

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.03.002

低铝 Cr5 支承辊用钢锭的开发

魏巍,李虹,张玉亭,黄凤泽,张志强

(石钢京诚装备技术有限公司,辽宁营口 115100)

摘要:通过调整合金成分、渣料,优化 LF 精炼渣系,清理钢包残钢残渣,严格控制转炉出钢下渣。LF 精炼渣系成分为:52%~56% CaO、15%~20% Al₂O₃、13%~18% SiO₂、5%~10% MgO、(TFe+MnO)≤0.5%、R 3.2~3.6。控制模温 50~80 °C,锭身浇铸速度 1.2~1.5 t/min,冒口浇铸速度 0.3~0.7 t/min,保证钢液面平稳上升,浇铸过程氩气保护。结果表明,可实现 Cr5 支承辊用钢锭成品[P]≤0.012%、[S]≤0.005%、[Al]≤0.010%和[Ti]≤0.005%。

关键词:Cr5; 钢锭; [Al]≤0.010%

中图分类号:TF762

文献标识码:A

文章编号:1000-8365(2021)03-0168-04

Development of Low Aluminum Cr5 Steel Ingot Used for Backup Roll

WEI Wei, LI Hong, ZHANG Yuting, HUANG Fengze, ZHANG Zhiqiang

(Shigang Jingcheng Equipment Development and Manufacturing Co., Ltd., Yingkou 115100, China)

Abstract: By adjusting the alloy composition and slag materials, optimizing the slag system of LF refining, cleaning up the ladle residual steel residue, and strictly controlling the slag from the converter. The composition range of LF refining slag was 52%~56% CaO、15%~20% Al₂O₃、13%~18% SiO₂、5%~10% MgO、(TFe+MnO)≤0.5%、R 3.2~3.6. The mold temperature was controlled from 50 °C to 80 °C, the pouring speed of ingot was 1.2~1.5 t/min, and the pouring speed of riser was 0.3~0.7 t/min, so as to ensure the smooth rise of molten steel level and the argon protection during the casting process. The results show that can realize Cr5 backup roll with ingot products [P]≤0.012%, [S]≤0.005%, [Al]≤0.010% and [Ti]≤0.005%.

Key words: Cr5; ingot; [Al]≤0.010%

支承辊在轧机中用来支承工作辊或中间辊,以便在轧制时防止工作辊变形而影响产品质量,是轧机的重要受力零件,在轧辊产品中支承辊具有尺寸大、重量大、制造难度大等特点^[1-2]。支承辊产品要求辊身表面硬度高、硬度均匀性好、辊身淬硬层深、残余应力小、辊颈及辊身芯部具有良好的韧性等特点,同时要求钢材具有较好的力学性能,冲击韧性高、耐磨性高、屈服强度高、抗剥落性好、抗高温效果好等^[3-4]。

我国支承辊材料发展经历了 3 个阶段^[5]。第 1 阶段是 20 世纪 60 年代~80 年代,主要采用 9Cr2Mo(C 含量 0.80%~0.95%、Cr 含量 2.0%左右)为代表的 Cr2 系列钢材生产支承辊。生产较大的支承辊时,轧辊芯部易产生碳元素偏析,形成粗大的网状碳化物,淬裂倾向严重,抗剥落性差,难以满足现代轧机的要求。目前,部分小型轧机仍使用此类

材料加工的 1 m 以下支承辊;第 2 阶段是 20 世纪 80 年代~21 世纪初,针对冷、热连轧机支承辊轧辊的使用特点,开发了 70Cr3Mo(C 含量 0.40%~0.70%、Cr 含量 3.0%左右)为代表的 Cr3 系列支承辊用钢。Cr3 支承辊虽然能满足硬度要求,但淬硬性略显不足,需要低温回火,导致残余应力的释放受到一定影响,增大了支承辊使用中辊身断裂的风险;第 3 阶段是 21 世纪至今,开发了 50Cr5MoV、Cr5 等(C 含量 0.45%~0.60%、Cr 含量 4.7%~5.5%,添加微量 V 元素,以细化支承辊心部组织)的 Cr5 系列支承辊用钢,支承辊的耐磨性、抗剥落能力、淬硬性、抗疲劳强度、抗事故性能均显著提高。目前,高性能支承辊普遍采用 Cr5 系列钢锭生产。

