

800 MPa 级水电工程用钢的 CCT 曲线测定与分析

白海瑞, 杨 雄, 卢晓禹, 魏慧慧, 杨源远

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 利用膨胀法并结合金相法, 采用相变仪 Formast - F 测定了 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的临界点相变温度和连续冷却转变静态 CCT 曲线, 并研究了冷却速度对显微组织的影响。结果表明: 试验钢 Ac_1 为 675 °C, Ac_3 为 875 °C, Ar_1 为 615 °C, Ar_3 为 739 °C; 当冷速小于 0.25 °C/s 时, 转变产物为铁素体 (F) + 珠光体 (P) + 少量贝氏体 (B); 当冷速在 0.25 ~ 1 °C/s 时, 相变产物为铁素体 (F) + 贝氏体 (B); 当冷速在 1 ~ 5 °C/s 时, 转变产物为贝氏体 (B); 当冷速在 5 ~ 20 °C/s 时, 转变产物为贝氏体 (B) + 马氏体 (M); 当冷速大于 20 °C/s 时, 转变产物为马氏体 (M)。

关键词: 800 MPa 级水电钢; 静态 CCT 曲线; 冷却速度; 显微组织

中图分类号: TM275

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438 (2022) 05 - 0051 - 04

Determination and Analysis on Continuous Cooling Transformation (CCT) Curve of 800 MPa Grade Steel for Hydropower Project

Bai Hai - rui, Yang Xiong, Lu Xiao - yu, Wei Hui - hui, Yang Yuan - yuan

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

Abstract: The phase transition temperature and static CCT curve at critical point of 800 MPa grade steel for hydropower project with low susceptibility to weld cracking are determined with phase change instrument Formast - F and the dilatation method combing with metallographic method as well as the effects of cooling rate on microstructure are studied. The results showed that the phase transition temperatures of test steel, Ac_1 was 675 °C, Ac_3 was 875 °C, Ar_1 was 615 °C and Ar_3 was 739 °C; when the cooling rate was less than 0.25 °C/s, the transformation products were ferrite (F) + pearlite (P) + a small amount of bainite (B); when the cooling rate was 0.25 ~ 1 °C/s, the transformation products were ferrite (F) + bainite (B); when the cooling rate was 1 ~ 5 °C/s, the transformation product was bainite (B); when the cooling rate was 5 ~ 20 °C/s, the transformation products were bainite (B) + martensite (M); when the cooling rate was greater than 20 °C/s, the transformation product was martensite (M).

Key words: 800 MPa grade hydropower steel; static CCT curve; cooling rate; microstructure

近年来,水力发电工程加大兴建力度,且水头值越来越大,对用于制造压力钢管、蜗壳、岔管等部件的钢板提出更高的要求,需具有极高的强度、良好的

应变时效冲击韧性以及优良的低温韧性,随着高强度材料的不断发展,800 MPa 级水电用低焊接裂纹敏感性钢成为主力钢种^[1]。连续冷却过程中的相变规

律对钢的组织调控及开发具有重要意义。鉴于此,本文利用 Formastor - F 型全自动相变仪、蔡司 Axio observer A1M 光学显微镜等技术手段,研究了 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的连续冷却组织和相变规律,为高强韧性匹配的 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的开发奠定理论基础。

1 试验材料与方法

1.1 化学成分

表 1 试验钢化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb + V + Ti	%
≤0.09	≤0.40	≤1.60	≤0.015	≤0.007	≥1.50	≤0.60	≤0.60	≤0.50	≤0.10	

1.2 试验方法

加工试样尺寸为 $\Phi 3 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, 端部开一个尺寸为 $\Phi 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的小孔。采用 Formastor - F 全自动相变仪以 $0.05 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 的加热速度和冷却速度测定试验钢的临界相变温度点。以 $10 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 的加热速度升温到 $900 \text{ }^\circ\text{C}$, 对试样保温 10 min , 进行充分的奥氏体化^[3], 分别以 $0.05 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.1 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.25 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $1 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $2 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $10 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $20 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $30 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 的冷却速度冷至室温。记录不同冷却速度下的膨胀量—温度变化曲线, 采集膨胀量、温度及相关时间数据, 绘制试验钢静态 CCT 曲线。采用德国 Axio observer A1M 型蔡司显微镜观察不同冷却

试验钢采用 100 kg 真空感应炉冶炼, 采用低碳、低碳当量(C_{eq})、低焊接裂纹敏感性指数(P_{cm})的合金体系, 碳含量不大于 0.09% 时, $C_{eq} = \omega(\text{C}) + \omega(\text{Si})/24 + \omega(\text{Mn})/6 + \omega(\text{Ni})/40 + \omega(\text{Cr})/5 + \omega(\text{Mo})/\omega(\text{C}) + \omega(\text{V})/14 \leq 0.52\%$, $P_{cm} = \omega(\text{C}) + \omega(\text{Si})/30 + \omega(\text{Mn})/20 + \omega(\text{Cu})/20 + \omega(\text{Ni})/60 + \omega(\text{Cr})/20 + \omega(\text{Mo})/15 + \omega(\text{V})/10 + 5\omega(\text{B}) \leq 0.25\%$ 。合理的化学成分设计是 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢板组织和性能的有力保证^[2]。试验钢化学成分见表 1。

