

· 产品研发 ·

铁路轴箱轴承用8620钢3 t钢锭轧制产品研发



李博鹏^{1,2}, 陶士君¹, 张剑锋¹, 刘月云^{1,2}, 陆竹君^{1,2}, 吕文俊¹

(1 大冶特殊钢有限公司, 黄石 435001; 2 高品质特殊钢湖北省重点实验室, 黄石 435001)

摘要:针对中国铁路客车和货车轴箱轴承用钢主要使用电渣钢的现状,采用铁水+废钢→70 t 电弧炉→LF→RH→3 t 钢锭→均热坑→1350+750/650 轧机轧制的流程生产规格 $\phi 60 \sim \phi 120$ mm 8620 钢(质量分数/%: 0.18~0.22 C, 0.15~0.30 Si, 0.75~0.95 Mn, 0.45~0.65 Cr, 0.45~0.70 Ni, 0.15~0.25 Mo, ≤ 0.020 P, ≤ 0.015 S, 0.020~0.050 Al)。通过控制出钢留钢留渣、炉后造渣和合金化,真空处理时间 ≥ 25 min,氩气弱搅拌,控制钢水过热度,全过程 Ar 气保护,模铸自动浇注,轧制后控制冷却等工艺措施,生产的产品宏观夹杂物检测含量 ≤ 10 mm/dm³,晶粒度 8~8.5 级,密度达到 7.854 g/cm³,钢材各项指标满足标准要求。

关键词: 3 t 钢锭; 8620 钢; 模铸自动浇注; 宏观夹杂物; 密度

DOI: 10.20057/j.1003-8620.2023-00011 **中图分类号:** TF119

Development of Rolled Steel Products from 3 t Ingot of Grade 8620 for Railway Axle Box Bearings

Li Bopeng^{1,2}, Tao Shijun¹, Zhang Jianfeng¹, Liu Yueyun^{1,2}, Lu Zhujun^{1,2}, Lv Wenjun¹

(1 Daye Special Steel Co., Ltd., Huangshi 435001, China; 2 Hubei Provincial key laboratory of high-quality special steel, Huangshi 435001, China)

Abstract: Based on the current quality situation of ESR bearing steel for passenger railway and wagons in China, the grade 8620 steel bars with diameters between 60 mm and 120 mm are produced with the process as follows: 70 t EAF (Hot Metal+Scrap) → LF → RH → 3 t steel ingot → soaking pit → 1350+750/650 rolling mill, whose chemical composition are (%): 0.18-0.22 C, 0.15-0.30 Si, 0.75-0.95 Mn, 0.45-0.65 Cr, 0.45-0.70 Ni, 0.15-0.25 Mo, ≤ 0.020 P, ≤ 0.015 S, 0.020-0.050 Al. By taking technological measures such as steel and slag retention operation, slag formation and alloy addition during tapping, vacuum holding time ≥ 25 min and soft argon blowing, superheat control, full process Argon protection casting and automatic pouring as well as controlling cooling after rolling etc, to keep 8620 steel bars conform to all technical specification requirements, especially, macro-inclusions of finished bars less than 10 mm/dm³, grain size class 8-8.5, and the density being 7.854 g/cm³.

Key Words: 3 t Steel Ingot; Grade 8620 Steel; Automatic Ingot Casting; Macro-inclusion; Density

1876年,中国第一条铁路建成,100年来,中国铁路从无到有、从弱到强^[1],铁路逐步发展成国家最重要的运输工具之一,轴承是国民经济的战略物资,广泛应用于交通运输和工业机械等装备中^[2],中国铁路轴箱轴承是铁路货车和客车关键零部件,铁路运输的第一位要求是安全性,对于轴箱轴承等关键部位零部件,必须以其高可靠性来保证铁路机车车辆运行的高安全性^[3]。为此,研发稳定的轴承材料相关技术显得尤为重要。

中国铁路客车和货车轴箱轴承用钢主要使用电渣钢,采用电渣重熔工艺生产的轴承钢具有高而均匀的硬度、耐磨性及长的疲劳寿命^[4]。而欧洲和北美铁路及轴箱轴承用钢企业主要使用模铸钢,大冶特钢一直是中国铁路客车和货车轴箱轴承用钢

主要制造企业,早在20世纪初期已开始储备生产轴箱轴承用模铸钢的生产制造技术。2020年9月中国明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标,更促进了轴箱轴承用模铸钢的推广,本课题研究的产品可以代替电渣工艺生产的产品,可以有效达到提升生产效率和节约电能的目标。

