

0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V 高速动车车轴用钢的热塑性、组织和力学性能

王玉玲 王之香 张小琨 成生伟 邬中华

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V 钢经 60 t EBT 电弧炉-LF-VD-8.4 t 铸锭流程冶炼。热模拟试样取自 250 mm × 250 mm 轧坯。通过 Gleeble-3800 热模拟试验机测试了温度(室温 ~ 1 200 °C)对钢力学性能的影响,并得出 0.1 ~ 35 °C/s 冷却速度下该钢的连续冷却转变曲线。并通过箱式电阻丝炉和盐浴炉测试了 200 mm × 200 mm 坯经 920 °C 正火,880 ~ 900 °C 油淬,630 ~ 680 °C 回火的力学性能。结果表明,该钢在 900 ~ 1 200 °C 具有良好的热加工性能;当冷却速度大于 15 °C/s 时可获得贝氏体 + 马氏体组织;采用 920 °C 正火,880 °C 油淬,650 ~ 680 °C 回火后,该钢屈服强度 $R_{p0.2}$ 为 525 ~ 570 MPa,抗拉强度 R_m 为 710 ~ 745 MPa,伸长率 A 为 22% ~ 23%,纵向冲击功($U-5$ mm)68 ~ 82 J,横向冲击功($U-5$ mm)65 ~ 76 J,均符合标准要求。

关键词 高速动车车轴 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V 钢 热塑性 组织 力学性能

Hot Plasticity, Structure and Mechanical Properties of Steel 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V for High-Speed Train Axle Shaft

Wang Yuling, Wang Zhixiang, Zhang Xiaokun, Cheng Shengwei and Wu Zhonghua
(Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The steel 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V is melted by 60 t EBT arc furnace-LF-VD-8.4 t ingot casting process. The samples for thermal simulation are cut from 250 mm × 250 mm rolled bloom. The effect of temperature (ambient to 1 200 °C) on mechanical properties of steel is tested by Gleeble-3800 thermal-simulated examination, and the continuous cooling transformation curves of steel with cooling speed 0.1 ~ 35 °C/s are got. And the mechanical properties of 200 mm × 200 mm bloom of steel with normalizing at 920 °C, oil quenching at 880 ~ 900 °C and tempering at 630 ~ 680 °C by electric resistance furnace and salt bath furnace are examined. Results show that the steel has better hot working property at 900 ~ 1 200 °C; as the cooling rate is more than 15 °C/s, the bainite + martensite structure could be got; and with normalizing at 920 °C, oil quenching at 880 °C and tempering at 650 ~ 680 °C, the yield strength $R_{p0.2}$ of steel 525 ~ 570 MPa, tensile strength R_m 710 ~ 745 MPa, elongation A 22% ~ 23%, longitudinal impact energy ($U-5$ mm) 68 ~ 82 J and transverse impact energy ($U-5$ mm) 65 ~ 76 J are obtained to meet the requirement of standard.

Material Index High-Speed Train Axle Shaft, Steel 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V, Hot Plasticity, Structure, Mechanical Properties

高速动车空心车轴工作环境恶劣,承受拉、压、弯曲、冲击,易发生热切、冷切等事故,因此,要求车轴调质处理后组织致密、晶粒细小和强韧性能高。

1 实验用钢及实验方法

实验用钢采用 60 t EBT 电弧炉冶炼,LF 精炼、VD 真空脱气处理,铸成 8.4 t 钢锭,用 Φ 1 000 mm 可逆式轧机轧成 250 mm × 250 mm 钢坯。所用试样均取自钢坯对角线距角部 1/4 处。化学成分见表 1。

高温力学性能:Gleeble-3800 型热/力学模拟试验机。变形温度 $T = 600 \sim 1\,200$ °C,室温;应变量 0.1,应变速率 $\dot{\epsilon} = 0.005/s$ 。具体实验方案见图 1。试验后测定屈服强度 $R_{p0.2}$ 、抗拉强度 R_m 、断后伸长率 A 和断面收缩率 Z ,并计算弹性模量 E 。

CCT 曲线:对 0.1 ~ 35 °C/s 共 11 种冷却速度在 Gleeble-3800 热模拟试验机上进行了连续冷却转变测定;对 11 种冷却速度的热模拟试样用金相显微镜和扫描电镜进行组织确定;绘制 CCT 曲线。

