

大轴重铁路货车车轴用新型 LZ45CrV 钢坯的开发

周立新 李德胜 雷应华 刘光辉 洪小玲 李秋志

(大冶特殊钢股份有限公司技术中心,黄石 435001)

摘要 大冶特钢采用 60 t UHP EBT EAF-LF-VD-6.5 t 铸锭-850 初轧开坯的工艺流程试制了大轴重车轴用 260 mm × 260 mm 和 280 mm × 280 mm 新型 LZ45CrV 钢坯(‰:0.43C、0.27Si、0.77Mn、0.007P、0.005S、0.55Cr、0.10V、0.10Mo)。通过电弧炉配加 45% 铁水和优质废钢,控制终点 [C] ≥ 0.15%, [P] ≤ 0.005%, LF 喂铝线,使 Al 控制在 0.035% ~ 0.045%, VD 真空处理 ≥ 20 min 等工艺措施, LZ45CrV 钢坯的氧含量为 8.5×10^{-6} , 非金属夹杂物 ≤ 1.0 级, 晶粒度 7 ~ 8 级, 力学性能符合标准和设计要求。

关键词 大轴重车轴用 LZ45CrV 钢坯 60 t EBT EAF-LF-VD-6.5 t 铸锭流程 洁净度 研制

Development of New LZ45CrV Steel Bloom for Heavy Load Railway Freight Train Axle

Zhou Lixin, Li Desheng, Lei Yinghua, Liu Guanghui, Hong Xiaoling and Li Qiuzhi

(Technical Center, Daye Special Steel Corp Ltd, Huangshi 435001)

Abstract New LZ45CrV steel blooms (‰: 0.43C, 0.27Si, 0.77Mn, 0.007P, 0.005S, 0.55Cr, 0.10V, 0.10Mo) of 260 mm × 260 mm and 280 mm × 280 mm for heavy load railway axle at daye special steel are pilot-produced by the flow sheet 60 t UHP EBT EAF-LF-VD-6.5 t ingot-850 primary mill rolling process. With process measures including EAF charging 45% hot metal and quality scrap, controlling end [C] ≥ 0.15% and [P] ≤ 0.005%, feeding aluminium wire in LF refining to control 0.035% ~ 0.045% Al and VD vacuum treatment ≥ 20 min, the oxygen content in LZ45CrV steel bloom is 8.5×10^{-6} , rating of nonmetallic inclusions ≤ 1.0, rating of grain size 7 ~ 8, and the mechanical properties of steel bloom meet the requirement of standard and design.

Material Index LZ45CrV Steel Bloom for Heavy Load Railway Axle, 60 t EBT EAF-LF-VD-6.5 t Ingot Flow Sheet, Cleanliness, Development

我国 27 t、30 t 大轴重铁路货车车轴用新型 LZ45CrV 牌号的钢坯是在目前使用的 LZ50 车轴钢坯基础上通过适当降低碳含量和添加适量的微合金元素而开发的新钢种,同时通过严格控制钢材纯净度、细化晶粒度等工艺,大幅度提高了钢坯的力学性能和疲劳强度。由于车轴钢坯为 260 mm × 260 mm 和 280 mm × 280 mm 的大规格材,为保证足够的压缩比以得到钢坯致密的低倍组织,铁道部要求目前试验阶段只能采用模铸大钢锭的生产方法。

1 主要技术要求

车轴钢的化学成分如表 1, 氧含量 ≤ 20×10^{-6} , 非金属夹杂物要求 A、B、C、D 类细系均 ≤ 2.0 级, (B + C + D) 细系 ≤ 4.0 级, 低倍组织中心疏松、一般

疏松和偏析均 ≤ 2.0 级, 钢坯采用 (mm) 200 × 200 × 200 大试料进行整体正火和回火后实际晶粒度 ≥ 6 级, 力学性能达到表 2 的要求。

2 试验工艺情况

试验工艺流程: 大于 45% 高炉铁水和优质废钢-60 t UHP EBT EAF-LF-VD-模铸 6.5 t 锭-850 初轧开坯成材-钢坯探伤取样检验-精整包装入库。

电弧炉冶炼过程造好泡沫渣, 炉门流渣, 出钢条件: P ≤ 0.005%, 终点 [C] ≥ 0.15%, 出钢温度 ≥ 1640 °C。采用连用钢包出钢, 出钢时禁止下渣。随钢流加入 Al 块 1.5 kg/t 脱氧, 炉后合金化控制钢包钢水成分 (‰) 0.15 ~ 0.35C、0.55 ~ 0.65Mn、0.20 ~ 0.30Cr。