1 铁路轴箱轴承用8620钢产品特性

铁路轴箱轴承产品特性要求:重载、抗冲击、长寿命、稳定、安全,轴承用原材料要求:高强度、冲击性能好、耐疲劳、组织均匀、高纯净度。在众多影响轴承钢性能因素中,轴承钢中的夹杂物数量、类别、尺寸和分布是影响轴承钢接触疲劳性能的关键因素。公司轴研所对轴箱轴承的可靠性研究表明,钢

材非金属夹杂物少,且细小均匀、组织致密度高,内部质量优良,那么轴箱轴承的寿命长、可靠性水平高,且非常稳定^[3]。

8620 钢属于渗碳钢,具备表面耐磨和芯部耐冲击的特点,适合应用在工作环境恶劣、高级别安全要求、高稳定性要求的条件下。

2 制造工艺

铁路轴箱轴承用规格 $\phi 60 \sim \phi 120$ mm 的 8620 钢生产制造工艺流程为: $\geq 55\%$ 铁水+洁净废钢 $\rightarrow 70$ t 电弧炉 \rightarrow LF 精炼 \rightarrow RH \rightarrow 模铸浇注 3 t 钢锭 \rightarrow 均热坑加热 $\rightarrow 1350+750/650$ 轧机轧制 \rightarrow 理化检验 \rightarrow 超声波探伤 \rightarrow 漏磁探伤 \rightarrow 包装、入库。

2.1 初炼

电弧炉采用 EBT 炼钢出钢模式,采取炉门炉壁吹氧技术缩短冶炼周期,采取留钢留渣技术,为炉后造渣提供优良的条件,为精炼过程造渣创造良好条件,总装入量 (70 ± 5) t,铁水比例 $\geq 55\%$,并采用洁净废钢的精料控制,减少电弧炉钢水外来夹杂物的数量,同时,对钢水中硫含量的控制也有一定的优势,后续精炼工序脱硫压力也可大幅减小^[5],出钢温度 ≥ 1640 °C,氧的溶解度和温度的关系为 $\log w_o = -6320/T + 2.734$ ^[6],合适的出钢温度,钢液中的氧活度会处于合适的水平,从而脱氧后,产生较少的脱氧产物。炉后进行脱氧,随着钢流加入铝锭(2 kg/t)、低碳铬铁(8.5 kg/t)、镍板(5 kg/t)、钼铁(2.5 kg/t)。

2.2 炉外精炼

LF 炉外精炼是脱氧和去除杂质以及控制最终成分的关键工序。大冶特钢拥有自主知识产权的淬透性设计软件,通过软件模拟设计及回归,可实现淬透性窄带控制,精炼过程采用石灰+合成精炼渣的造渣方式[质量分数/%: $15 \sim 30\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $35 \sim 50\text{CaO}$ 、 $5 \sim 15\text{SiO}_2$; $R(\text{CaO}/\text{SiO}_2) \geq 4$],同时精炼过程加入脱氧剂进行脱氧,精炼全过程吹氩气进行搅拌,合适的钢水搅拌强度,促使钢水中夹杂物聚合,聚合后的夹杂物随着上浮并被精炼渣吸收,降低钢水中的 T[O]量^[7],钢中的氧主要以氧化物夹杂的形式存在,降低轴承钢中的氧含量可以明显提高轴承的疲劳寿命^[8]。实践表明,精炼时间 ≥ 50 min,氧含量可以达到 $\leq 8 \times 10^{-6}$ 。

LF 炉外精炼过程完成后,钢水进入 RH 工序进行真空脱气,钢水进入真空室,在适当的 Ar 气驱动下,钢水快速流动,且大面积处于真空下,创造了良好的脱气的动力学条件,真空时间 ≥ 25 min,最小真

空度 ≤ 67 Pa。真空后进行小流量吹氩弱搅拌处理,钢水中的细小 Al_2O_3 夹杂物随着 Ar 气进一步上浮聚合,兴澄特钢对轴承钢中大型夹杂物进行检测发现,其主要成分为 O-Al-Ca-S、O-Al-Mg-Ca-(S) 和 Ti-N-Cr,且适当的延长弱搅拌时间可以显著减少夹杂物的数量^[9],从而再次提高钢水纯净度。

