

· 组织和性能 ·

压力容器用 14Cr1MoR 钢奥氏体连续冷却转变曲线

赵燕青¹ 吴艳阳² 刘艳丽¹ 陈振业¹ 张 鹏¹ 刘宏强¹

(1 河北钢铁技术研究总院,石家庄 050000;2 河北钢铁集团舞阳钢铁有限责任公司,平顶山 462500)

摘 要 利用膨胀仪测定了 14Cr1MoR 钢(/% : 0.01C, 0.66Si, 0.80Mn, 0.006P, 0.003S, 1.72Cr, 0.31Mo, 0.01Nb)的临界点及连续冷却转变曲线并研究了冷却速度对试验钢的组织及显微硬度的影响。结果表明,当冷却速度为 0.1 ~ 1 ℃/s 时,试验钢的转变组织为铁素体和珠光体;2 ~ 5 ℃/s 时,试验钢得到铁素体、珠光体以及少量粒状贝氏体的混合组织;10 ℃/s 时,试验钢组织为铁素体和粒状贝氏体;15 ~ 20 ℃/s 时为板条贝氏体组织;25 ~ 50 ℃/s 时,该钢得到板条贝氏体和马氏体的混合组织。

关键词 压力容器用钢 14Cr1MoR 奥氏体 连续冷却转变曲线 组织

Continuous Cooling Transformation Curves of Austenite of Steel 14Cr1MoR for Pressure Vessel

Zhao Yanqing¹, Wu Yanyang², Liu Yanli¹, Chen Zhenye¹, Zhang Peng¹ and Liu Hongqiang¹

(1 Hebei Iron and Steel Technology Research General Institute, Shijiazhuang 050000;
2 Wuyang Iron and Steel Co Ltd, Hebei Iron and Steel Group, Pingdingshan 462500)

Abstract The critical points and continuous cooling transformation curves of steel 14Cr1MoR (/% : 0.01C, 0.66Si, 0.80Mn, 0.006P, 0.003S, 1.72Cr, 0.31Mo, 0.01Nb) are measured by dilatometer, and the effect of cooling rate on structure and microhardness of test steel is studied. Results show that with cooling rate 0.1 ~ 1 ℃/s the transformed structure of tested steel is ferrite and pearlite; with 2 ~ 5 ℃/s the tested steel obtains mixed structure of ferrite, pearlite and minor granular bainite; with 10 ℃/s the structure of test steel is ferrite and granular bainite; with 15 ~ 20 ℃/s the structure is lath bainite; and with 25 ~ 50 ℃/s the steel gets the mixed structure of lath bainite and martensite.

Material Index Steel 14Cr1MoR for Pressure Vessel, Austenite, Continuous Cooling Transformation Curves, Structure

14Cr1MoR 钢属于压力容器用钢,该钢种不仅具有高的强度,较好的韧性和弯曲性能,还具有较高的抗氢性能,综合性能优异^[1],是普遍使用的热强钢和抗氢用钢^[2],被广泛用于制造石油化工行业的临氢设备等大型装置^[3]。分析 14Cr1MoR 钢的连续冷却转变曲线是制定大生产热处理工艺的重要参考依据,为此本文测定并绘制了该钢种的连续冷却转变曲线,分析了奥氏体不同冷却速度下的组织特点,为工业性大生产制定热处理工艺提供参考依据。

1 试验材料与方法

试验所用材料取自于钢厂的 14Cr1MoR 钢板,表 1 所示为试验钢的化学成分,从钢板上取样加工成 Φ4 mm × 10 mm 尺寸的试样,利用膨胀仪检测试验钢的临界点,将试样以 0.05 ℃/s 的冷却速度加热至 1 000 ℃,保温 10 min 后将试样以 0.05 ℃/s 的冷却速度冷至室温,确定试验钢的临界点。试验钢的 CCT 曲线的测定工艺为,以 10 ℃/s 的加热速度将试样加热至 930 ℃,保温 5 min 后以 0.1、0.5、1、2、

表 1 试验 14Cr1MoR 钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of tested steel 14Cr1MoR / %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Mo
0.10	0.66	0.80	0.006	0.003	0.10	1.72	0.01	0.31

