

# EA4T 车轴钢中斑点状偏析的原因分析

张春红<sup>1,2</sup>, 李玉全<sup>2</sup>, 杨接明<sup>1,2</sup>, 梁益龙<sup>1</sup>

(1. 贵州大学 材料与冶金学院, 贵阳 550003; 2. 首钢贵阳特殊钢有限责任公司, 贵阳 550005)

**摘要:**采用宏观检验、化学成分分析、金相检验、工艺分析以及炉数统计等手段对 EA4T 车轴钢中存在斑点状偏析的原因进行了分析。结果表明:该斑点状偏析为合金成分正偏析,原料粒度、模温、钢液过热度以及钢锭锥度等冶炼参数不合理是主导因素。

**关键词:**EA4T 车轴钢; 斑点状偏析; 合金成分; 正偏析; 冶炼参数

中图分类号:U270.4<sup>+</sup>1; TG142.7

文献标志码:B

文章编号:1001-4012(2011)01-0064-03

## Reason Analysis on Speckle Segregation of EA4T Railway Locomotive Axles Steel

ZHANG Chun-hong<sup>1,2</sup>, LI Yu-quan<sup>2</sup>, YANG Jie-ming<sup>1,2</sup>, LIANG Yi-long<sup>1</sup>

(1. College of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550003, China;

2. Shougang-Guiyang Special Steel Co. Ltd., Guiyang 550005, China)

**Abstract:** The reason of speckle segregation in EA4T railway locomotive axles steel was analyzed by means of macroscopic examination, chemical composition analysis, metallographic examination, process analysis and furnace number statistics, etc. The results showed that the speckle segregation was the alloy composition positive segregation, and the main reason was the improper smelting parameters including material granularity, temperature and taper of ingot moulds and molten steel superheat.

**Keywords:** EA4T railway locomotive axles steel; speckle segregation; alloy composition; positive segregation; smelting parameter

1997—2008 年, 中国铁路进行了六次大提速, 实施了时速为 200 km/h 的提速, 有条件的线路列车运行时速可达 300 km/h, 标志着我国铁路已正式跨入既有线提速的世界先进水平。《国家中长期科学和技术发展规划纲要》也提出“重点研究开发重载列车、大马力机车等新型运载工具”。目前国内机车车轴用钢主要是 JZ40 和 JZ50 钢, 个别厂家在用 35CrMo 钢, 但均无法满足高速、重载铁路机车的要求。为此首贵特钢公司自主消化、吸收国外先进生产技术, 采用欧洲标准 BS EN13261, 开发生产了 EA4T 车轴钢, 这是目前国际先进水平的机车车轴用钢之一, 可用于制造大功率机车和高速列车

( $\geq 200$  km/h) 的车轴。

在开发生产过程中, 首贵特钢公司采用 6T 八角型铸锭生产规格为 300 mm 的方钢。钢锭帽头切净后, 按 BS EN13261 标准在成品方钢上相当于钢锭帽口端取样进行酸浸低倍检验时, 在低倍试样上显现出轻微的暗色椭圆形斑点, 见图1。将钢坯切



图1 EA4T 钢坯中的斑点状偏析

Fig. 1 Speckle segregation in EA4T billet

收稿日期:2010-05-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAE11B01);黔科合重大专项(20066031)

作者简介:张春红(1971—),女,工程师。

去 200~500 mm 长度后,再取样进行酸浸低倍检验,试样上未再显现暗色斑点。从图 1 可见,其上的暗色斑点符合 GB/T 1979—2001<sup>[1]</sup>中给出的斑点状偏析。由于标准规定不允许有斑点状偏析,且 EA4T 钢坯均为定尺交货,而将斑点状偏析切净后的方钢短尺,必须报废,这给企业造成了一定的经济损失。为此笔者对该质量问题进行了分析,探讨了主要影响因素,提出了改进方法和措施。

## 1 理化检验

### 1.1 宏观检验

观察图 1 所示的低倍试样发现,各种形状和大小不同的暗斑分散在钢坯的整个截面上。用 10 倍放大镜检查观察,暗斑相对钢基体无明显凹陷,且未发现气孔与夹杂。

### 1.2 化学成分分析

在有斑点状偏析的方钢上取样进行化学成分分析,结果(质量分数)为:0.27%C,0.34%Si,0.75%Mn,0.013%P,0.003%S,1.15%Cr 和 0.26%Mo,符合 BS EN 13261 标准的要求。