正火和回火在箱式炉处理;淬火在盐浴炉处理。采用与车轴的轴座尺寸接近的、截面为 200 mm × 200 mm 的大样坯进行热处理。在对角线 1/4 处取样,加工成拉伸试样和冲击试样进行性能测试。

表 1 实验用钢主要化学成分 / %
Table 1 Main analysis of test steel / %

C	Mn	Cr	Si	Mo	V	P	S
0.25	0.71	1.11	0.28	0.25	0.05	0.007	0.003

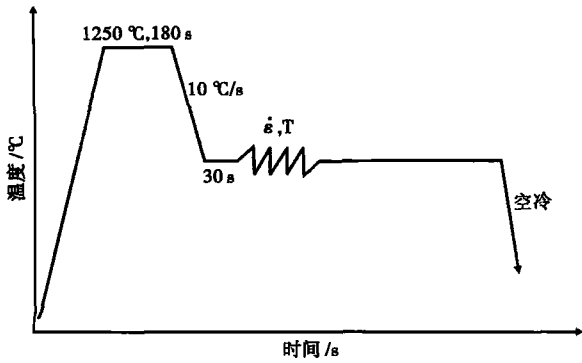


图 1 试验钢高温变形实验方案

Fig. 1 Scheme of high temperature deformation of test steel

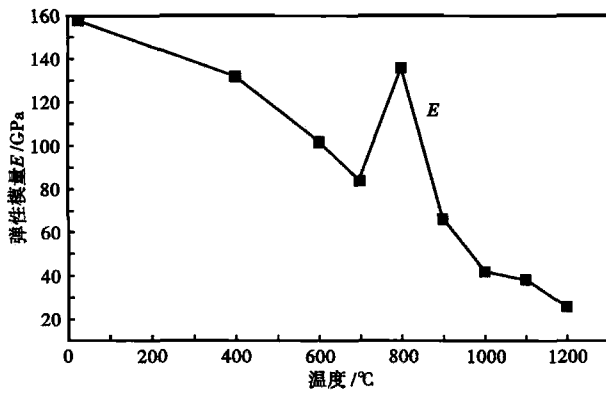


图 2 温度对试验钢弹性模量的影响

Fig. 2 Effect of temperature on elastic modulus of test steel

2 实验结果及分析

2.1 钢的高温机械性能

由图 2 可以看出,弹性模量随温度的升高而降低,至 700 °C 降至谷底,而后随温度降低又增大,800 °C 达到峰值,随后又随温度增加而降低。材料升温到 700 °C 后,发生铁素体向奥氏体转变,铁素体的弹性模量 $E = 1/2(E_{111} + E_{110})$,奥氏体的 $E = E_{111}$, E_{111} 远大于 E_{110} ,所以材料的弹性模量开始升高^[1]。

图 3 可以看出,材料的屈服强度和抗拉强度随温度升高而增大,在 400 °C 左右达峰值,之后随温度升高而下降。该材料在 400 °C 之前,随温度升高,一方面,钢中固溶的合金元素能进行明显的扩散,非碳化物形成元素将离开渗碳体,碳化物形成元素铬、钼等将向渗碳体中富集,当其浓度超过在渗碳体中的溶解度时析出特殊碳化物;另一方面,钢中固溶的钒直接从铁素体相析出弥散的碳化钒质点^[2],这些析出的特殊碳化物作为第二相,阻止位错运动,提高了材料的强度,400 °C 之后,随着温度继续升高,第二

相颗粒开始长大,聚集,阻止位错运动的能力降低,强度开始下降。

由图 3 可看出,材料的收缩率总体随着温度升高而提高,但在 600 °C 之后,随温度升高,伸长率和收缩率下降,至 800 °C 左右降到最低值,之后随温度升高又提高,在 900 ~ 1200 °C 时,保持在较高值。在 600 ~ 900 °C 范围的脆性主要有两个原因,即奥氏体-铁素体转变区高温域的脆化和奥氏体单相区低温域的脆化^[3]。前者为两相区脆化,在 γ - α 转变时优先在奥氏体晶界处析出薄膜状 α 铁素体, α 铁素体较软,其强度仅为奥氏体的 1/4,因此在外力作用下,变形主要集中在沿奥氏体晶界分布的 α 铁素体中,使 α 铁素体中存在的微小孔洞和裂纹聚合、长大,导致晶界断裂^[4],后者由钢中质点 AlN、TiN 等的析出引起脆化。在 900 ~ 1200 °C 的温度内,钢已进入奥氏体单相区的高温区域,试样在这一温度范围内之所以具有良好的热塑性,是因为发生了动态再结晶,此温度区表现为塑性良好^[5]。