速度下的金相组织形貌。

2 试验结果与分析

用 Formast - F 相变仪测定 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的临界点相变温度, Ac_1 为 $675 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 Ac_3 为 $875 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 Ar_1 为 $615 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 Ar_3 为 $739 \text{ }^\circ\text{C}$ 。图 1 为 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的静态 CCT(连续冷却转变)曲线, 依据不同冷却时间, 冷速从右向左依次为 $0.05 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.1 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.25 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $0.5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $1 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $2 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $5 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $10 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $20 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 、 $30 \text{ }^\circ\text{C/s}$ 。

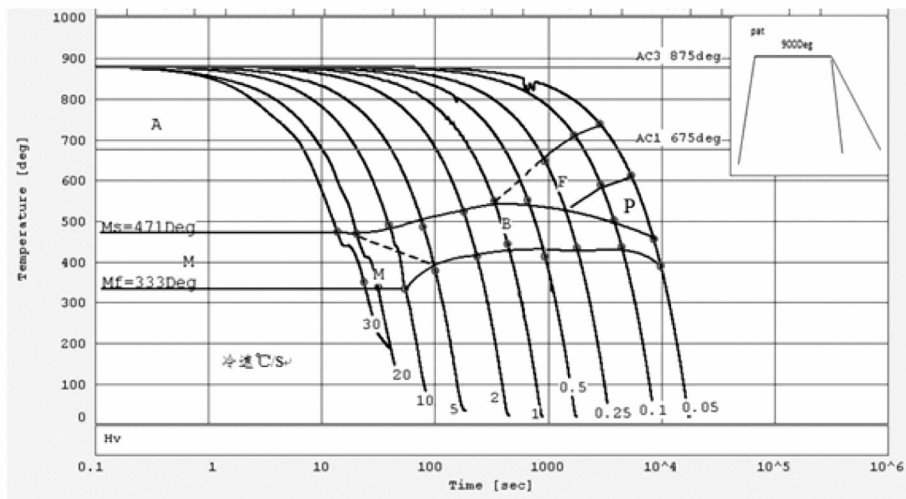


图 1 试验钢连续冷却转变静态 CCT 曲线

2.1 连续冷却转变曲线分析

由图 1 可知,连续冷却过程中试验钢发生了奥氏体向铁素体的转变(A→F)、奥氏体向珠光体的转变(A→P)、奥氏体向贝氏体的转变(A→B)和奥氏体向马氏体的转变(A→M)。由于多元合金元素的微量加入,致使试验钢连续冷却过程中的组织演变极为复杂。冷却速度低于 0.25 °C/s 时,转变产物为铁素体(F) + 珠光体(P) + 少量贝氏体(B);冷却速度高于 0.25 °C/s 且低于 1 °C/s 时,转变产物为铁素体(F) + 贝氏体(B);冷却速度高于 1 °C/s 且低于 5 °C/s 时,相变产物均为贝氏体(B),随着冷却速度的不断增加,贝氏体形貌逐渐由粒状变为板条状,且更加细小;冷却速度高于 5 °C/s 且低于 20 °C/s 时,转变产物为贝氏体(B) + 马氏体(M);冷却速度高于 20 °C/s 时,相变产物全部为马氏体(M),且随着冷却速度的增加,板条束变细。

2.2 显微组织

试验钢不同冷速下的试样经粗磨、细磨以及机械抛光后采用硝酸酒精溶液(浓度为 4%)浸蚀,利用蔡司 Axio observerA1M 显微镜观察显微组织并分

析其特征,不同冷却速度下 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的显微组织如图 2 所示。从图 2(a)可知,当冷却速度为 0.05 °C/s 时,室温组织为块状铁素体(F)、珠光体(P)和少量贝氏体(B),这是由于 Mn、Ni、Cr、Mo 等元素延缓过冷奥氏体相变,促使非平衡组织的出现。当冷却速度增加到 0.25 °C/s,如图 2(b)所示室温组织为少量的铁素体(F),大量的贝氏体(B),且晶粒边界不规则,极少量的珠光体零星分布。图 2(c)为冷却速度为 1 °C/s 时的组织照片,可知转变产物全为贝氏体,直至冷却速度达到 5 °C/s(图 2(e)),金相组织仍为贝氏体,但是随着冷却速度的进一步加快(1 ~ 5 °C/s),贝氏体组织形貌逐渐由粒状转变为板条状,且更加细小。当冷却速度为 10 °C/s,马氏体组织开始生成,室温金相组织为贝氏体(B)和少量的马氏体(M),见图 2(f)。当冷却速度达到 20 °C/s 时,室温组织全为板条状马氏体,如图 2(g)所示,且随着冷速的增加,马氏体板条束逐渐变细。可见试验钢不同冷速下获得的室温金相组织和静态 CCT 曲线中不同冷速的相变规律相一致。