在 Cr5 钢锭的表面或浅表面中,以呈尖角状硬质 Al₂O₃ 为主的夹杂物会破坏钢材基体的连续性,造成钢材组织的不均匀、支承辊表面点状缺陷及表面退化,同时会成为内部疲劳源和裂纹源。在支承辊使用过程中容易形成裂纹,严重恶化支承辊的组织 and 硬度、塑性、冲击韧性、疲劳等力学性能,导致支承辊表面失效、磨损加剧、剥落或断裂^[6-8]。因此,为了保证支承辊的性能,提高服役寿命,必

收稿日期:2021-01-26

作者简介:魏巍(1986—),辽宁本溪人,硕士,工程师。主要从事冶金研究方面的工作。电话:18940753980, Email:393301678@163.com

须严格控制 Cr5 钢锭的非金属夹杂物及较低的铝含量。

1 低铝 Cr5 钢锭的生产

因 Cr5 系列钢锭合金含量较高,由合金带入一部分铝,同时生产过程铝损小,导致采用“BOF-LF-VD-铸锭”流程难以保证 Cr5 钢锭成品 $[Al] \leq 0.010\%$ 。通过完善冶炼工艺,优化精炼渣系,调整合金渣料,严格过程管控,采用“BOF(100 t)-LF(120 t)-VD(120 t)-下注钢锭”工艺流程,生产锭型为 18~52 t 成品 $[Al] \leq 0.010\%$ 的下注低铝 Cr5 钢锭。钢锭热送退火后用于锻造生产支承辊,成分设计及冶炼过程控制如下。

(1)铁液要求 $P \leq 0.110\%$ 、 $S \leq 0.030\%$ 、 Si 0.20~0.60%、浇铸温度 1 300~1 450 °C。前一炉冶炼结束后转炉炉内留少量钢渣,底吹氮气进行溅渣护炉。转炉铁液废钢比例为:铁液量 80%~85%,废钢量 15%~20%,使用优质 Cr、Mo 废钢。冶炼前将转炉炉口、炉帽附近的转炉渣清理干净,如吹炼过程发生喷溅,必须对炉帽残留的转炉渣进行二次清理,保证炉帽清理干净无残渣方可出钢。转炉吹炼 3~5 min 需倒出前期渣,再次造渣进行双渣冶炼操作。转炉冶炼周期 40~50 min,转炉出钢要求出钢 $[C] \geq 0.08\%$,出钢 $[P] \leq 0.008\%$,温度 1 590~1 650 °C,转炉吹炼终点实现成分、温度双命中,避免钢液过氧化,出钢过程进行脱氧合金化。为了保证较低的成品 Al 含量,转炉出钢使用白灰(5~6 kg/t_钢)、萤石(0.8~1.2 kg/t_钢)进行造渣,不使用精炼复合渣,出钢过程严禁下渣,出钢后禁止喂入铝线,可为精炼过程冶炼创造良好的条件。

(2)LF 到位后按 0.05~0.07 kg/t 钢喂入钙线,钢包使用双透气砖,根据精炼炉渣熔化情况及流动性加入白灰、萤石、石英砂造渣,不使用精炼复合渣,精炼全程不喂入铝线、不使用铝粒脱氧。精炼过程白灰用量(6~8 kg/t_钢)、萤石用量(0.5~1.0 kg/t_钢)、石英砂用量(0.8~1.2 kg/t_钢),精炼时间 ≥ 90 min,白渣保持时间 ≥ 50 min。LF 精炼过程碳化硅用量 3~5 kg/t_钢 进行扩散脱氧,保证良好的脱氧效果。LF 过

程氩气流量控制 300~800 NL/min,氩气消耗 0.3~0.5 m³/t,保证良好的透气性及搅拌效果,促进脱氧脱硫、成分调整、均匀温度、夹杂物上浮等冶金反应的进行。LF 精炼过程按目标成分调整合金含量,因 50Cr5MoV 合金含量较高,由合金带入的铝含量较高,同时冶炼过程铝损小,需使用低铝硅铁等合金。

(3)LF 精炼渣系控制范围:52%~56% CaO、15%~20% Al₂O₃、13%~18% SiO₂、5%~10% MgO、(TFe+MnO) $\leq 0.5\%$ 、R 3.2~3.6。这种精炼渣系可控制钢液较低的 $[Al]$ 含量,同时满足钢种的脱硫要求,且对上浮的夹杂物具有良好的吸附性,保证钢液良好的纯净度。

