

淬、回火参数对 250 mm × 250 mm EA4T 高速动车轴用钢组织和性能的影响

王之香 王玉玲 郭中华

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 试验用 250 mm × 250 mm 方坯 EA4T 车轴用钢(成分:0.23C,0.32Si,0.70Mn,0.014P,0.010S,0.18Mo,0.03V)的生产流程为 60 t EBT EAF-LF-VD-8.4 t 铸锭轧制-退火工艺。试验研究了 880 ~ 920 °C 油淬,600 ~ 650 °C 回火工艺对该钢组织和力学性能的影响。经 920 °C + 600 °C、920 °C + 650 °C 和 880 °C + 640 °C 淬-回火处理后,该钢的组织分别为马氏体、索氏体 + 马氏体和马氏体 + 贝氏体;880 °C + 640 °C 淬-回火处理后 EA4T 钢的力学性能为 $R_{p0.2}$ 525 MPa, R_m 720 MPa, A_5 23%, U-5 mm 纵向冲击功 68 ~ 82 J, 横向冲击功 65 ~ 86 J, 其组织和力学性能均符合 EN13261 标准要求。

关键词 250 mm × 250 mm 方坯 EA4T 车轴用钢 淬-回火处理 组织 力学性能

Effect of Quenching and Tempering Parameters on Structure and Properties of 250 mm × 250 mm Square Bloom of Steel EA4T for High Speed Strain Axle

Wang Zhixiang, Wang Yuling and Wu Zhonghua

(Technical Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The production flowsheet for test 250 mm × 250 mm square bloom of EA4T steel for axle (成分:0.23C,0.32Si,0.70Mn,0.014P,0.010S,0.18Mo,0.03V) is 60 t EBT EAF-LF-VD-8.4 t ingot casting-rolling-annealing process. The effect of 880 ~ 920 °C oil quenching and 600 ~ 650 °C tempering process on structure and mechanical properties of the steel is tested and studied. With 920 °C + 600 °C, 920 °C + 650 °C and 880 °C + 640 °C quenching-tempering treatment, the structure of steel is respectively martensite, sorbite + martensite and martensite + bainite; the mechanical properties of steel EA4T treated by 880 °C + 640 °C quenching-tempering process are $R_{p0.2}$ 525 MPa, R_m 720 MPa, A_5 23%, U-5 mm longitudinal impact energy-68 ~ 82 J and cross-sectional impact energy-65 ~ 86 J, and its structure and mechanical properties all meet the requirement of standard EN13261.

Material Index 250 mm × 250 mm Square Bloom, Steel EA4T for Strain Axle, Quenching-Tempering Heat Treatment, Structure, Mechanical Properties

车轴是铁道车辆行驶的重要部件,其质量状态直接关系到铁路运输安全,而决定车轴的质量关键在于轴坯的质量,因此世界各国对提高车轴的性能和可靠性均十分重视,要求车轴材料具有高的强度、韧性和疲劳强度^[1]。各车轴用户对车轴钢坯均提出了严格的质量要求。

EA4T 车轴钢是一种广泛使用于国外地铁动车车轴及大功率机车车轴的钢种,也是欧洲标准 EN13261“铁路应用-轮对和转向架-车轴-产品要求”规定的高速客车车轴用钢。为了保证轴的性能,用户对轴坯提出了更高的要求,要求轴坯的性能必须达到轴的要求,因此需要把轴坯制成接近成品轴的尺寸大小来进行整体热处理,使轴坯的性能更接近于成品车轴的性能。本文针对车轴用 EA4T 钢,研究了不同调质工艺对其组织、力学性能及冲击值的

