

高强韧钻杆用低碳高铌钢的动态 CCT 曲线测定与分析

白海瑞, 袁晓鸣, 黄 利, 杨 雄

(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 MMS-200 热力模拟实验机对高强韧钻杆用低碳高铌钢进行模拟轧制压缩试验, 测定绘制低碳高铌钢动态连续冷却转变 (CCT) 曲线, 并研究了冷却速率对显微组织的影响。结果表明, 冷速为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 组织主要由多边形铁素体 (PF) 和少量珠光体 (P) 组成, 同时观察到极少量的针状铁素体 (AF); 冷速为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 组织以针状铁素体 (AF) 为主, 珠光体消失, 但仍可见一定比例的多边形铁素体 (PF); 冷速升高到 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 转变组织完全为粒状贝氏体 (GB); 冷速升高到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 转变组织以粒状贝氏体 (GB) 为主, 同时出现少量的铁素体贝氏体 (FB); 冷速升高到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 转变组织以铁素体贝氏体 (FB) 为主, 同时出现少量的马氏体 (M)。

关键词: 钻杆; 低碳高铌钢; 动态 CCT 曲线; 冷却速率; 显微组织

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2024)01-0047-04

Determination and Analysis on Dynamic CCT (Continuous Cooling Transformation) Curve of Low Carbon High Niobium Steel for High Strength and Toughness Drill Pipe

Bai Hai-rui, Yuan Xiao-ming, Huang Li, Yang Xiong

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

Abstract: The dynamic CCT curve of low carbon high niobium steel is determined and drawn as well as the effects of cooling rate on microstructure are studied through static simulating rolling compression test of low carbon high niobium steel with MMS-200 thermomechanical simulator. The results showed that the microstructure was mainly composed of polygonal ferrite (PF), a little pearlite (P) and small quantity of acicular ferrite (AF) observed when cooling rate was $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$; the microstructure was mainly composed of acicular ferrite (AF) and pearlite disappeared, but certain proportion of polygonal ferrite (PF) was still visible when cooling rate was $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$; the transformation structure was completely granular bainite (GB) when cooling rate was increased to $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$; the transformation structure was mainly composed of granular bainite (GB) and a small amount of ferrite bainite (FB) when cooling rate was increased to $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$; the transformation structure was mainly composed of ferrite bainite (FB) and a small amount of martensite (M) when cooling rate was increased to $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

Key words: drill pipe; low carbon high niobium steel; dynamic CCT curve; cooling rate; microstructure

低碳高铌钢因其具有高强度、高塑性、良好的冷弯性能以及优异的低温冲击性能广泛应用于管线钢、汽车车轮钢、汽车大梁钢以及工程机械用钢等领域^[1]。近年来,随着科学技术的进步,制造业的振兴,以及基建的大力推进,要求大型机械设备原材料国产化,替代进口,实现产品升级换代,急需开发高强韧钻杆用低碳高铌钢。动态 CCT 曲线可以较好地模拟实际生产条件下的相变规律,对钢的金相组织和力学及工艺性能调控具有指导意义。因此,本文利用 MMS-200 热力模拟实验机、蔡司光学显微

镜等手段,研究了高强韧钻杆用低碳高铌钢的动态连续冷却组织和相变规律,以为高强韧钻杆用低碳高铌钢的开发提供数据支持。

1 试验材料与方法

1.1 化学成分

合适的化学成分设计是高强韧钻杆用低碳高铌钢金相组织和力学及工艺性能的有力保证^[2]。高强韧钻杆用钢在实验室真空冶炼,合金体系采用低碳+高铌的设计理念,化学成分见表 1。

表 1 试验钢化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Nb	Ti	Al _i	%
≤0.09	≤0.20	≤1.70	≤0.015	≤0.008	≥0.20	≤0.30	≤0.30	0.06~0.08	≤0.03	0.02~0.05	

1.2 试验方法

将试验钢加热到 1 180 °C 并保温适当时间后进行开坯,坯厚 75 mm。在样坯上切取热力模拟试样,圆柱体热压缩试样加工尺寸为 Φ8 mm × 15 mm。热压缩模拟试验在 MMS-200 热力模拟实验机上进行,将试样以 10 °C/s 的速率加热到 1 180 °C,保温 5 min,使试样充分奥氏体化;然后以 5 °C/s 的冷速冷至变形温度 820 °C,在该温度下变形 30%,变形速率为 1 s⁻¹;试样变形后分别以 0.5 °C/s、1 °C/s、2 °C/s、5 °C/s、10 °C/s、15 °C/s、20 °C/s、30 °C/s、40 °C/s 的冷却速率冷却至室温,采集温度、时间等试验数据,同时记录不同冷速下的试样膨胀量与温度变化的曲线,并采用 Axio observer A1M 型蔡司显微镜观察不同冷速下的金相组织,绘制动态 CCT 曲线。动态 CCT 曲线测定工艺如图 1 所示。

2 试验结果与分析

图 2 为高强韧钻杆用低碳高铌钢的动态 CCT 曲线,依据不同冷却时间,冷速从右向左依次为 0.5 °C/s、1 °C/s、2 °C/s、5 °C/s、10 °C/s、15 °C/s、20 °C/s、30 °C/s、40 °C/s。