(4)VD 高真空脱气处理(67 Pa 以下)保持时间 25~30 min,VD 过程氩气流量控制 150~500 NL/min。VD 破空后按 1.0~1.5 kg/t_钢 加预熔钢包覆盖剂,软吹时间控制 35~50 min,软吹时氩气流量 ≤ 17 L/min,促进夹杂物充分上浮,吊包过热度 45~50 °C,保证钢锭浇铸时过热度 43~47 °C。

(5)钢锭浇铸时控制模温在 50~80 °C。钢锭的锭身浇铸速度为 1.2~1.5 t/min,钢锭冒口浇铸速度为 0.3~0.7 t/min,保证锭模内钢液液面平稳上升,浇铸时做好氩气保护,避免钢液吸气造成二次氧化及增氮。与钢液接触的原辅料必须经干燥室烘干,干燥时间 ≥ 48 h。保护渣采用吊挂和过程补加相结合的方式,按 1.5 kg/t 吊挂,吊挂高度 250~300 mm,剩余部分散装补加(不得整袋加入、不得以抛投的方式加入),吊挂及过程补加总量 1.5~2.5 kg/t_钢。钢液到上冒口线 2/3 左右时按 1.5~1.8 kg/t_钢 加入发热剂,待没有明火后按 1.5~2.0 kg/t 钢加入碳化稻壳。浇铸后钢包内剩余钢液量 ≥ 6 t,避免浇铸过程钢包下渣。浇铸后钢锭带模冷却 9~12 h,待钢锭表面完全凝固,表面温度 600~700 °C 时钢锭脱模热送锻造,进行 Cr5 支承辊后续锻造生产。

2 产品质量及检测情况

(1)成分设计及成品成分 通过转炉双渣操作,出钢前清理炉帽残渣,转炉吹炼终点成分、温度双命中(设计成分与最终成分如表 1、表 2),避免钢液过

表 1 Cr5 钢设计成分 $w(\%)$
Tab.1 Designed chemical components of Cr5 alloy

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo
标准	0.50~0.60	0.40~0.70	0.40~0.70	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 0.010	4.80~5.40	0.50~0.60
内控	0.53~0.57	0.50~0.65	0.50~0.65	≤ 0.012	≤ 0.005	0.005~0.008	4.90~5.20	0.52~0.55
元素	V	Ni	Ti	Cu	H	O	N	
标准	≥ 0.05	≤ 0.25	≤ 0.010	≤ 0.15	$\leq 1.5 \times 10^{-4}\%$	$\leq 20 \times 10^{-4}\%$	$\leq 80 \times 10^{-4}\%$	
内控	0.05~0.07	≤ 0.20	≤ 0.005	≤ 0.10	$\leq 1.2 \times 10^{-4}\%$	$\leq 15 \times 10^{-4}\%$	$\leq 70 \times 10^{-4}\%$	

表 2 Cr5 成品成分 w(%)
Tab.2 Chemical composition of Cr5 alloy

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Mo	V	Ni	Ti	Cu	H	O	N
标准	0.50~	0.40~	0.40~	≤0.015	≤0.010	≤0.010	4.80~	0.50~	≥0.05	≤0.25	≤0.010	≤0.15	≤1.5×	≤20×	≤80×
	0.60	0.70	0.70				5.40	0.60					10 ⁻⁴ %	10 ⁻⁴ %	10 ⁻⁴ %
内控	0.53~	0.50~	0.50~	≤0.012	≤0.005	0.005~	4.90~	0.52~	0.05~	≤0.20	≤0.005	≤0.10	≤1.2×	≤15×	≤70×
	0.57	0.65	0.65			0.008	5.20	0.55	0.07				10 ⁻⁴ %	10 ⁻⁴ %	10 ⁻⁴ %
例 1	0.53	0.58	0.55	0.012	0.002	0.006	4.95	0.52	0.063	0.04	0.005	0.02	0.9	10.2	68.0
例 2	0.55	0.57	0.59	0.010	0.001	0.007	5.02	0.54	0.062	0.05	0.005	0.02	1.0	10.9	70.0
例 3	0.54	0.57	0.55	0.009	0.002	0.006	4.98	0.53	0.065	0.04	0.005	0.02	1.1	11.7	65.3