### 1.3 金相检验

在方钢的暗斑处截取金相试样,磨抛和侵蚀其纵、横截面,在 NEOFHOT-30 型光学显微镜下观察其显微组织,如图 2 和 3 所示,可见斑点状偏析呈浅亮灰色,锻造状态 EA4T 车轴钢基体显微组织为铁素体+珠光体,偏析区显微组织为索氏体。进行微区硬度测试得出,正常基体硬度为 25 HRC,偏析区硬度为 35 HRC。

在 JSM-6490LV 扫描电镜下观察斑点状偏析部位,未发现明显的非金属夹杂,如图 4 和 5 所示。用 INCA-350 X 射线能谱仪及电子探针进行微区成分分析,结果见表 1。可以看出偏析处组织明显异

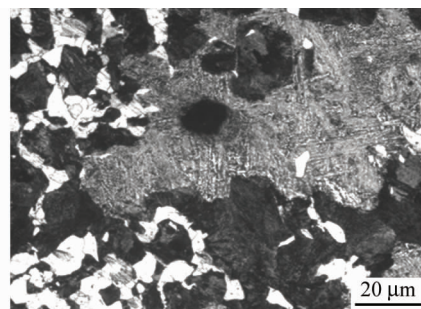


图 2 斑点状偏析横截面的显微组织  
Fig. 2 Microstructure of cross section of speckle segregation

表 1 EA4T 钢坯的微区化学成分分析结果(质量分数)

Tab. 1 Analysis results of micro area chemical component of EA4T billet (mass) %

元素	电子探针		能谱		标准值
	偏析区	基体	偏析区	基体	
C	—	—	0.07	0.06	0.22~0.29
Si	0.61	0.61	0.52	0.38	0.15~0.40
Mo	0.40	0.22	0.38	0.23	0.15~0.30
Cr	1.41	1.25	1.59	1.17	0.90~1.20
Mn	0.98	0.91	1.12	0.85	0.50~0.80
Fe	96.53	96.86	96.48	97.31	—

常,其铬、钼和锰元素的含量明显高于正常基体中的元素含量。

## 2 工艺分析

### 2.1 高温扩散分析

将图 1 所示的试样沿横截面分成四块,在加热炉中进行高温扩散退火,温度控制在 1 250 ℃左右,分别保持 20,40,60 和 80 h。观察扩散后的酸浸低倍试样发现原有的斑点面积有所减小,斑点状偏析

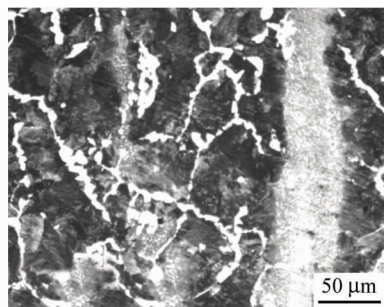


图 3 斑点状偏析纵截面的显微组织  
Fig. 3 Microstructure of longitudinal section of speckle segregation

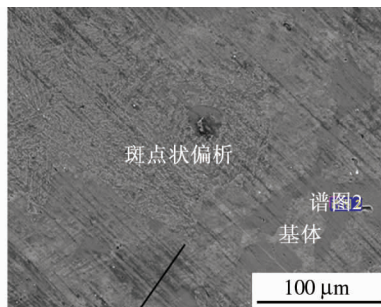


图 4 斑点状偏析的低倍 SEM 形貌  
Fig. 4 SEM morphology of speckle segregation in low magnification

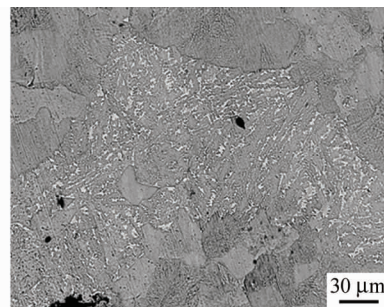


图 5 斑点状偏析的高倍 SEM 形貌  
Fig. 5 SEM morphology of speckle segregation in high magnification