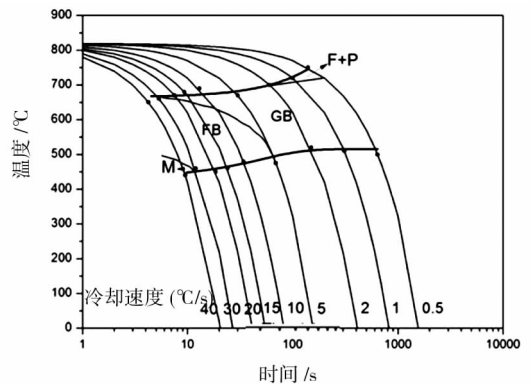


图 2 高强韧钻杆用低碳高铌钢的动态 CCT 曲线

2.1 连续冷却转变曲线分析

由图 2 可知,连续冷却过程中高强韧钻杆用低碳高铌钢发生了奥氏体(A)向铁素体(F)、珠光体(P)、贝氏体(B)以及马氏体(M)的转变。冷速为 0.5 °C/s 时,组织主要由多边形铁素体(PF)和少量珠光体(P)组成;冷速为 1.0 °C/s 时,组织以针状铁素体(AF)为主,珠光体消失;冷速升高到 2 °C/s 时,转变组织完全为粒状贝氏体(GB);冷速升高到 5 °C/s 时,转变组织以粒状贝氏体(GB)为主,同时

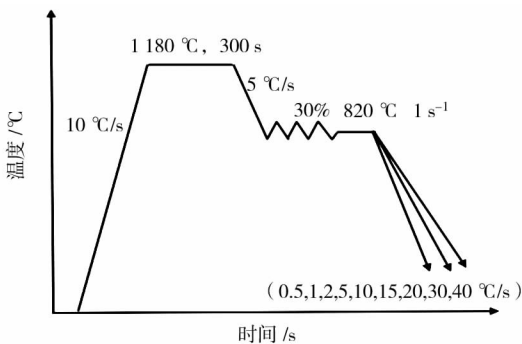


图 1 动态 CCT 曲线测定工艺

出现少量的铁素体贝氏体 (FB); 冷速升高到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 转变组织以铁素体贝氏体 (FB) 为主, 同时出现少量的马氏体 (M)。

2.2 显微组织

高强韧钻杆用低碳高铌钢经单道次变形后不同冷速下的试样再经粗磨、细磨、机械抛光后采用浓度为 4% 的硝酸酒精溶液侵蚀, 然后利用蔡司 Axio observer A1M 显微镜观察显微组织并分析其特征, 不同冷却速率下高强韧钻杆用低碳高铌钢的显微组织如图 3 所示。从图 3 可知, 当冷速为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 室温组织主要由多边形铁素体 (PF) 和少量珠光体 (P) 组成, 同时可观察到极少量的针状铁素体 (AF), 这是由于缓慢冷却 (冷速较低) 致使铁素体 (F) 和珠光体 (P) 形成^[3]。当冷速增加到 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$,

室温组织以针状铁素体 (AF) 为主, 同时珠光体消失, 这是由于冷速增加抑制珠光体 (P) 扩散型相变所致, 同时冷速的增加促使针状铁素体 (AF) 的形成, 抑制多边形铁素体 (PF) 长大。冷速达到 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 冷速进一步增加, 相变产物全部为粒状贝氏体 (GB)。当冷速升高到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 相变组织以粒状贝氏体 (GB) 为主, 同时开始出现少量的铁素体贝氏体 (FB)。冷速在 $5\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 之间时, 室温组织均为贝氏体, 随着冷速的增加铁素体贝氏体 (FB) 占比增加, 粒状贝氏体 (GB) 占比减少。当冷却速率为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 开始出现马氏体 (M), 转变组织仍以铁素体贝氏体 (FB) 为主。可见高强韧钻杆用低碳高铌钢经单道次变形后不同冷速下获得的室温金相组织和动态 CCT 曲线中不同冷速的相变规律相同。