氧化,出钢过程禁止下渣,脱氧合金化对钢液成分进行初步调整,出钢后禁止喂入铝线。LF 到位喂入钙线,精炼过程加强脱氧,精炼全程不喂入铝线、不使用铝粒脱氧。转炉、精炼冶炼过程使用低铝硅铁等合金,不使用精炼复合渣。同时,调整精炼渣系,可保证 Cr5 系列中高合金钢锭成品 [P]≤0.012%、[S]≤0.005%、[Al]≤0.010%、[Ti]≤0.005%,特别是较低的成品 Al 含量,其它成分及气体含量全部满足要求。

(2)LF 精炼渣系 精炼渣系控制范围:52%~56% CaO、15%~20% Al₂O₃、13%~18% SiO₂、5%~10% MgO、(TFE+MnO)≤0.5%、R 3.2~3.6。可控制钢液较低的[Al]含量,精炼过程完成脱氧、脱硫任务,同时对上浮的夹杂物具有良好的吸附性,保证浇铸前钢液良好的纯净度。LF 精炼渣系成分如表 3。

(3)高、低倍检测 VD 高真空脱气保持时间 25~30 min,破空后软吹时间控制 35~50 min,软吹时

表 3 LF 精炼渣系成分
Tab.3 Chemical composition of LF slag

精炼渣系	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	TFE	MnO	TiO ₂	P	S	R
例 1	53.9	15.4	9.4	19.8	0.28	0.10	0.28	0.01	0.55	3.50
例 2	53.6	16.7	8.1	19.6	0.25	0.08	0.23	0.01	0.54	3.21
例 3	55.6	16.2	7.5	18.1	0.30	0.15	0.18	0.01	0.71	3.43

间长、软吹效果好,可促进夹杂物充分上浮。非金属夹杂物及低倍组织如表 4、图 1。钢锭浇铸时应控制钢锭模内钢液液面平稳上升,做好氩气保护,避免钢液吸气造成二次氧化及增氮,保证浇铸过程钢液良好的流动性和较高的纯净度。浇铸后钢包内剩余钢液量≥6 t,禁止钢包下渣。钢液到上冒口线 2/3 左右时依次加入发热剂、碳化稻壳,做好冒口保温和补缩,可保证良好的低倍、高倍微观组织。高倍非金属夹杂物检测 D 类夹杂≤1.0 级,基本无以 Al₂O₃ 为主的 B 类及其它种类夹杂物。

(4)力学性能及探伤 通过优化成分设计,控制

表 4 Cr5 非金属夹杂物及低倍组织
Tab.4 Nonmetallic inclusions and macrostructure of Cr5

检验标准	GB/T 10561								GB/T1979			
	A 类		B 类		C 类		D 类		Ds 类	中心疏松	点状偏析	其它缺陷
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系				
例 1	0	0.5	0.5	0	0	0	1.0	0.5	0	1.0	0.5	无
例 2	0	0.5	0	0	0	0	1.0	0.5	0	0.5	1.0	无
例 3	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.5	1.0	无

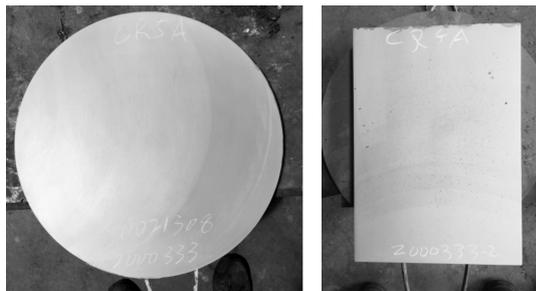


图 1 Cr5 支撑辊低倍金相组织
Fig.1 Macrostructure of Cr5 backup roller

钢液纯净度及夹杂物,浇铸过程做好氩气保护,稳定控制浇铸温度和浇铸速度,可实现低铝 Cr5 钢锭加工的支撑辊具有良好的力学性能。其和学性能如表 5。

表 5 Cr5 支撑辊力学性能
Tab.5 The mechanical properties of Cr5 backup roller

检验标准	GB/T 228.1				
	项目	抗拉强度 /(N/mm ²)	屈服强度 /(N/mm ²)	断后伸长率 (%)	断面收缩率 (%)
例 1		605	307	30.5	71
例 2		609	304	30.2	72
例 3		596	289	31.0	74