影响规律,通过采取最佳热处理工艺来获得优良的综合性能。

1 试验材料及方法

试验材料为轧制工艺生产的 EA4T 车轴方坯,生产工艺流程为:60 t EBT 电弧炉冶炼→LF 精炼→VD 脱气处理→模注 8.4 t 钢锭→1 000 mm 初轧机轧制成边长为 250 mm 的方钢→退火→精整、检验、交货,试验用钢成分见表 1。在相当于钢锭头部的 250 mm 方钢上锯切截面尺寸为 140 mm × 140 mm、长度为 200 mm 的样坯,采用盐浴炉对试样进行淬火热处理、采用箱式电阻炉对试样进行回火热处理,淬火介质为 20# 机油。根据热膨胀曲线,测得该钢临界点 $Ac_1 = 725$ °C; $Ac_3 = 830$ °C,从而设计了该钢的调质热处理制度,根据热处理工艺制定原理^[2],试验采用的热处理工艺见表 2。

表 1 试验 EA4T 钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of test steel EA4T / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
试验钢	0.23	0.32	0.70	0.014	0.010	1.10	0.18	0.03	0.01
EN13261	0.22 ~ 0.29	0.15 ~ 0.40	0.50 ~ 0.80	≤0.020	≤0.015	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	≤0.06	≤0.30

表 2 试验 EA4T 钢的调质热处理工艺
Table 2 Quenching-tempering heat treatment process for test steel EA4T

工艺号	盐浴淬火			回火	
	温度/℃	时间/min	介质	温度/℃	时间/h
1#	920	30	油	600	2
2#	920	30	油	650	2
3#	880	30	油	640	2

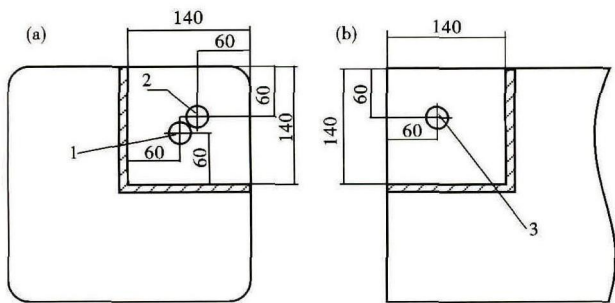


图 1 (a)1-纵向冲击;2-纵向拉伸和(b)3-横向冲击试样取样位置示意图
Fig. 1 Schematics of sampling location for 1- longitudinal impact specimen and 2- longitudinal tensile specimen (a) and 3- cross-sectional impact specimen (b)

把调质热处理后的试样按照图 1 所示位置进行取样,制取典型的拉伸、冲击及显微组织试样。拉伸试样尺寸直径 $D = 10$ mm,标距 $L_0 = 50$ mm;冲击试样尺寸(mm) $10 \times 10 \times 55$ 。按照 GB/T228-2002《金属材料拉伸试验室温试验方法》对车轴钢坯进行常温力学性能检测,测定的常温拉伸性能包括抗拉强度(R_m)、屈服强度($R_{p0.2}$)、伸长率(A)及断面收缩率(Z)。根据 GB/T229-1994《金属夏比缺口冲击试验方法》进行常温冲击试验,常温冲击试验试样刻槽深度包括 5 mm 深“U”型与 2 mm 深“U”型,采用 Cambridge S-360 型扫描电子显微镜(SEM)观察分析断口;金相试样尺寸(mm) $20 \times 20 \times 20$,对不同热处理状态的金相试样表面抛光,用苦味酸溶液腐蚀,通过 LEICA-DMR 光学显微镜

观察其组织。

2 试验结果及讨论

2.1 调质热处理工艺对钢的组织及晶粒度的影响

EN13261 标准要求车轴半径 1/2 处组织为贝氏体-马氏体组织。一般认为,索氏体的冲击韧性最高,贝氏体次之,而马氏体最差;但对于疲劳强度来说,则是贝氏体-马氏体最好,索氏体次之^[3]。

