

低碳高强船板钢连续冷却转变规律研究

孙秀伟^{a,b}, 梁国俐^{a,b}

(唐山学院 a. 机电工程系; b. 机械工程省级实验教学示范中心,河北 唐山 063000)

摘要:以低碳高强船板钢为研究对象,用热膨胀法、金相法测得了试验钢的连续冷却转变曲线,并对试验钢连续转变曲线 CCT 测定过程的各个冷却速度下的显微组织分别予以讨论。结果表明,尽管试验钢连续转变曲线 CCT 测定过程出现组织多元化、形成机制复杂化的现象,但仍然可以按照相变组织简单归类为多边形铁素体(PF)和珠光体(P)、退化珠光体(PD)、贝氏体(B)、马氏体(M)。其中 PF 和 P 为近似平衡态相变,因 PD 的形成需要局部或一定的过冷度,故它是非平衡转变产物。

关键词:高强度船板钢;连续冷却;转变曲线;微观组织

中图分类号:TG142.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2017)06-0028-04

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2017.06.007

A Research on the Rules of Continuous Cooling Transformation of Low-carbon and High-strength Ship Plate Steel

SUN Xiu-wei^{a,b}, LIANG Guo-li^{a,b}

(a. Department of Mechanical and Electrical Engineering; b. Provincial Experimental Teaching Demonstration Center of Mechanical Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: With low-carbon and high-strength ship plate steel as the research subject, and applying the thermal expansion method and the metallographic method, the authors of this paper acquired the continuous transformation curve of the tested steel, and analyzed the microstructure in the measurement process of the continuous cooling transformation curve at different cooling rates. The results show that although the measurement process of CCT of tested steel demonstrates the complicated features of organizational diversity and complexity of the formation mechanism, CCT can be roughly classified as polygonal ferrite (PF) and pearlite (P) Pearlite (PD), and bainite (B), martensite (M), among which, PF and P are nearly equilibrated phase transitions, and PD is a non-equilibrium transformation product, because its formation requires local cooling or certain supercooling.

Key Words: high-strength ship plate steel; continuous cooling; transformation curve; microstructure

基金项目:河北钢铁联合基金项目(E2015105052)

作者简介:孙秀伟(1979—),女,河北唐山人,讲师,硕士,主要从事金属材料及模具设计研究。

0 引言

随着世界经济和贸易的增长,船舶需求量不断上升,由此船板钢生产得到了快速发展,同时市场对船板钢的质量要求也越来越高。普通强度级别的A,B级船板钢与造船业的快速发展极不相称,已不能满足用户和市场的需要,因此,世界各大钢铁企业在不断进行DH,EH,FH系列高强度船板钢的研发^[1-3]。该系列船板钢具有高强度、高韧性的特点,是低合金钢的升级产品和一般强度船板钢的替代产品,该级别钢板在发达国家因其低碳、低合金、高强度、耐蚀性和优良的韧性被广泛应用^[3-6]。但是对于高强度船板钢,随着强度级别的提高,碳及一些合金元素的加入,容易使焊接热影响区出现脆硬组织,进而增加裂纹倾向,使焊接接头成为焊接结构的薄弱区域,这将直接影响焊接接头的力学性能和承载能力^[7]。焊接接头热影响区软化是细晶粒钢焊接时普遍存在的问题,因此解决高强度船体结构钢的焊接成形问题,已经成为高强度船板钢能否得到有效应用的关键^[8-11]。

本文以低碳高强船板钢为研究对象,用热膨胀法、金相法测定试验钢的连续冷却转变曲线,分析不同冷却速度下生成的显微组织,由此总结低碳高强度船板钢连续冷却的转变规律。

1 试验材料及方法

试验材料为低碳高强度船板钢,在热轧板上取Φ3 mm×10 mm的标准热膨胀试样。其化学成分(wt%)为:0.075C,1.35Mn,0.014P,0.002S,0.18Si,0.19Ni,0.05Cr,0.03Cu,0.032Al,0.09Mo,0.04V,0.012Ti。