5、10、15、20、25、30、50 ℃/s 的冷却速率将试样冷至室温,确定试验钢的相变温度。绘制出试验钢的连续冷却转变曲线。利用 Zeiss 显微镜分析奥氏体不同冷却速度转变后的显微组织,利用维氏硬度计测试试验钢的维氏硬度。

2 试验结果与分析

2.1 试验钢的临界点
利用膨胀仪测定了试验钢的临界点,测定结果为 Ac₁ = 760 ℃, Ac₃ = 880 ℃。

2.2 试验钢不同冷却速度冷却后的显微组织
图 1 为试验钢奥氏体化后不同冷却速度下的光学显微组织。从图 1 中可以看出,试验钢在 0.1 ~ 1 ℃/s 冷却速度范围内得到铁素体和珠光体组织,且随着冷却速度的增加,珠光体含量逐渐增多,铁素体

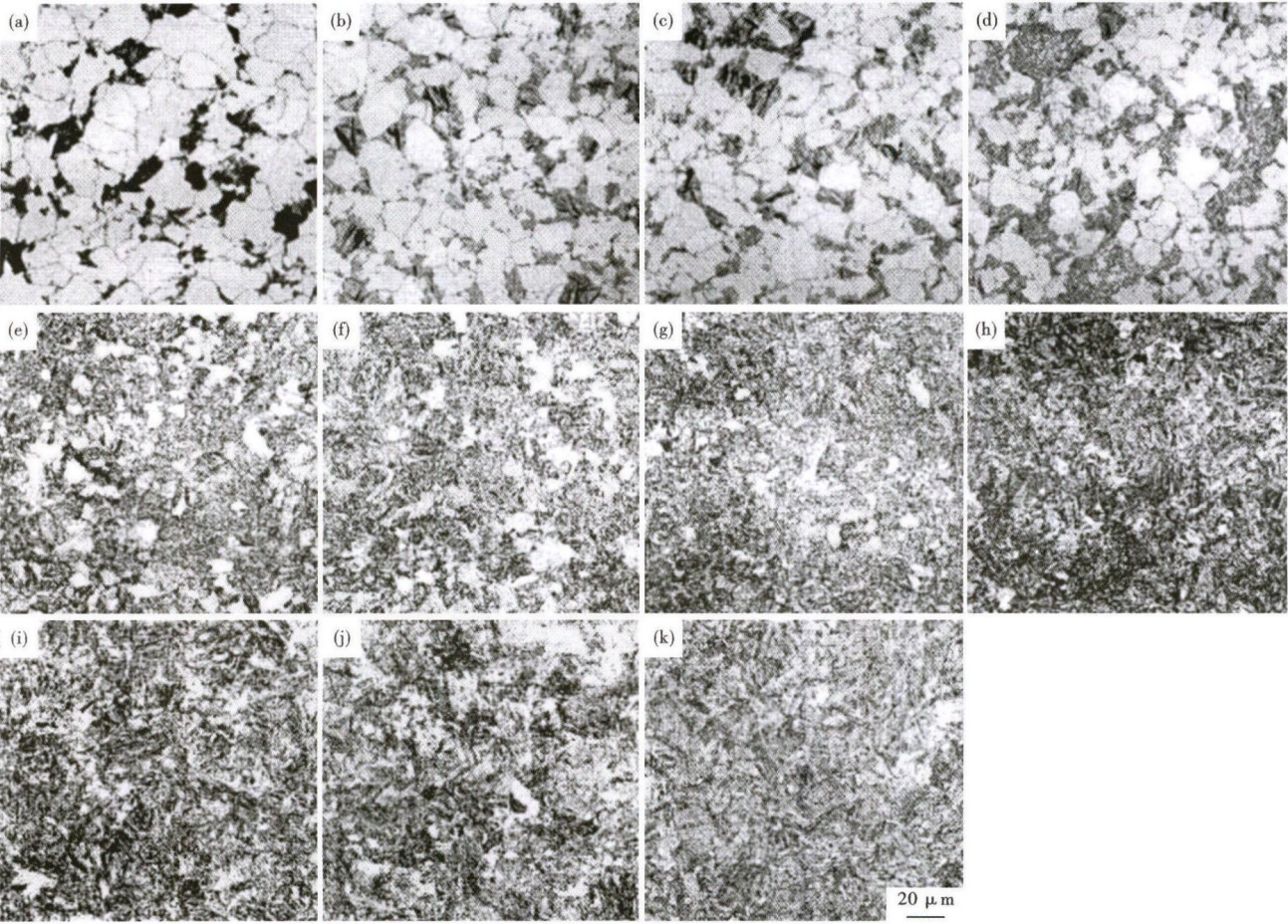


图 1 14Cr1MoR 钢奥氏体连续冷却转变后的组织,冷却速度/ $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$: (a)0.1, (b)0.5, (c)1, (d)2, (e)5, (f)10, (g)15, (h)20; (i)25, (j)30, (k)50

Fig. 1 Continuous cooling transformed structure of austenite of steel 14Cr1MoR with cooling rate / $(^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1})$: (a) 0.1, (b) 0.5, (c) 1, (d) 2, (e) 5, (f) 10, (g) 15, (h) 20, (i) 25, (j) 30 and (k) 50

晶粒尺寸细化但含量逐渐减少,在 1 ~ 5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷却速度内冷却得到铁素体、珠光体和粒状贝氏体组织,在该冷却速度范围内,铁素体晶粒数量及尺寸明显减少,粒状贝氏体组织逐渐增多;冷却速度继续增加至 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,试验钢得到铁素体和粒状贝氏体的混合组织;冷却速度继续增加至 15 ~ 20 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,得到单一的板条贝氏体组织;冷却速度增加至 25 ~ 50 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,试验钢开始有马氏体组织生成,此冷却速度范围内试验钢得到板条贝氏体及马氏体的混合组织,且随着冷却速度的增加,马氏体的含量逐渐增多。