试验采用的热处理工艺和不同调质热处理工艺下的显微组织结果见图 2。组织分析表明,3 种调质工艺组织均得到了细化,晶粒度达到 8 级;采用 1# 调质工艺(920 °C 油淬 + 600 °C 回火)得到的组织为马氏体(图 2a),采用 2# 调质工艺(920 °C 油淬 + 650 °C 回火)得到的组织为索氏体与马氏体的混合组织(图 2b),采用 3# 调质工艺(880 °C 油淬 + 640 °C 回火)得到的组织为贝氏体和马氏体混合组织(图 2c),可见 3# 调质工艺能满足 EN13261 标准对组织的要求。

2.2 调质工艺对钢的力学性能的影响

车轴在车辆运行中受力复杂,它主要承受弯曲载荷、扭转载荷或弯扭的复合载荷,同时还要承受一定的冲击载荷,所以要求材料的塑、韧性良好^[4]。为达到良好的综合性能,EA4T 车轴钢采用调质热处理工艺来满足要求。从表 3 可见,1# 工艺(600 °C 回火)下伸长率和冲击功均不满足 EN13261 标准要求;当提高回火温度采用 2# 工艺(650 °C 回火)后各

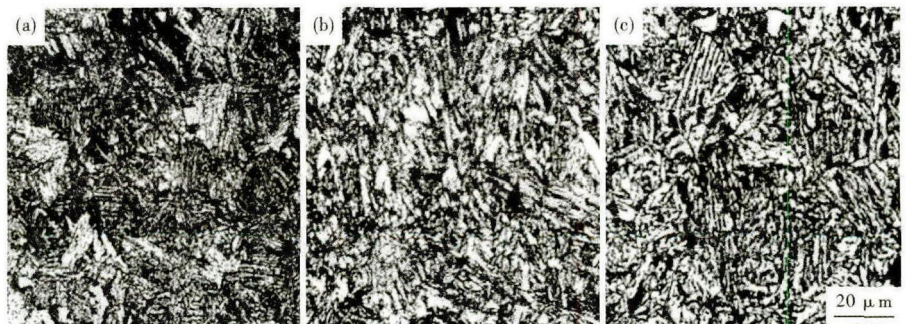


图 2 (1#)920 °C + 600 °C (a), (2#)920 °C + 650 °C (b) 和 (3#)880 °C + 640 °C (c) 淬-回火热处理 EA4T 钢的组织形貌:(a) 马氏体;(b) 索氏体 + 马氏体;(c) 马氏体 + 贝氏体
Fig. 2 Morphology of structure of test steel EA4T quenching-tempering with No1, 920 °C + 600 °C (a); No2, 920 °C + 650 °C (b) and No3, 880 °C + 640 °C (c): (a) martensite; (b) sorbite + martensite and (c) martensite + bainite

表3 调质热处理工艺对 EA4T 钢车轴坯的力学性能的影响
Table 3 Effect of quenching-tempering heat treatment process on mechanical properties of square bloom of steel EA4T

工艺号	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A_5 / %	Z / %	冲击功(U-5 mm)/J	
					纵向	横向
1# (920 °C + 600 °C)	625	785	17.0	63.0	26/28/26	30/25/31
2# (920 °C + 650 °C)	550	730	22.5	68.0	52/59/51	47/47/49
3# (880 °C + 640 °C)	525	720	23.0	71.0	68/71/82	65/72/86
EN13261	≥420	650 ~ 800	≥18	-	≥50	≥25

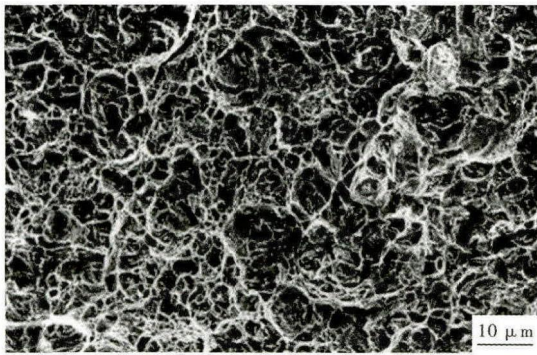


图3 880 °C-640 °C淬-回火处理的 EA4T 钢冲击断口形貌
Fig. 3 Morphology of impact fracture of steel EA4T by 880 °C-640 °C quenching-tempering heat treatment