2.3 模铸

大冶特钢模铸自动化浇注线是国内唯一自动浇注模铸钢锭的生产线,模铸自动化浇注线配备钢锭模自动清洗、底板自动砌制、自动摆模、自动浇注、自动脱模、自动底板倾翻等技术,创造浇注过程稳定的环境,提升作业周期,同时改善模铸作业环境,减少粉尘污染。

自主开发的模铸保护浇注装置获得国家专利,该模铸保护浇注工艺可以有效防止钢水二次氧化,保护浇注可以显著降低钢中气体和非金属夹杂物含量^[10]。

采用自动控制浇注速度技术,可以稳定有效的控制钢水在钢锭模中的行进速度,可以进一步使夹杂物上浮和获得良好的结晶组织,获得钢锭截面较小的偏析。合适的浇注速度和温度是通过多轮次试制摸索而最终确定,控制过热度 $50 \sim 60$ °C,浇注时间:锭身 360 ~ 450 s,冒口 180 ~ 220 s,钢锭凝固 2 h 后,及时脱模红送到轧钢厂。

采用自动脱模和底板砌制技术,可以有效清除钢锭模残留钢渣,获得高的底板砌制质量并保持一致性,防止外来物进入钢锭模浇注系统和钢水中,有效防止钢水二次污染。

2.4 轧制

采用均热坑 H_2 加热技术,有效降低了碳排放强度,加热段温度 $900 \sim 1280$ °C,均热保温温度 $1230 \sim 1320$ °C,高温扩散时间 ≥ 4 h,进一步均匀碳化物。采用 1350 横列式开坯机开坯,采用大压下轧制技术,部分道次压下量从 70 mm 提升至 110 mm,开轧温度 $1050 \sim 1200$ °C,轧后钢材控冷。

按照上述工艺采用 3 t 钢锭试制了一炉规格为 $\phi 120$ mm 产品。

3 试制结果及分析

3.1 熔炼成分

8620 钢的熔炼成分符合技术标准要求,具体的分析结果见表 1。

3.2 轧制钢材低倍及成分偏析

轧制 $\phi 120$ mm 钢材,低倍依照 ASTM E381-22

表 1 8620 钢的钢水熔炼成分(质量分数)
Table 1 Molten steel melting composition of steel grade 8620

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti
技术标准	0.18 ~ 0.22	0.15 ~ 0.30	0.75 ~ 0.95	≤0.020	≤0.015	0.45 ~ 0.65	0.45 ~ 0.70	0.15 ~ 0.25	≤0.30	0.020 ~ 0.050	≤0.002 5
实测值	0.21	0.25	0.88	0.011	0.006	0.57	0.62	0.22	0.10	0.024	0.001 3

检测,标准要求 S、C、R 均要求 ≤2 级,在钢材相对应于钢锭头尾部位取样进行低倍检测,实测 S、C、R 值均为 1 级,低倍图片如图 1 所示,符合技术标准。接近同规格电渣材质量。

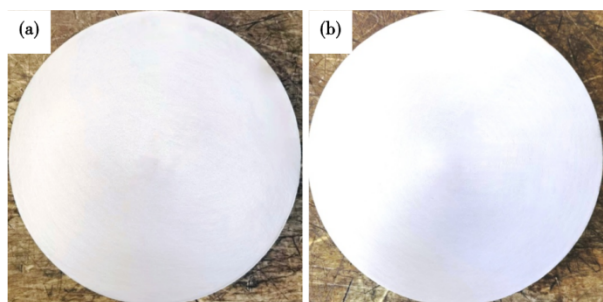


图 1 φ120 mm 轧制钢材上钢锭头尾部位低倍:(a)钢锭头, (b)钢锭尾

Fig. 1 Macro-structure of φ120 mm rolled steel bar from the top and bottom parts of the ingot: (a) macro-structure of ingot top, (b) macro-structure of ingot bottom

按照 GB/T 20123—2006 标准检测钢锭头和钢锭尾截面碳含量,用碳偏析指数=(1/2 半径碳含量)/(心部碳含量)来评价成分的均匀性,钢锭头部碳偏析指数为 0.995 ~ 1.019,钢锭尾部碳偏析指数 0.989 ~ 1.009,钢锭头和钢锭尾碳偏析指数波动如图 2 所示。