表 1 LZ45CrV 车轴钢坯的化学成分/‰

Table 1 Chemical composition of LZ45CrV steel bloom for railway axle /‰

项目	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Cu	V	Mo
标准要求	0.40 ~ 0.48	0.17 ~ 0.37	0.55 ~ 0.85	≤ 0.020	≤ 0.020	0.15 ~ 0.30	0.40 ~ 0.65	0.020 ~ 0.045	≤ 0.25	0.06 ~ 0.15	0.07 ~ 0.15
实际成分	0.43	0.27	0.77	0.007	0.005	0.22	0.55	0.037	0.03	0.10	0.10

表 2 LZ45CrV 车轴钢坯的力学性能要求

Table 2 Requirement for mechanical properties of LZ45CrV steel bloom for railway axle

抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %	断面收缩 率/%	纵向冲击/ J	横向冲击/ J
≥690	≥390	≥19	≥35	≥40	≥35

进 LF,吹 Ar、加热、调渣,渣白并流动性好,温度达到 1 540 ℃ 以上取样。按内控目标成分调整,喂铝线使 Al 控制在 0.035% ~ 0.045%。加热至 1 610 ~ 1 620 ℃ 停电,按分析结果补铝线。VD 处理 ≤ 67 Pa 保持 10 ~ 15 min,确保真空处理时间 ≥ 20 min,真空全程小流量吹 Ar。破真空测温 1 550 ~ 1 560 ℃,再取样分析,并按目标成分进行微调,小流量缓慢吹 Ar ≥ 15 min,起坑浇注,起坑温度 1 525 ~ 1 535 ℃。该钢液相线温度为 1 490 ℃。

铸锭系统必须清洁干燥,使用热钢锭模浇 6.5 t 钢锭。锭身注速 540 ~ 600 s、帽口注速 360 ~ 420 s,拖车时间为 2.75 h。

钢锭加热温度 1 260 ~ 1 280 ℃,850 轧机开坯采用大压下制度,轧坯规格为 260 mm × 260 mm 或 280 mm × 280 mm,轧后按定尺长度剪切,及时缓冷。

热处理制度对 LZ45CrV 车轴钢力学性能影响试验的钢坯规格为 260 mm × 260 mm。

3 钢坯检验结果及分析

3.1 化学成分

将 C 按化学成分标准中下限控制,Mn、Cr 按中上限控制。通过对化学成分各元素制定内控标准,确定目标成分,大冶特钢试验的钢坯化学成分完全满足铁道部设计要求。同时使钢坯在保证较高的强度指标下具有较好的韧性指标。具体冶炼炉号的 LZ45CrV 车轴钢的化学成分如表 1。

3.2 纯净度

钢坯纯净度的指标主要包括氧含量,非金属夹杂物,有害杂质元素 P、S、Cu、As、Sn、Pb、Sb 含量等。钢中非金属夹杂物破坏基体的连续性,引起应力集中,促进裂纹形成,因此降低钢材力学性能和疲劳强度,造成钢材在使用过程中的早期失效^[1]。为了有利于降低钢中氧含量及非金属夹杂物级别,在工艺操作上,初炼炉严格控制出钢碳,实行无渣出钢,出钢时随钢流加 Al 块进行沉淀脱氧,在入 LF 精炼后及时喂 Al 线预脱氧、同时加入一定的 SiCa 粉等进行渣面扩散脱氧,入 VD 后根据钢中残 Al 量再喂 Al 线终脱氧,保证 VD 时间使脱氧产物 Al₂O₃ 等夹杂物充分上浮,真空后再进行软吹氩。本次试验炉号

的氧含量为 8.5×10^{-6} ,非金属夹杂物 A、B、C、D 类细系级分别为 0.5、1.0、0.5 级。

有害杂质元素 P、S、As、Sn、Pb 等影响合金钢的冲击韧性^[2-3],对高标准的大轴重新材质车轴钢的综合性能和使用疲劳寿命也有一定的影响,通过加大高炉铁水和优质废钢的配比量,加强深脱 P 和脱 S 操作,显著降低了有害杂质元素含量,其中 (/%) 0.008P、0.004S、0.03Cu、0.0021As、0.0016Sn、0.0009Pb、0.0017Sb。