2.3 试验钢不同冷却速度冷却后的维氏硬度

试样以不同冷却速度冷却后的维氏硬度如图 2 所示。从图 2 中可以看出,随着试样冷却速度的升高,试样的维氏硬度呈逐渐升高趋势。在 0.1 ~ 1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度内,冷却后试样得到铁素体和珠光体组织,硬度比较低,随着冷却速度的增加,珠光体含量逐渐增多,试样的硬度逐渐增大;在 2 ~ 5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$

冷却速度,粒状贝氏体开始生成并逐渐增多,试样的硬度增幅逐渐增大;冷却速度增至 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,试验钢得到铁素体和粒状贝氏体的混合组织,硬度进一步增大;在冷却速度 15 ~ 20 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,冷却后得到单一的板条贝氏体组织,且随着冷却速度的增加,板条贝氏体含量逐渐增多,硬度逐渐升高;在 25 ~ 50 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷却速度,马氏体开始生成并逐渐增多,试样的硬度增幅进一步增大。

2.4 试验钢 CCT 曲线的绘制

图 3 所示为试验钢的连续冷却转变曲线。由图 3 可知,在 0.1 ~ 1 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷却速度,试验钢的转变组织为铁素体和珠光体;在 2 ~ 5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度,试验钢得到铁素体、珠光体以及少量粒状贝氏体的混合组织。冷却速度继续增加至 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$,试验钢得到铁素体和粒状贝氏体的混合组织;在 15 ~ 20 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度,试验钢得到板条贝氏体组织;在 25 ~ 50 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 冷却速度,试验钢得到板条贝氏体和马氏体

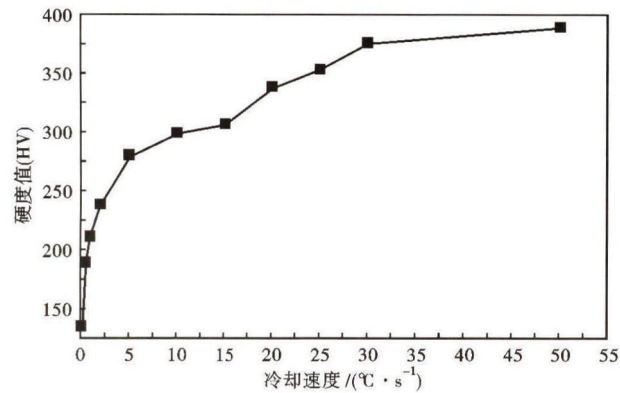


图 2 冷却速度对 14Cr1MoR 钢维氏硬度的影响
Fig. 2 Effect of cooling rate on Vickers hardness figures of steel 14Cr1MoR