在Formastor-Digitalq全自动相变仪上测定静态CCT曲线,工艺为:在真空状态下以10 °C/s的加热速度将试验钢加热到1200 °C并保温300 s后,再以10 °C/s的冷却速度冷却到850 °C保温30 s。为了观察不同冷却速度下试样的室温组织,分别以0.03 °C/s,0.06 °C/s,0.14 °C/s,0.30 °C/s,1.0 °C/s,1.5 °C/s,4.2 °C/s,9 °C/s,17 °C/s,42 °C/s的冷却速度将试样冷却至室温,测得试样在冷却过程中的

膨胀曲线,图1为测定CCT曲线的工艺示意图。冷却至室温的试样用4%硝酸乙醇溶液侵蚀,利用OLYMPUS金相显微镜对每一冷却速度的试样的金相组织分别进行计算机采集。

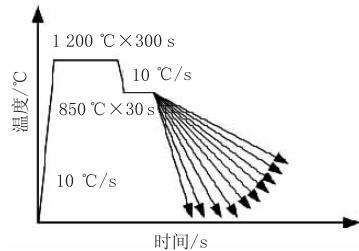


图1 测定CCT曲线的工艺示意图

2 结果与分析

2.1 试验钢的相变温度点

以200 °C/h(即0.06 °C/s)的冷却速率测得试验钢临界相变温度点,如表1所示。

表1 试验钢的临界相变温度点

临界点	Ac ₃	Ac ₁	Ar ₃	Ar ₁
温度/°C	850	680	750	600

不同冷却速度下相变温度点如表2所示。

表2 不同冷却速度下的相变温度点

冷却速度/(°C·s ⁻¹)	0.03	0.06	0.14	0.30	1.0	1.5	4.2	9	17	42
Ar ₃ /°C	762	750	739	732	703	626	617	597	568	512

从表2可以看出,随冷却速度的不断增加,相变温度点出现逐渐下降的趋势,实测结果符合理论上的变化趋势。

2.2 CCT曲线

根据不同冷却速度下的温度—膨胀量曲线,找出不同冷却速度下的各种相变起始点温度和终止点温度,同时结合金相—硬度试验法可以得到如图2所示的试验钢的CCT曲线图。

从图2中可以看出,当以不同冷却速度冷却时,试验钢存在三种相变区:奥氏体向铁素体和珠光体转变、贝氏体转变、马氏体转变。在小于1.0 °C/s的冷却速度范围内,相变组织为铁素体和珠光体;在1.5~17 °C/s冷却速度范围内,相变产物为全部贝氏体组织。试样结果没有测得马氏体转变点,其马氏体转变温度根据理论公式计算得458 °C,根据实测结果显示,当

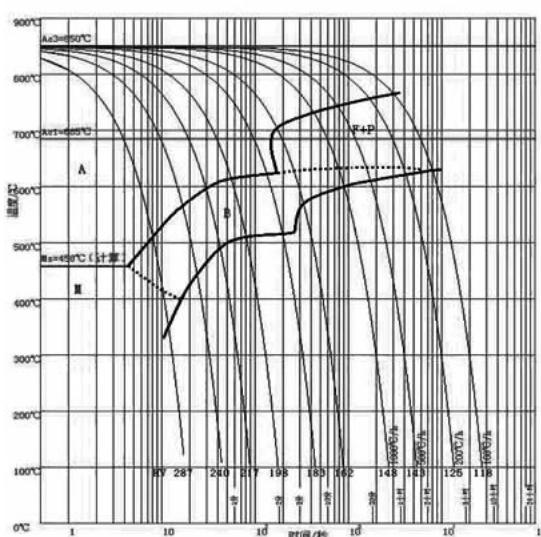
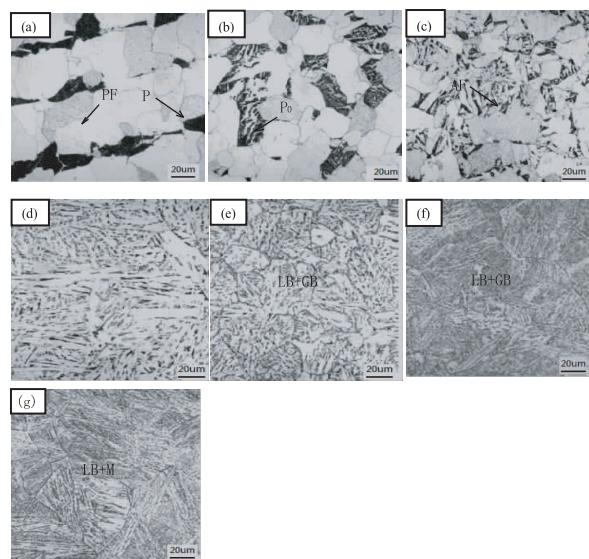