3.3 晶粒度

大轴重车轴钢要求在 (mm) 200 × 200 × 200 大试料整体正火、回火处理后有极细的晶粒度。通过微量元素 Nb、V、Al、Ti、N 的合理控制,使之形成足够的细小弥散的 AlN、VN、V(CN) 质点,钉扎晶界达到细化晶粒的效果。Al 含量太高容易形成单纯的 Al₂O₃,造成夹杂物级别升高,也容易造成车轴坯混晶组织^[4],有文献研究 LZW 车轴钢 Al 含量最佳范围为 0.02% ~ 0.04%^[5],试验 LZ45CrV 钢控制 Al 含量为 0.025% ~ 0.040%。在冶炼过程中,考虑真空前后烧损的情况补喂 Al 线来保证钢坯 Al 含量在内控范围内。N 对微合金钢中碳氮化物固溶、析出起着重要作用,钢中适量的 N 可以更有效地发挥微合金化元素细化晶粒的作用^[6],N 含量控制在 0.007% ~ 0.012%。在冶炼过程中通过炉中分析 N 含量和加 FeCrN 的方式保证 N 含量控制在设定的范围内。V 除了细化晶粒外还有一定的沉淀强化作用,V 含量控制在 0.09% ~ 0.12%。在冶炼过程中 V 比较稳定,容易控制。试验车轴钢坯经北京铁科院检测的晶粒度级别为 8 级,如图 1(a) 所示,组织为分散的小块状铁素体和珠光体如图 1(b),效果

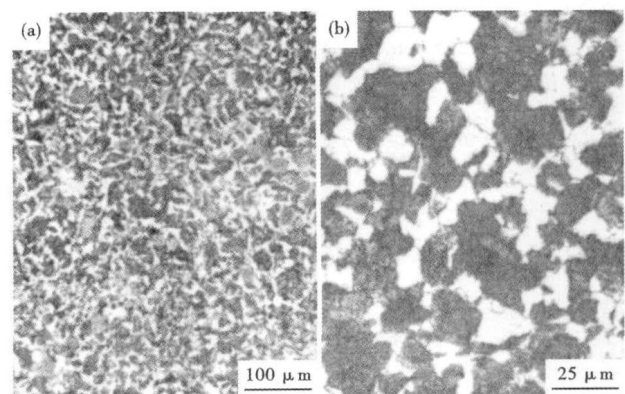


图 1 LZ45CrV 钢坯 850 ℃ 正火 615 ℃ 回火后实际晶粒度 (a) × 100 和组织 (b) × 400

Fig. 1 Actual grain size × 100 (a) and structure × 400 (b) of LZ45CrV steel bloom normalized at 850 ℃ and tempered at 615 ℃

良好。

3.4 热处理工艺对材料性能的影响

用 $\Phi 4 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 小试样在德国 BAHF 公司 DIL805L 相变测试仪上对该钢种的相变点进行了测试: $Ac_1 = 760 \text{ }^\circ\text{C}$, $Ac_3 = 790 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

大轴重车轴是在正火加回火处理后投入使用, 所以该钢坯力学性能检验是模拟车轴的使用状态用 (mm) $200 \times 200 \times 200$ 大试料进行整体正火和回火。力学性能试验取样部位如图 2 所示。选用 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 正火, 经 5 组不同回火温度进行试验。试料正火保温 4.5 h 后在室温静止空气中冷却, 回火保温 5.0 h, 室温空冷。由图 3 曲线可知, 随回火温度升高抗拉强

度和屈服强度降低, $630 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始强度值比标准要求富裕不大, 随回火温度升高伸长率和断面收缩率逐渐升高, 但 $615 \text{ }^\circ\text{C}$ 后伸长率和断面收缩率升高不明显。冲击功均能满足标准要求, 横向冲击功比纵向冲击功稍低。为了达到各项性能的最佳匹配, 采用 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 正火 + $(615 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$ 回火热处理工艺最佳。北京铁科院检测结果为屈服强度 420 MPa、抗拉强度 755 MPa、伸长率 23%、断面收缩率 54.5%、平均纵向冲击功 50 J、平均横向冲击功 43.8 J。