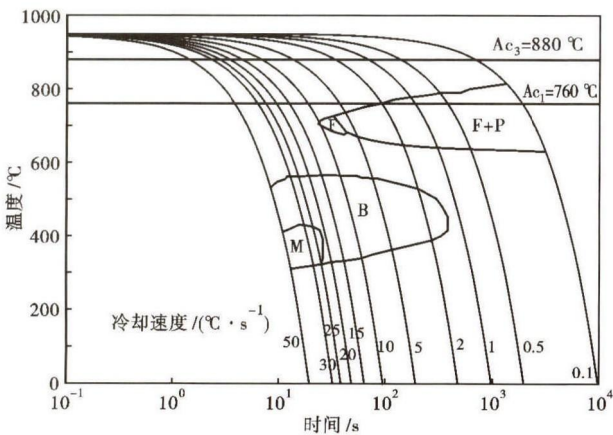


图 3 14Cr1MoR 钢的连续冷却转变曲线
Fig. 3 Continuous cooling transformation curves of steel 14Cr1MoR

的混合组织。

2.5 分析与讨论

14Cr1MoR 钢属于 Cr-Mo 系列低合金钢,由于 14Cr1MoR 钢的服役条件十分恶劣,因此要求该钢具有较高的强度、良好的塑性和韧性、优良的焊接性能和抗回火脆化性能^[4]。从 CCT 曲线可以看出,试验钢在低的冷却速度下得到铁素体与珠光体组织,其回火后不能满足试验钢强度的要求。板条贝氏体形成于贝氏体转变区的最下端^[5],贝氏体板条束细小,板条内有较高密度的位错,回火后的综合力学性

能优异。而马氏体组织回火后同样具有优异的力学性能,本文研究试验钢在 25 °C/s 的冷却速度下就有马氏体生成,试验钢的淬透性良好。综合上述原因分析,14Cr1MoR 钢工业性大生产正火加速冷却的冷却速度可控制在≥15 °C/s,以得到一定量的板条贝氏体或马氏体为宜。

3 结论

- (1) 利用膨胀仪测定了试验钢 14Cr1MoR 的临界点,试验钢的 $Ac_1=760\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Ac_3=880\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 当冷却速度在 0.1 ~ 1 °C/s,试验钢的转变组织为铁素体和珠光体;在 2 ~ 5 °C/s 的冷却速度,试验钢得到铁素体、珠光体以及少量粒状贝氏体的混合组织。冷却速度继续增加至 10 °C/s,试验钢得到铁素体和粒状贝氏体的混合组织;在 15 ~ 20 °C/s 冷却速度,试验钢得到板条贝氏体组织;在 25 ~ 50 °C/s 冷却速度,试验钢得到板条贝氏体和马氏体的混合组织。
- (3) 参考 CCT 曲线,试验钢工业性大生产正火加速冷却的冷却速度可控制在≥15 °C/s,从而得到一定量的板条贝氏体或马氏体为宜。

参考文献

[1] 邵光辉,王立跃,刘智勇. 压力容器 14Cr1MoR 封头热处理工艺及性能试验研究[J]. 化工机械,2014,41(3):304-306.
[2] 杨海林,杨秀芹. 82 mm 14Cr1MoR 钢板工业性热处理工艺试验[J]. 特殊钢,2005,26(3):48-50.
[3] 王顺花,薛 巍. 国产 14Cr1MoR 钢板的性能研究[J]. 金属热处理,2004,29(4):35-36.
[4] 杨海林,杨秀芹. 热处理工艺对 14Cr1MoR 钢的组织 and 性能的影响[J]. 金属热处理,2003,28(11):35-38.
[5] 贺信莱,尚成嘉,杨善武,等. 高性能低碳贝氏体钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2008.

赵燕青(1984-),男,硕士(2011 年北京科技大学),工程师,2008 年河北工业大学(本科)毕业,轧钢工艺及金属热处理研究。E-mail:zyqzyq200@126.com

收稿日期:2016-02-18