图 2 试验钢的 CCT 曲线

冷却速度达到 $42^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 相变组织为马氏体与贝氏体的混合组织。

2.3 不同冷却速度对试样钢显微组织的影响

图 3 为试验用钢在不同冷却速度条件下的金相组织。



(a) $0.03^{\circ}\text{C}/\text{s}$, (b) $0.30^{\circ}\text{C}/\text{s}$, (c) $1.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$, (d) $1.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$,
(e) $4.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$, (f) $17^{\circ}\text{C}/\text{s}$, (g) $42^{\circ}\text{C}/\text{s}$

图 3 试验钢不同冷却速度条件下的金相组织

由图可见, 当冷却速度为 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 其显微组织为多边形铁素体 PF 和珠光体 P, 硬度为 118 HV , 铁素体 PF 为大块近似等轴多边形状, 珠光体 P 分布在多边形铁素体 PF 的晶界

上,且晶粒较为粗大,约为 $40 \mu\text{m}$,如图 3(a)所示。当冷却速度提高到 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,珠光体 P 开始部分退化,形成退化珠光体 PD。以往在中高碳钢中发现,退化珠光体一般需要有较大过冷度,其保温温度一般为 $400\sim600^{\circ}\text{C}$,且需要一定的孕育期。关于退化珠光体的精细结构需要借助透射电镜(TEM)观察,一般认为退化珠光体与珠光体在形貌上的区别为:退化珠光体是非片层相间形貌,通过铁素体和渗碳体分别独立生长而成,而珠光体是片层相间形貌,通过铁素体和渗碳体协同交替生长而成;退化珠光体是在连续冷却相变过程中由富碳奥氏体转变而成的,在奥氏体向铁素体转变过程中,碳向未相变奥氏体富集,碳是奥氏体稳定化元素,富碳的奥氏体稳定性很高,相变温度降低,在较低的相变温度下,相变驱动力较大,导致渗碳体和铁素体分别独立形成。从图 3(b),3(c),3(d)可以看出,随着冷却速度的增大,珠光体退化现象更加明显再次印证这一点。

但是,通常在上述的低冷却速度下,近似平衡态的相变过程,难以发生珠光体的退化现象,究竟是什么因素驱使珠光体提早退化的?这或许与微合金元素过多、对组织形成转变的耦合作用、轻微的局部过冷或成分偏析对低碳钢起到迅速放大的作用有关,还有待于进一步深入研究。由图 3(b)可见,其组织为多边形铁素体 PF+珠光体 P+退化珠光体 PD,随冷却速度增大,组织逐步细化。

由图 3(c)可见,当冷却速度达到 $1.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,组织转变出现了少量的针状铁素体 AF,组织进一步细化,PF 约 $20 \mu\text{m}$ 左右。因 AF 在晶内形核并长大,对组织起到分割作用,故能有效地提高钢的力学性能。针状铁素体 AF 组织是在连续冷却过程中形成的,具有高的亚结构和位错密度的非等轴铁素体,并带有一定数量的岛状马氏体和渗碳体组织,具有切变和扩散混合型相变机制,形成温度略高于上贝氏体的形成温度。由图 3(d)可见,当冷却速度在 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,相变组织组成以粒状贝氏体 GB 为主和少量的板条贝氏体 LB 组织。由图 3(e),