2.2 不同冷却速度对应的组织

冷却速度对应组织见图 4,随着冷却速度的增大,当冷却速度达到 1 °C/s 时,铁素体 + 珠光体中出现少量贝氏体;到 15 °C/s 时,组织中开始出现马氏体;冷却速度达到 30 °C/s 时组织为马氏体。根据各冷却速度下的相变点绘制完成连续冷却曲线,见图 5。

2.3 热处理工艺对钢性能影响

样坯热处理实验结果见表 2。

由表 2 可以看出,采用 920 °C 正火预处理 + 880 °C 淬火 + 650 ~ 680 °C 回火热处理工艺,钢的强度、

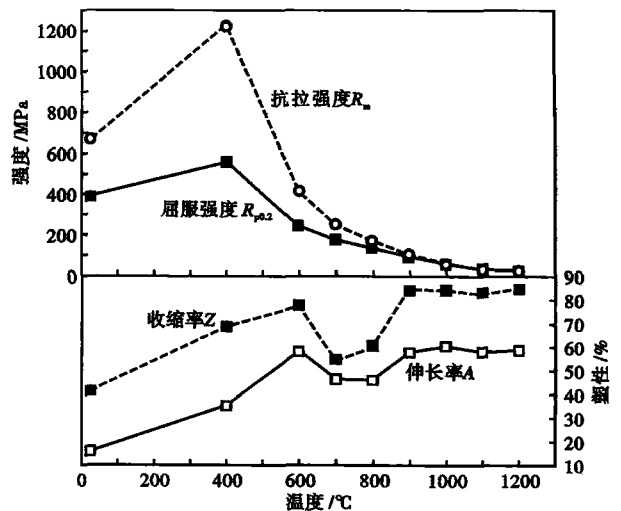


图 3 温度对试验钢力学性能的影响

Fig. 3 Effect of temperature on mechanical properties of test steel

表2 热处理工艺对试验钢 200 mm × 200 mm 轧坯力学性能的影响
Table 2 Effect of heat treatment process on mechanical properties of test steel 200 mm × 200 mm rolled bloom

工艺代号	正火/℃	淬火/℃	回火/℃	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	A/%	Z/%	冲击功(U-5 mm)/J	
								纵向	横向
1#	920	900	630	625	785	17	63	26/28/26	30/25/31
2#		淬油	650	595	735	17.5	60.5	44/46/48	32/35/30
3#			680	520	720	22.5	68	62/59/58	47/47/49
4#		880	630	605	765	18	62	45/53/51	42/37/39
5#		淬油	650	570	745	22	69	69/79/77	73/65/71
6#			680	525	710	23	71	68/71/82	76/72/65
技术要求			≥ 420	650 ~ 800	≥ 18	无	≥ 50	≥ 25	≥ 25