3.3 致密性

采用模铸浇注方式,自然冷却,得到的钢材相

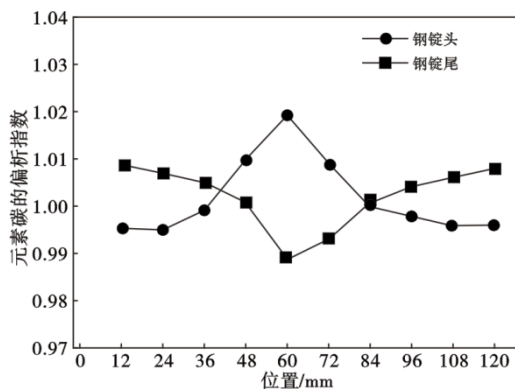


图 2 φ120 mm 轧制钢材上钢锭头和钢锭尾碳偏析指数
Fig. 2 Carbon segregation index of ingot top and ingot bottom of φ120 mm rolled steel bar

比连铸工艺生产的致密性更好,相比连铸工艺,模铸工艺的钢材密度更大,采用排水法检测密度,模铸工艺生产的钢材密度为 7.854 g/cm³,连铸工艺生产的钢材密度为 7.838 g/cm³。

3.4 晶粒度

钢材检验奥氏体晶粒度依照 ASTM E112 的检测方法,评 8.0 ~ 8.5 级,如图 3 所示。

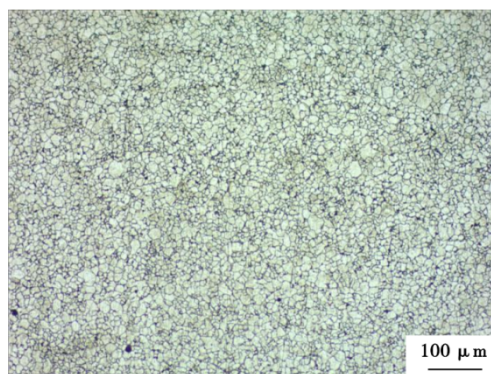


图 3 φ120 mm 轧制钢材的奥氏体晶粒度
Fig. 3 Austenitic grain size of φ120 mm rolled steel bar

3.5 淬透性

正火温度(926±5)°C,淬火温度(926±5)°C,淬透性检验结果符合标准,淬透性曲线如图 4 所示。

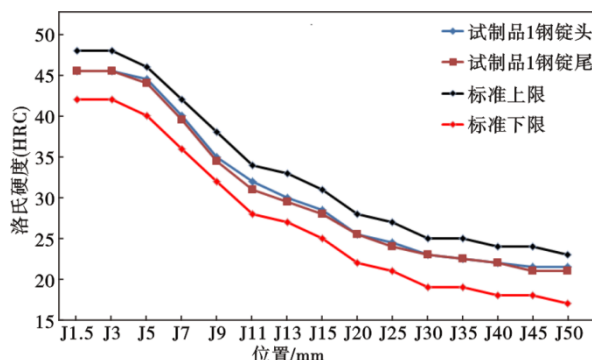


图 4 淬透性曲线
Fig. 4 Hardenability curve

3.6 宏观夹杂物超声波检测

对钢锭头尾对应的试样进行宏观纯净度检测,检测依照 SEP 1927 的超声波检测方法,敏感等级 5

级,检测体积 $\geq 5 \text{ dm}^3$,夹杂物含量应 $\leq 10 \text{ mm/dm}^3$,最大夹杂物影像长度为0。

3.7 气体含量

钢中氧含量要求 $\leq 8.0 \times 10^{-6}$,实测值:钢锭头 5.8×10^{-6} 、 6.0×10^{-6} 、 5.7×10^{-6} ;钢锭尾 6.0×10^{-6} 、 6.0×10^{-6} 、 6.3×10^{-6} 。

3.8 微观夹杂物

钢中微观夹杂物按 ISO 4967—2013 评级,结果满足标准要求,见表2。ASPEX 夹杂物指数在 1.0 ~ 2.1 之间,ASPEX 夹杂物指数=夹杂物面积/扫描面积 \times 比例因子,钢中 $\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 的夹杂物分布进行三元相图分析,如图5所示。