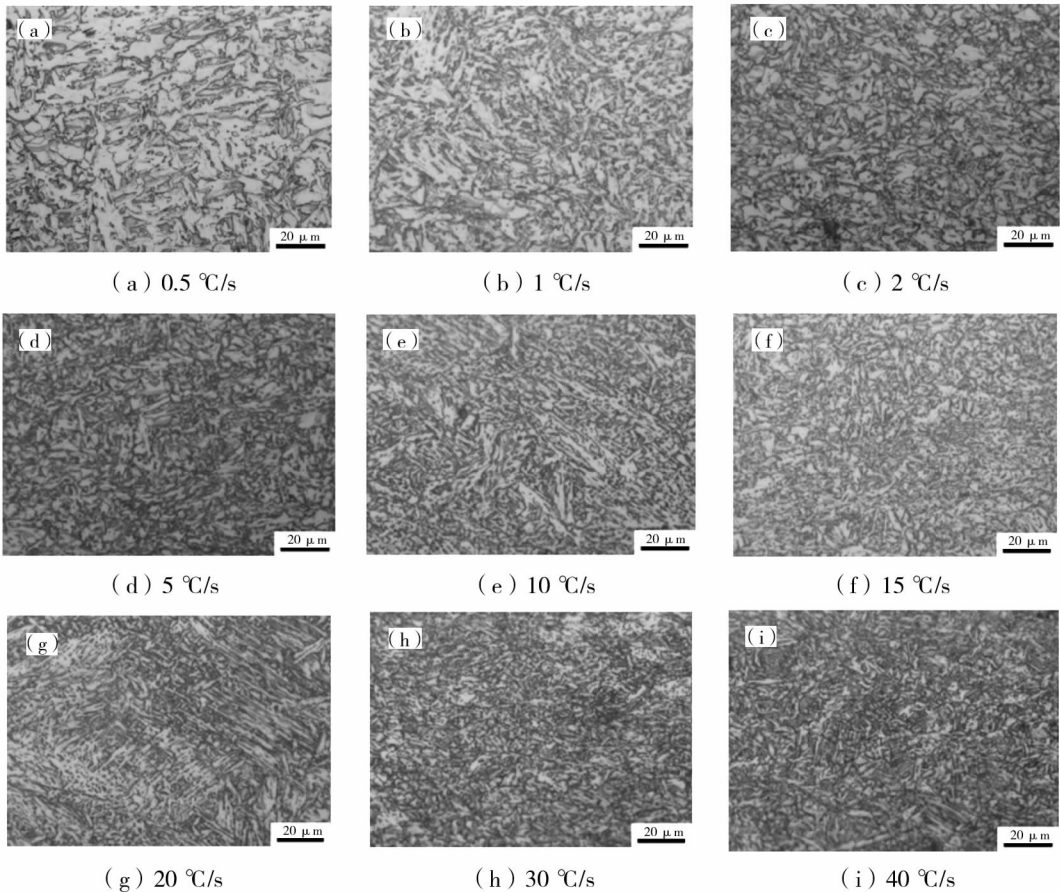


图 3 高强韧钻杆用低碳高铌钢不同冷速下的金相组织

3 结论

(1) 用 MMS-200 热力模拟实验机, 结合金相

法测定了高强韧钻杆用低碳高铌钢的动态 CCT 曲线。

(2) 当冷速为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时, 试验钢组织主要由

多边形铁素体(PF)和少量珠光体(P)组成;冷速为 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,试验钢组织以针状铁素体(AF)为主,珠光体消失;冷速升高到 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变组织完全为粒状贝氏体(GB);冷速升高到 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变组织以粒状贝氏体(GB)为主;冷速升高到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时,转变组织以铁素体贝氏体(FB)为主,同时出现少量的马氏体(M)。

参 考 文 献

[1] 付俊岩. Nb 微合金化和含铌钢的发展及技术

进步[J]. 钢铁,2005,40(8):1-7.

[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.

信息

包钢股份风电钢家族再添“新成员”,高强度正火轧制 Q420NE 风电用钢研发成功

近日,包钢股份高强度正火轧制 Q420NE 风电用钢在薄板厂宽厚板生产线顺利下线。经检验,钢板各项性能完全满足标准要求。该产品试制成功,标志着包钢股份风电用钢研发、生产能力再上新台阶。

近年来,随着陆上风电风机单机容量由 3 MW 提高到 6~8 MW,需要塔筒提供更高的承载力,而使用高强度钢板可使塔筒减重 8%~10%,因此风电用钢强度级别由 Q355 提高至 Q420。为保证风电设备服役安全,风电用钢要求高强度的同时,还要具备良好的低温韧性、成型性能、焊接性能和抗疲劳性能。为此,包钢股份在 2023 年成功开发了热机械轧制 Q420NE 风电用钢并实现批量生产,同时开始研发技术难度更大的正火轧制 Q420NE 风电用钢。

接到任务后,技术中心风电用钢研发团队积极响应,制定网络计划,与薄板厂、制造部快速联动。通过查阅、检索资料,调研国内同类产品生产情况,结合产线生产能力,对新品种试验钢化学成分、冶炼、连铸、轧制工艺制定全新方案,严格把控每一道生产工序开展中试试验。团队成员齐心协力,积极应对,先后攻克了一系列关键技术难题,历经 4 个多月十几次反复优化试制,最终形成了一套正火轧制 Q420NE 风电用钢生产技术,成功开发出厚度为 14~50 mm 的高强度正火轧制 Q420NE 风电用钢板。

该新品种的成功研发,进一步丰富和完善了包钢股份风电钢高附加值产品品种,巩固了包钢风电钢“拳头”产品地位,有效提高了企业品牌影响力和市场竞争力,也是落实包钢“优质精品钢系列稀土钢”战略定位的具体实践。下一步,包钢股份将深入开展风电钢焊接性能和抗疲劳性能研究,为产品批量推广应用提供全方位技术支撑,并持续致力于技术创新和产品升级,满足不断变化的市场需求,为包钢建设世界一流企业贡献力量。

——《包钢日报》