4 钢坯制成车轴后的性能情况

大冶特钢生产 $260 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$ 和 $280 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ 车轴钢坯 LZ45CrV 发往铜陵和涟源两家车轴厂, 制成不同型号的车轴后, 车轴解剖试样送往北京铁科院检测, 各项技术指标均满足铁道部的设计要求。目前正准备进行车轴疲劳试验。

5 结论

(1) 采用合理的内控成分、合适的冶炼工艺和大钢锭模铸、控轧工艺生产的新型 LZ45CrV 车轴钢坯, 纯净度高, 晶粒细小, 经北京铁科院检测, 屈服强度 420 MPa、抗拉强度 755 MPa、伸长率 23%、断面收缩率 54.5%、平均纵向冲击功 50 J、平均横向冲击功 43.8 J, 均满足铁道部设计要求。

(2) 大冶特钢 LZ45CrV 钢坯制成车轴后, 车轴解剖试样各项技术指标均满足铁道部设计要求。

(3) 车轴钢坯热处理最佳工艺为 $850 \text{ }^\circ\text{C}$ 正火 + $(615 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$ 回火, 组织为分散的小块状铁素体和珠光体。

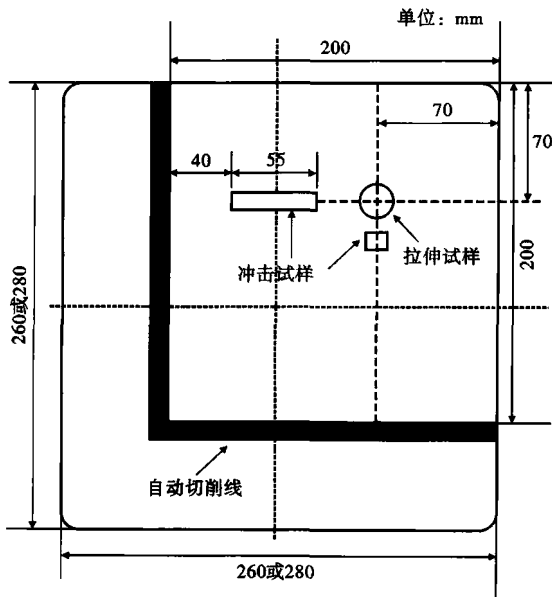


图 2 LZ45CrV 钢坯力学性能取样部位

Fig. 2 Location sampling for mechanical property specimen of LZ45CrV steel bloom

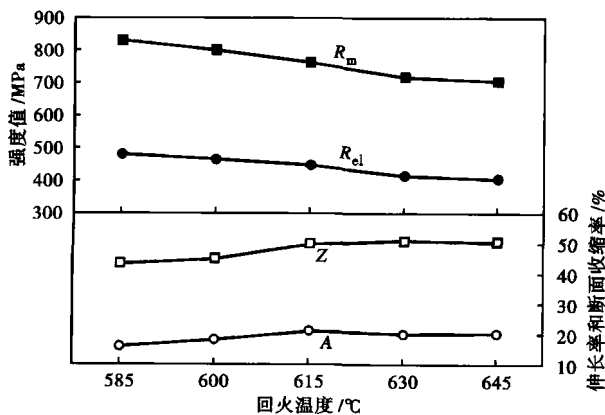


图 3 回火温度对 LZ45CrV 钢坯力学性能, $815 \text{ }^\circ\text{C}$ 淬火的影响
Fig. 3 Effect of tempering temperature on mechanical properties of LZ45CrV steel bloom, quenched at $815 \text{ }^\circ\text{C}$

参考文献

- 赵 坚, 赵 琳. 优质钢缺陷 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991: 222-232.
- 项程云. 合金结构钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999: 113-115.
- 孟传峰, 王玉玲, 原凌云. 铁路车辆用 LZ50 钢机械性能影响因素的分析研究 [J]. 山西冶金, 2002 (2): 20-21.
- 李 辉, 秦晓峰, 温宝利, 等. LZ50 车轴钢中的混晶组织 [J]. 大连交通大学学报, 2010, 31 (3): 48-51.
- 李学峰, 王玉玲. 铁道车辆用 LZW 车轴钢晶粒度的研究 [J]. 钢铁, 2001, 36 (8): 36-38.
- 董成瑞, 任海鹏, 金同哲. 微合金非调质钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 38-39.

周立新 (1968-), 男, 硕士, 高级工程师, 副总工程师, 《特殊钢》编委, 北京科技大学毕业, 特殊钢新产品开发和工艺研究。

收稿日期: 2012-06-04