表4 EA4T 钢车轴坯 5 mm 深与 2 mm 深“U”型冲击功对比/J

Table 4 Comparison between 5 mm depth and 2 mm depth U-type impact energy of square bloom of steel EA4T /J

工艺号	缺口深度/mm	
	5	2
1# (920 °C + 600 °C)	26/28/26	64/66/71
2# (920 °C + 650 °C)	52/59/51	112/127/120
3# (880 °C + 640 °C)	68/71/82	162/154/158

项力学性能满足了 EN13261 标准要求但纵向冲击韧性不富余,当调整淬回火温度采用 3#工艺(880 °C 油淬 + 640 °C 回火)后,材料的各项性能完全满足了 EN13261 标准要求且各项性能均有较大的富余量。采用扫描电子显微镜(SEM)观察分析 3#工艺冲击断口也发现,断口为典型的韧窝状断口,韧窝断口是一种韧性断裂断口,无论是从试样的宏观变形行为上,还是从断口的微观区域上都能看出明显的塑性变形^[5]。图3为 880 °C 淬火 + 640 °C 回火试样的冲击断口形貌。

2.3 不同热处理工艺下 5 mm 深与 2 mm 深“U”型冲击性能对比

欧洲 EN13261 标准要求冲击试样缺口深度为 5 mm,而我国标准要求为 2 mm 深,一直没有 5 mm 深冲击值的参考标准,通过对 5 mm 深与 2 mm 深“U”型冲击值对比研究,可以确定 5 mm 深与 2 mm 深“U”型冲击值的对应关系,为以后同类产品的生产提供参考依据。由表 4 不同调质热处理工艺下 5 mm 深与 2 mm 深“U”型冲击功对比可知,5 mm 深“U”型试样弹塑性变形区减少,吸收的能量就相应减少,5 mm 深“U”型冲击功值要低于 2 mm 深“U”型冲击功值,并且从实验得出,5 mm 深“U”型冲击功值约是 2 mm 深“U”型冲击功值的 1/2。

3 结论

(1) EA4T 车轴用钢通过采用 880 °C 淬火 + 640 °C 回火的调质热处理工艺后,可获得 EN13261 标准要求的贝氏体组织-马氏体组织。

(2) EA4T 车轴用钢采用 880 °C 淬火 + 640 °C 回火的调质热处理工艺后,钢的强度、塑性和韧性指标均明显高于 EN13261 标准要求,强塑性获得最佳匹配。

(3) 通过 EA4T 车轴用钢不同调质热处理工艺下冲击功对比研究表明,5 mm 深“U”型冲击功值是 2 mm 深“U”型冲击功值的 1/2,为同类 5 mm 深“U”型冲击功性能钢种的开发提供了试验参数。

山西省科技重大专项资助(20111101028)

参考文献

- [1] 梁益龙,王新,孟阳,等.国产 EA4T 车轴钢的显微组织与强韧性研究[J].热加工工艺,2008,37(16):23-25.
- [2] 安运铮.热处理工艺学[M].北京:机械工业出版社,1982:66.
- [3] 孙茂才.金属力学性能[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2003.
- [4] 刘曙蓉,余毅云.电力机车车轴热处理工艺的研究[J].电力机车与城轨车辆,2005,28(6):28-30.
- [5] 黄睿,魏昂,李柏,等.热处理工艺对 20CrNi2Mo 合金钢组织和力学性能的影响[J].热加工工艺,2014,43(2):176-178.

王之香(1975-),女,硕士(北京科技大学),高级工程师,2000 年鞍山科技大学(本科)毕业,车轴、齿轮材料研究。

E-mail:wangzx@tisco.com.cn

收稿日期:2014-12-17