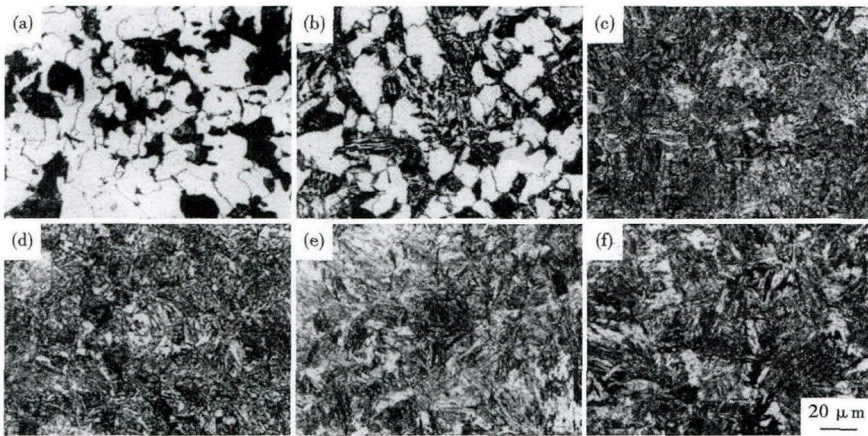


图4 冷却速度对试验钢(a)0.1 °C/s,铁素体+珠光体;(b)1 °C/s,铁素体+珠光体+贝氏体;(c)10 °C/s,贝氏体+铁素体;(d)15 °C/s,贝氏体+马氏体+铁素体;(e)20 °C/s,马氏体+贝氏体;(f)30 °C/s,马氏体组织的影响(奥氏体化温度900 °C)

Fig. 4 Effect of cooling rate on structure of test steel, austenizing at 900 °C: (a) 0.1 °C/s, ferrite + pearlite; (b) 1 °C/s, ferrite + pearlite + bainite; (c) 10 °C/s, bainite + ferrite; (d) 15 °C/s, bainite + martensite + ferrite; (e) 20 °C/s, martensite + bainite; (f) 30 °C/s, Martensite

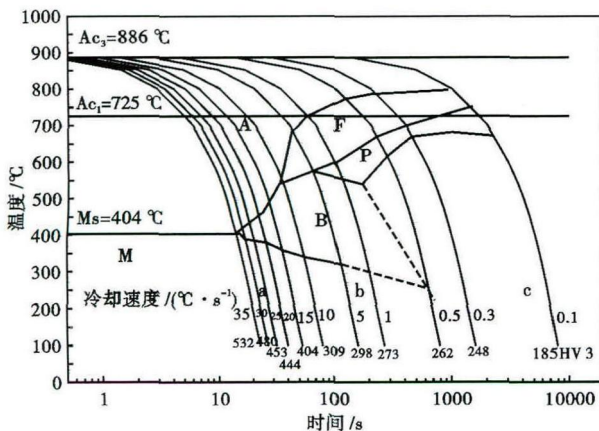


图5 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V 钢的连续冷却转变曲线(奥氏体化温度900 °C)

Fig. 5 Continuous cooling transformation curves of steel 0.25C-1.1Cr-0.7Mn-0.25Mo-0.05V, austenizing at 900 °C

塑性和韧性匹配良好,指标均明显高于技术要求。

3 结论

(1)在900 ~ 1 200 °C,钢的变形性能良好,生产过程中钢的成型锻造温度应控制在900 ~ 1 200 °C。

(2)该钢随着冷却速度的增大,组织由铁素体+珠光体逐渐过度到马氏体。当冷却速度达到1 °C/s时,铁素体+珠光体组织中开始出现贝氏体;15 °C/s时组织中开始出现马氏体;30 °C/s时组织为马氏体。为了得到标准要求的贝氏体+马氏体组织,控制冷却速度应大于15 °C/s。

(3)该钢采用920 °C正火预处理、880 °C淬火油冷、650 ~ 680 °C回火热处理工艺,各项力学指标符合标准要求,且强度、塑性和韧性匹配良好。

山西省科技重大专项(20111101028);铁道部科技研究开发计划项目(2012J005-I);

太原市一流自主创新基地建设重大专项(2011CXJD0225)

参考文献

- [1] 孙希太,刘太燊,杨永弟,等.金属机械性能[M].北京:煤炭工业出版社,1982:36.
- [2] 吴承建,阎振啓,章守华,等.合金钢[M].北京:冶金工业出版社,1980:24.
- [3] 朱立光,路文刚.GCr15 轴承钢高温力学性能的研究[J].特殊钢,2007,28(4):7-9.
- [4] 胡明谦,胡明山.钢坯高温塑性研究[J].钢铁,2008,43(3):38-40.
- [5] 李智崢,申景霞,吴苏州,等.28MnCr5 齿轮钢高温力学性能的研究[J].铸造技术,2010,31(12):1588-1591.

王玉玲(1963-),女,硕士(北京科技大学),教授级高工,1984年包头钢铁学院(本科)毕业,新产品研究及工艺技术开发。E-mail:wangyl@tisco.com.cn

收稿日期:2014-08-16