低铝 Cr5 支撑辊可满足 JB/T5000.15-2007 II 级超声波探伤要求,服役寿命增加约 10%。

3 结论

(1)通过调整合金、渣料,优化 LF 精炼渣系,严

格控制转炉出钢下渣,可保证 Cr5 支承辊用钢锭成品 $[P] \leq 0.012\%$ 、 $[S] \leq 0.005\%$ 、 $[Al] \leq 0.010\%$ 、 $[Ti] \leq 0.005\%$ 。

(2)使用白灰、萤石、石英砂造渣,调整精炼渣系成分为 52%~56% CaO、15%~20% Al_2O_3 、13%~18% SiO_2 、5%~10% MgO、 $(TFe+MnO) \leq 0.5\%$ 、R 3.2~3.6,可控制钢液较低的[Al]含量,完成脱氧、脱硫任务的同时,对上浮夹杂物具有良好的吸附作用。高倍非金属夹杂物检测 D 类 ≤ 1.0 级,基本无其它种类夹杂物。

(3)低铝 Cr5 支承辊力学性能良好,超声波探伤合格,低倍点状偏析控制较好。

参考文献:

[1] 赵席春. Cr5 型支承辊用钢的研究 [J]. 金属热处理, 2003(6):

26-28.

- [2] 刘新彬,吴光亮,周超洋,等. 50Cr5MoV 轧辊钢的静态再结晶行为[J]. 材料热处理学报,2016,37(5):204-209.
- [3] 石伟,范洪涛,刘庄. Cr5 支承辊用钢马氏体相变的相变塑性研究[J]. 材料热处理学报,2006(5):122-125,136.
- [4] 黄东长,吴光亮,吕沙,等. 50Cr5MoV 轧辊钢 LF 精炼过程夹杂物的研究[J]. 钢铁研究,2015,43(5):12-16.
- [5] 于瑞芝,刘成业. 我国支承辊材料的发展过程及热处理工艺简介[J]. 大型铸锻件,2007(5):46-48.
- [6] 叶明峰,吴光亮. 优化精炼渣去除 50Cr5MoV 钢中 Al_2O_3 夹杂物的实验室研究[J]. 钢铁研究,2017,45(2):19-23.
- [7] 吕沙,吴光亮. 50Cr5MoV 钢中非金属夹杂物及全氧 [J]. 钢铁,2015,50(7):32-37.
- [8] 薛永栋,张威风,辛雪倩,等. 50Cr5MoV 支承辊用钢氧和夹杂物控制实践[J]. 炼钢,2020,36(1):67-72,78.

《等温淬火球墨铸铁(ADI)理论、生产及应用》新书出版

等温淬火球墨铸铁(ADI)是一种具有独特奥铁体微观组织的新型高性能工程材料,代表了铸铁冶金学的最新成就,是钢铁材料领域适合制造高端装备关键零部件和轻量化创新极具竞争优势的新型工程材料。为使机械制造领域的设计及工程技术人员快速掌握国内外 ADI 的最新研发成果、基础理论及生产技术,促进我国 ADI 产业化发展,龚文邦教授、刘金城博士、向纲玉教授级高级工程师等三位 ADI 领域专家合作,完成了《等温淬火球墨铸铁(ADI)理论、生产及应用》一书,柳百成院士为该书作序,于 2020 年 11 月由机械工业出版社出版。本书是三位作者在数十年坚持 ADI 材料研究开发及生产实践的基础上,并参考国内外相关学术文献及生产技术数据等 ADI 最新研究成果,经过数年时间潜心撰写、反复修改的辛勤劳动结晶,凝聚了三位作者专注 ADI 事业的心血和汗水。它是对 ADI 理论及生产应用论述非常深刻、内容十分丰富的一部专著,系统阐述了 ADI 的最新理论、生产技术、工艺控制及其应用。

本书共分 9 章,内容包括球墨铸铁和 ADI 的发展、ADI 的热处理及等温转变热力学与动力学、ADI 的化学成分及铸态质量控制、ADI 的微观组织、ADI 的性能、ADI 的耐磨性、ADI 的机械加工性能、ADI 的其他处理方法、ADI 的应用实例等。

本书的出版必将为提高我国 ADI 的研发水平和产业化发挥重要作用,也将对加强我国制造业的工业基础创新能力和高质量发展发挥积极作用。本书可供从事机械工程、新材料研究及应用开发的科研人员、工程技术人员参考,也可供大专院校相关专业师生参考。



欢迎到当地邮政局(所)订阅 2021 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号:52-64 国外发行号:M855 国内定价:25 元/本 海外定价:25 美元/本