

Fig. 1 Linear extension curves of pipe line steel L360NB: 1- heating; 2- cooling; (a) 1st test; (b) 2nd test

表 2 试验 L360NB 管线钢的相变临界点

Table 2 Critical point of phase transformation of test pipe line steel L360NB

相变点测定	Ac_1	Ac_3	Ar_1	Ar_3
温度/°C	734	859	691	762

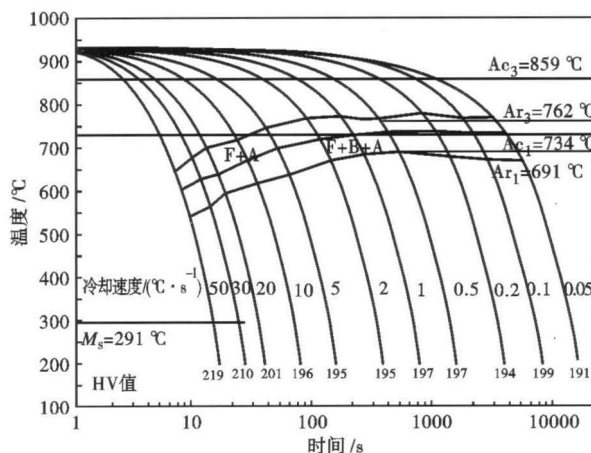


图 2 试验 L360NB 管线钢的 CCT 曲线

Fig. 2 CCT curves of test pipe line steel L360NB

较长,铁素体转变量较多。

当冷却速度达到 1.0 °C/s 时,试样的组织还是板条贝氏体和准多边形铁素体,虽然试样的金相组织中都有铁素体和贝氏体,但是随着冷却速度的增加而准多边形铁素体有所减少,板条贝氏体含量增加,针状铁素体也增加。

当冷却速度为 10.0 °C/s 时,试验钢的组织开始以条状贝氏体和针状铁素体组织为主,大块状准多边形铁素体进一步减少,并且块状减小,而且含量很少。

当冷却速度为 50.0 °C/s 时,此时组织基本为板条贝氏体和针状铁素体,基本不出现大块状的准多

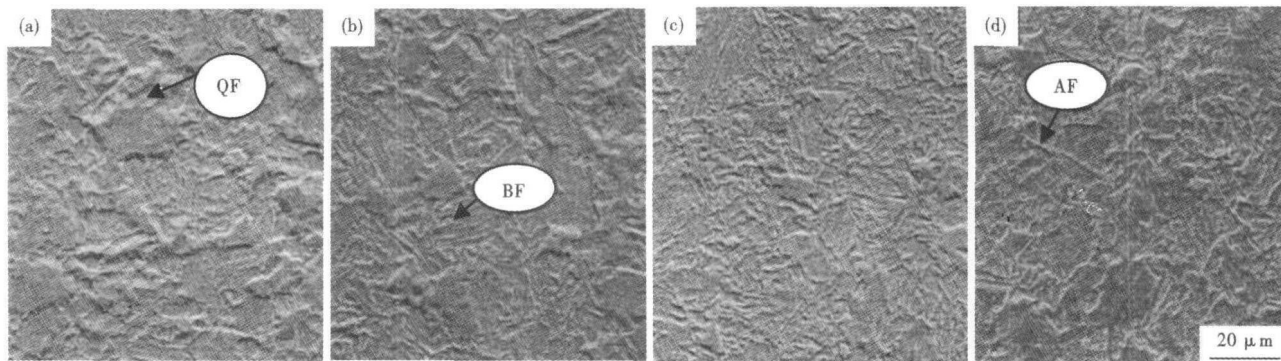


图 3 试验 L360NB 管线钢在不同冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) 下的显微组织: (a) 0.1; (b) 1.0; (c) 10.0; (d) 50.0

Fig. 3 Morphology of test pipe line steel L360NB with cooling rate $/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$ 0.1 (a), 1.0 (b), 10.0 (c) and 50.0 (d)