缺陷有所改善,但未彻底消除。保持时间越长斑点状偏析的改善效果越好。

## 2.2 锻压比分析

将有严重斑点状偏析的坯料分别改锻成不同的规格后,观察锻压比对点状偏析的影响,具体规格和锻压比见表 2。观察锻后的酸浸低倍试样上斑点的形状,发现未发生改变。

**表 2 EA4T 钢坯的再制尺寸及锻压比**

Tab. 2 Remake dimension and ratio of forging reduction of EA4T billet

锻前规格/mm <sup>2</sup>	锻后规格/mm <sup>2</sup>	锻压比
300	230	1.70
300	150	4.00
300	120	6.25
300	80	14.06

## 2.3 力学性能分析

模拟实际热处理工艺将有斑点状偏析和无斑点状偏析的坯料经(900~920)℃水冷+(600~650)℃水冷热处理后,取样测试其纵、横向力学性能,结果见表 3。可见斑点状偏析对纵、横向力学性能无显著影响。

**表 3 有无斑点状偏析钢坯的力学性能测试结果**

Tab. 3 Test results of mechanical properties of billet with and without speckle segregation

偏析	$R_{eL}$ /MPa	$R_m$ /MPa	$A_5$ /%	纵向冲击功 /J	横向冲击功 /J
有	680	800	18.5	46/40	30/32
无	620	760	18.5	45/44	30/33

## 3 生产统计分析

对 2008 年生产的总炉数和有斑点状偏析的炉数进行统计,比较各炉参数发现,在注速等冶炼参数一致的情况下,模温和钢液过热度的不同对斑点状偏析影响较大,见表 4。其次对使用的同批次铁合金粒度进行抽检,发现钼铁和铬铁的粒度为 60~70 mm,超出标准要求的 10~50 mm。另外还发现表 4 所统计的各炉使用的锭模锥度仅为 1.6%,较工厂常规钢锭锥度偏小。一般认为对高质量的钢锭,如弹簧钢、滚珠轴承钢、合金结构钢及合金工具钢的钢锭锥度应不小于 2.5%。

**表 4 炉数统计结果**

Tab. 4 Furnace number statistics results

模温 /℃	钢液过热度 /℃	总炉数	有偏析 炉数	比例 /%
50~80	—	50	1	2
>80	—	30	5	17
—	40~50	50	0	0
—	>50	10	5	50

## 4 综合分析与讨论

从表 1 可以看出,斑点状偏析主要是合金成分正偏析,表 2 中增大锻压比后的试验结果也验证了以上结论。一般分析认为,斑点状偏析是由于结晶条件不良,钢液在结晶过程中冷却较慢产生的成分偏析,当气体和夹杂物大量存在时,使斑点状偏析程度加重<sup>[1]</sup>。在生产过程中,如果钢液过热和注温过高,或钢锭断面过大及锭模温度太高等,均易形成斑点状偏析<sup>[2]</sup>。钢液凝固过程中成分偏析是不可避免的,选择结晶和比重偏析导致硫、磷和碳等元素在钢锭中上浮并富集于枝晶间。钢液温度越高,结晶速度越慢,柱状晶越发达,则偏析越严重。而 EA4T 钢中的铬和锰等合金元素有利于钢锭结晶过程中柱状晶的长大。同时车轴钢具有较高的浇注温度,这些都加剧了车轴钢中斑点状偏析的出现。

因此结合表 2 和 4 分析认为,EA4T 车轴用方钢的斑点状偏析是由合金粒度超标、模温和钢液过热度过高以及钢锭锥度过小这些综合因素造成的。后期生产中通过严格控制原料、模温和钢液过热度,并增大钢锭锥度到 4.6%后,斑点状偏析的出现率明显下降。

## 5 结论

EA4T 车轴用方钢中的斑点状偏析主要是合金成分正偏析。合金粒度超标、模温和钢液过热度过高以及钢锭锥度过小等因素综合作用导致了斑点状偏析的产生。

### 参考文献:

- [1] GB/T 1979—2001 结构钢低倍组织缺陷评级图[S].
- [2] 许汝钟,沈钢,谈晓英,等.电炉炼钢 500 问[M].2 版.北京:冶金工业出版社,2003.

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告和信息