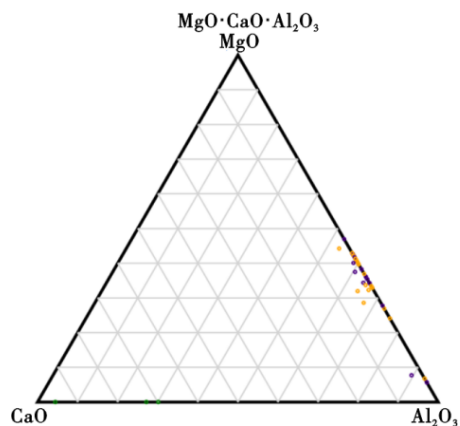


图5 钢中夹杂物三元相图

Fig. 5 Ternary diagram of inclusion in steel

表2 微观夹杂物评级

Table 2 Micro-inclusion ratings		级						
位置	A 细	A 粗	B 细	B 粗	C 细	C 粗	D 细	D 粗
钢锭头	2.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	2.0	2.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	2.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
钢锭尾	2.5	1.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.5	0.5
	2.0	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	2.0	1.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5

为了研发出非金属夹杂物少且细小均匀、组织致密度高内部质量优良的轴承钢材料,在研发生产过程中,采用自动控制浇注速度技术,稳定有效地控制钢水在钢锭模中的行进速度,可以进一步使夹杂物上浮和获得良好的结晶组织,获得钢锭截面较小的偏析,同时轧制采用 $\geq 4 \text{ h}$ 的高温扩散及大压下轧制技术,进一步均匀碳化物而提升钢材内部质量,最终使得整支钢锭碳偏析指数处于 0.989 ~ 1.019 之间,一般疏松和中心疏松达到 1 级,非常致密,内部质量优良。

炼钢全流程通过纯净铁水和洁净废钢原材料

控制、留钢留渣操作、LF 精炼、RH 真空处理、氩气弱搅拌工艺、保护浇注等措施,最终得到氧含量极低、夹杂物数量少、尺寸小、高纯净度的优质钢锭。

4 结论

(1)大冶特殊钢有限公司采用铁水+废钢 $\rightarrow 70 \text{ t}$ EAF \rightarrow LF \rightarrow RH $\rightarrow 3 \text{ t}$ 钢锭 \rightarrow 均热坑加热 $\rightarrow 1350+750/650$ 轧机轧制的工艺流程,可以生产 8620 钢,规格 $\phi 60 \sim \phi 120 \text{ mm}$;

(2)通过采用模铸保护浇注技术和自动控制浇注速度技术,生产的 8620 钢头尾宏观纯净度检测为 0,同时采用高温扩散工艺和大压下轧制技术,钢锭头部碳偏析指数 0.995 ~ 1.019,钢锭尾部碳偏析指数 0.989 ~ 1.009,钢材低倍 C、S、R 分别达到 1 级,接近电渣材低倍质量。

(3)采用模铸工艺生产的钢材致密性高,钢材密度达到 7.854 g/cm^3 ,高于同钢种连铸工艺生产的钢材密度 7.838 g/cm^3 。

参考文献

- [1] 傅志寰,刘忠民,李子明. 中国铁路百年发展与创新[A]. 中国铁路, 2021(7):1-7.
- [2] 曹文全,俞峰,王存宇,等. 高端装备用轴承钢冶金质量性能现状及未来发展方向[J]. 特殊钢, 2021, 42(1): 1-10.
- [3] 杨晓蔚. 铁路轴箱轴承的可靠性[J]. 轴承, 2013(10): 5-7+11.
- [4] 肖爱平,张洲,李德胜,等. 电渣重熔渣系对 GCr15 轴承钢纯净度的影响[J]. 特殊钢, 2022, 43(6): 34-37.
- [5] 安杰,李涛,王哲,等. 60 t 电弧炉全废钢熔炼技术[J]. 工业加热, 2020, 49(5): 18-20.
- [6] 李博鹏,王占忠,柳萍,等. 120 t BOF-LF-RH-410 mm \times 530 mm 大方坯连铸 18CrNiMo7-6 钢的工艺实践[J]. 特殊钢, 2019, 40(3): 32-34.
- [7] 蔡开科. 转炉-精炼-连铸过程钢中氧的控制[J]. 钢铁, 2004, 39(8): 49-57.
- [8] 杨建虹,雷建中,叶健熠,等. 滚动轴承疲劳寿命的影响因素[J]. 轴承, 2001(5): 28-30.
- [9] 耿克,吴明,翁韶华,等. 高纯净 GCr15 轴承钢脆性夹杂物的控制[J]. 特殊钢, 2008, 29(5): 54-55.
- [10] 吴宗双,包燕平,刘建华,等. 长水口氩封保护浇注对车轮钢 $\phi 450 \text{ mm}$ 圆坯质量的影响[J]. 特殊钢, 2007, 28(2): 54-55.