边形铁素体。由于冷却速度的增加,准多边形铁素体逐渐转变为板条贝氏体和针状铁素体,同时贝氏体组织更加细小。

由图 3 金相组织可以看出,各种冷却速度下的试样组织比较细小,主要是由于 L360NB 钢中含有较多的合金元素, Nb、V、Ti 共有 0.07%, 含量较高。铌的加入还可有效发挥细化晶粒和弥散强化的作用,提高钢的硬度和耐磨性^[6]。由于微合金元素形成了碳氮化物,夺走了基体的碳使得基体的碳含量较低,微合金碳氮化合物为针状铁素体和无碳贝氏体提供了形核位置以致随着冷却速度的变化,形成大量的贝氏体和针状铁素体。钢材在 930 $^{\circ}\text{C}$ 奥氏体化后析出长大和保留一定量的微合金元素碳氮化物,使得奥氏体晶内形成较多细小的针状铁素体,将接下来转变的贝氏体分隔开来,形成的贝氏体非常细小。

在各个冷却速度下试验钢都形成了的条状贝氏体而没有珠光体,表明较多微合金元素的添加,有利于促进贝氏体的形成。由于在低的冷却速度范围内都能得到细的针状铁素体和板条贝氏体,该钢除了满足强度指标并有较大的富余量之外,冲击功达到 200 J 以上,满足了高强韧无缝管线钢的要求。

由图 2 可以看出,在各个冷却速度下硬度变化不大,最大值和最小值仅相差 HV28。冷却速度快得到板条贝氏体较多,因为相比准多边形铁素体,板条贝氏体的亚结构和位错密度较高,因而硬度稍高,冷却速度降低得到有准多边形铁素体,硬度稍有降低。由于在各个冷却速度下组织主要为贝氏体和铁素体,且在不同冷却速度下都非常细小。所测硬度和组织相对应,符合实际规律。

3 结论

(1) 当冷却速度为 0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,所观察的组织

基本上是板条贝氏体和准多边形铁素体,还加上少量针状铁素体。当冷却速度达到 1.0 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,试样的组织中准多边形铁素体有所减少,板条贝氏体含量增加,针状铁素体也增加。

(2) 当冷却速度达到 10 ~ 50 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,试样的组织主要为条状贝氏体,加上针状铁素体,准多边形铁素体不断下降,到最后基本不出现准多边形铁素体。

(3) L360NB 钢的金相组织中都有准多边形铁素体,针状铁素体和贝氏体,但是随着冷却速度的增加准多边形铁素体的量下降而板条贝氏体和针状铁素体的含量增加。

(4) 由于微合金元素 Nb、V、Ti 的总含量较高,在不同冷却速度下,所得组织均有贝氏体和针状铁素体。说明微合金元素促进了贝氏体的形成而抑制了珠光体的形成。

参考文献

- 胡根荣,庞志忠,潘振华,等. 济钢中板 L360 管线钢的开发与应用[J]. 甘肃冶金, 2010, 32(6): 22-24.
- 李慧琴,杨慧,王贵,等. U74 重轨钢 CCT 曲线测定及显微组织研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2002, 25(2): 42-44.
- 左碧强,王岩,米振莉,等. 管线钢 X80 的 CCT 曲线研究[J]. 材料热处理技术, 2010, 39(4): 12-14.
- 李红英,林武,宾杰,等. 低碳微合金管线钢过冷奥氏体连续冷却转变[J]. 中南大学学报, 2010, 40(3): 923-928.
- 贺信莱,王学敏,杨善武,等. 微量铌在现代超低碳贝氏体钢中的应用[A]. 付俊岩. 铌在钢中的应用-微合金化技术国际研讨会论文集[C]. 北京: 中信金属公司, 2010.
- 徐国义,徐征,丁霖溥. 用 CCT 图研究 Mo2Nb 钢铸态贝氏体组织的形成[J]. 金属热处理, 2002, 27(9): 25-27.

王倩(1986-),女,硕士研究生,油井管控冷工艺研究。

收稿日期: 2012-03-16