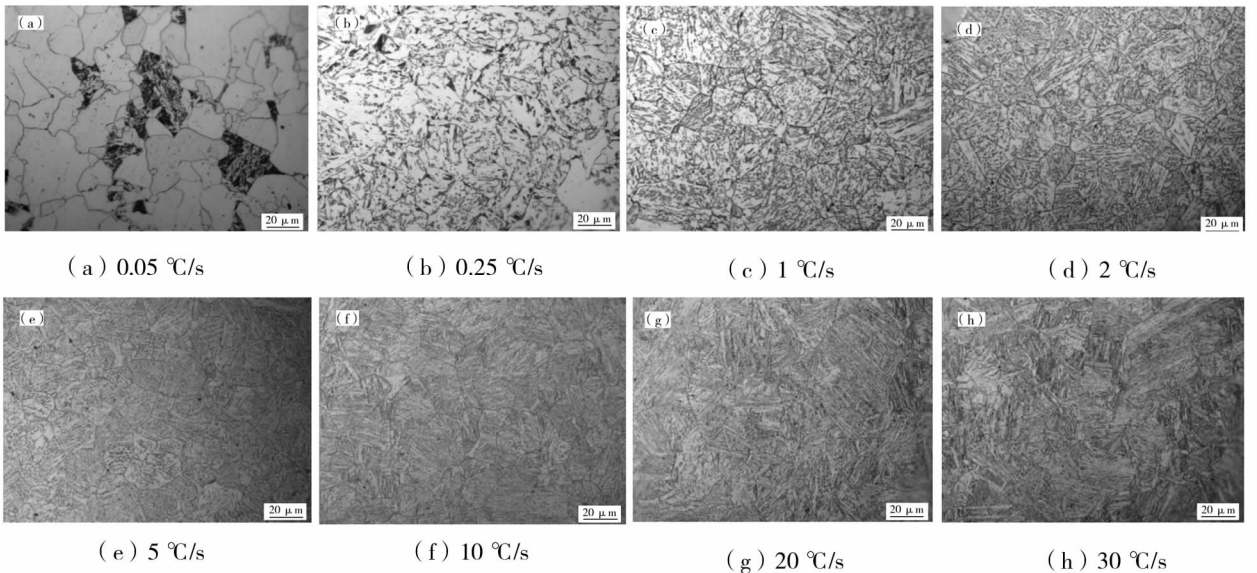


图 2 试验钢不同冷却速度下的金相组织

3 结论

(1)用 Formast - F 全自动相变仪测定 800 MPa 级水电工程用低焊接裂纹敏感性钢的临界点温度, A_{c1} 为 675 °C、 A_{c3} 为 875 °C、 A_{r1} 为 615 °C、 A_{r3} 为

739 °C。

(2)当冷却速度小于 0.25 °C/s 时,相变产物为铁素体(F) + 珠光体(P) + 少量贝氏体(B);冷却速度高于 0.25 °C/s 且低于 1 °C/s 时,转变产物为铁素体(F) + 贝氏体(B);冷却速度高于 1 °C/s 且低

于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变产物均为贝氏体(B);冷却速度高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 且低于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变产物为贝氏体(B) + 马氏体(M);冷却速度高于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变产物全为马氏体(M)。

参 考 文 献

[1] 周兴波,杜效鹤. 2018 年全球水电发展现状与

开发潜力分析[J]. 水利水电科技进展,2019, 39(3):18-23.

[2] 齐俊杰,黄运华,张跃. 微合金化钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.

[3] 李智丽,杨维宇,白雅琼,等. 27SiMn 钢奥氏体连续冷却转变曲线[J]. 热加工工艺,2011,40(22):45-47.

(上接第 34 页)

求同时生产时可提高废轧辊的利用率,降低生产成本。

(2)采用金属型喷涂工艺生产,操作方便、工序简单,极大的降低了工人的劳动强度。

参 考 文 献

[1] 文铁铮,郭玉珍. 轧辊制造技术新论[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2014.

[2] 李济玉. 合金球铁轧辊在连续式热轧中型型钢轧机上的应用[J]. 铸造技术,1993,(4):6-8.

[3] 刘宝存. 型钢轧辊制造方法及提高其耐磨性的对策[J]. 铸造设备与工艺,2018,(1):27-28.

[4] 邵骞,黄新华,张雷. 金属喷涂工艺在干气脱硫塔表面维修中的应用探讨[J]. 全面腐蚀控制,2019,(7):104-106.