3(f)可见,当冷却速度在 $4.2\sim17^{\circ}\text{C/s}$ 时,相变组织组成以典型板条贝氏体为主和少量的粒状贝氏体组织。进一步提高冷却速度到 42°C/s 时,出现了马氏体M为主和少量板条贝氏体的混合组织,如图3(g)所示。

3 结论

(1)用热膨胀法和金相法测定了试验钢的连续冷却转变曲线,以 0.06°C/s 的冷却速度测得相变临界点 $\text{Ac}_3=850^{\circ}\text{C}$, $\text{Ac}_1=680^{\circ}\text{C}$, $\text{Ar}_3=750^{\circ}\text{C}$, $\text{Ar}_1=600^{\circ}\text{C}$ 。

(2)对试验钢CCT曲线测定过程的各个冷却速度进行分析,结果表明,当冷却速度为 0.03°C/s 时,相变组织为PF+P;冷却速度为 $0.06\sim0.30^{\circ}\text{C/s}$ 时,出现了退化珠光体PD,相变组织为PF+P+PD;冷却速度为 1.0°C/s 时,出现针状铁素体,相变组织为PF+P+PD+AF;冷却速度为 1.5°C/s 时,相变组织为GB+LB;冷却速度为 $4.2\sim17^{\circ}\text{C/s}$ 时,相变组织为LB+GB;冷却速度为 42°C/s 时,相变组织为LB+M。

参考文献:

- [1] 马成勇,田志凌.超低碳贝氏体钢及其焊接特性[J].钢铁,2002,37(6):68-73.
- [2] 岳重祥,张淑娟,刘东升.特厚NV-F690船板的组织与性能[J].金属热处理,2012,37(9):58-63.
- [3] Mitsuo Hisata, Takanori Miyake. 420MPa

(上接第27页)

参考文献:

- [1] Sharifullah Khan, Muhammad Bial. Bitmap index in ontology mapping for data in-

yield strength steel plate with superior fracture toughness for arctic offshore structures[J]. Kawasaki Steel Technical Report, 1999(40):49-55.

- [4] 习天辉,陈晓,袁泽喜,等.大线能量焊接用钢热影响区组织和性能的研究进展[J].特殊钢,2003,24(5):1-5.
- [5] 梁国俐,武会宾,杨善武,等.焊接热输入对微铝处理F40船板钢热影响区组织的影响[J].材料热处理学报,2013,34(5):76-79.
- [6] 武会宾,梁国俐,唐荻.大热输入焊接EH36船板钢接头力学性能[J].焊接学报,2012,33(2):57-60.
- [7] 杨汉,王西霞,曲锦波.E550船板钢焊接热影响区的组织和性能[J].钢铁研究学报,2013,25(11):35-41.
- [8] 郭桐,韦明.改善大线能量焊接韧性的冶炼技术研究[J].宽厚板,2007(2):57-62.
- [9] 陈建华,张喜燕,刘攀,等.低碳微合金钢中碳化钛的等温析出行为[J].机械工程材料,2014,38(5):48-51.
- [10] 陈妍,齐殿威,吴美庆.国内外高强度船板钢的研发现状和发展[J].特殊钢,2011,32(5):26-30.
- [11] 朱亮,陈剑虹.热影响区软化焊接接头的强度及变形[J].焊接学报,2004,25(2):61-65.

(责任编辑:夏玉玲)

tegration[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2013, 38(4):859-873.

- [2] 王慧.移动校园系统数据传输关键技术研究与实现[D].青岛:中国海洋大学,2014.

(责任编辑:夏玉玲)