

含硫非调质钢 GS35C-A 浇铸性能优化的工艺实践

姬旦旦 李富伟 李智 王秋坤 刘会杰

(邢台钢铁有限责任公司炼钢厂, 邢台 052000)

摘要 分析了硫合金化工艺和渣系等因素对 GS35C-A 钢($\% : 0.32 \sim 0.39C, \leq 0.40Si, 0.50 \sim 0.80Mn, \leq 0.045P, 0.015 \sim 0.055S, \geq 0.020Al$)浇铸性能的影响,并将原 LF(硫合金化)-RH-钙处理工艺优化成 LF-RH-钙处理-硫合金化工艺。结果表明,(1)采用先硫合金化后钙处理工艺生产时,水口结瘤物以 CaS、CaO-Al₂O₃-CaS 复合夹杂物为主;(2)采用先钙处理后硫合金化工艺生产时,连浇炉数由原来先硫合金化后钙处理工艺的 2 炉提高至 6 炉;(3)渣系优化后($R 5.66 \sim 9.55$),RH 喂硫线前显微夹杂物数量比优化前降低了 84%,RH 离站显微夹杂物数量由 9.09 个/mm² 降低至 5.06 个/mm²。

关键词 含硫非调质钢 GS35C-A 水口结瘤 钙处理 硫化钙

Practice Process of Optimization on Casting Performance of Non-Quenched-Tempered Steel GS35C-A Bearing Sulfur

Ji Dandan, Li Fuwei, Li Zhi, Wang Qiukun and Liu Huijie

(Steelmaking Works, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 052000)

Abstract Effect of factors including sulfur alloying process and slag series on casting performance of steel GS35C-A ($\% : 0.32 \sim 0.39C, \leq 0.40Si, 0.50 \sim 0.80Mn, \leq 0.045P, 0.015 \sim 0.055S, \geq 0.020Al$) has been analyzed, and the original LF (sulfur alloying)-RH-calcium treatment process is modified to optimized LF-RH-calcium treatment-sulfur alloying process. Results show that with using calcium treatment after sulfur alloying process, in casting the main nozzle blocking materials are CaS and CaO-Al₂O₃-CaS complex inclusions; as using sulfur alloying after calcium treatment process the number of continuous-continuous casting heats increases from original 2 heats by using calcium treatment after sulfur alloying process to 6 heats; and with using optimized slag series ($R 5.66 \sim 9.55$), before RH feeding sulfur wire the number of micro-inclusions in steel decreases by 84% as compared with original process, and the number of micro-inclusions at end RH decreases from 9.09 inclusions /mm² to 5.06 inclusions /mm².

Material Index Non-Quenched-Tempered steel GS35C-A Bearing Sulfur, Nozzle Blocking, Calcium Treatment, Calcium Sulfide

非调质钢通过向钢中添加铝细化晶粒进行强韧化,使钢具有良好的强度和韧性,抗拉强度可达到 800 ~ 1 000 MPa;通过向钢中添加硫提高切削加工性能,满足工件的高加工精度要求;基于其良好的抗拉性能及易切削性,被广泛应用于汽车连杆、曲轴、驱动轴等零件和结构件^[1-2]。

由于这类钢种既含铝又含硫,钢中易生成数量较多的高熔点的 Al₂O₃ 和 CaS 夹杂物,影响钢水纯净度,导致连铸浇铸过程中水口结瘤。文献表明,西宁特钢^[3]、本钢^[4]、石钢^[5-6]等在该类钢种的前期开发生产过程中均出现此类问题。

邢台钢铁有限责任公司(邢钢)2016 年 5 月份首次试制了该类钢种,牌号 GS35C-A,出现了多次浇铸性能差、甩废等生产事故。对此,为改善该钢种浇铸性能,对原生产工艺存在的问题进行分析,并结合文献调研情况对钙处理工艺、渣系进行优化,以解决该钢种的可浇性问题。

1 生产条件及工艺要点

GS35C-A 钢种成分控制如表 1 所示。

邢钢采用 80 t 转炉→80 t LF→80 t RH→280 mm × 325 mm 连铸机生产 GS35C-A 钢种,产品开发

表 1 GS35C-A 钢的化学成分 /%

C	Si	Mn	P	S	Al
0.32 ~ 0.39	≤ 0.40	0.50 ~ 0.80	≤ 0.045	0.015 ~ 0.055	≥ 0.020

表 2 GS35C-A 钢原工艺(1)和优化工艺(2,3)

Table 2 Original (1) and optimized (2 and 3) processes for steel GS35C-A

项目	工艺过程	备注
原工艺(工艺 1)	转炉→LF(配硫)→RH→钙处理→连铸机	低碱度
工艺 2	转炉→LF→RH→钙处理→硫合金化→连铸机	低碱度 ($R 5.66$)
工艺 3	转炉→LF→RH→钙处理→硫合金化→连铸机	高碱度 ($R 9.55$)

初期,采用表 2 所示工艺 1 进行生产,试验过程中出现严重水口结瘤并且废品率较高。为改善浇铸性能降低废品率,对生产工艺进行优化,具体如表 2 所示。

2 试验结果及讨论

2.1 硫合金化工艺对浇铸性能影响

实际生产中,只要钢中钙含量在 10×10^{-6} 左右时, CaS 就能稳定生成。但经预先钙处理及软吹搅拌后,降低钢中残钙,反应生成 CaS 数量比先喂硫线再钙处理流程大为减少^[7]。

GS35C-A 钢种采用原工艺 1 生产时典型浇铸曲线如图 1(a) 所示,图 1(a) 表明,该钢种在生产中存在明显的浇铸异常。对生产完毕的水口进行拍照(图 1b),发现水口内壁粘附着一层黑色物质,能谱分析表明,水口粘附物主要为 CaS、CaO-Al₂O₃-CaS 复合物,表明原工艺 1 经 RH 钙处理后生成了大量 CaS、CaO-Al₂O₃-CaS 复合夹杂物,浇铸过程中不断粘附在水口壁上造成钢液供流异常,最终导致塞棒上扬、结晶器液面波动。

采用工艺 2 生产该钢种的典型浇铸曲线如图 2(a) 所示,生产完毕水口照片如图 2(b) 所示。图 2(b) 表明对含硫钢种进行先钙处理后再硫合金化对浇铸性能有明显改善。实践表明连浇炉数由 2 炉次提高至 6 炉次。

2.2 渣系对浇铸性能影响

夹杂物的去除分为 3 个步骤:(1)夹杂物到达渣钢界面;(2)夹杂物在渣钢界面的分离;(3)夹杂物在渣中的溶解。其中,后两个环节与炉渣有密切关系。其中夹杂物的分离与界面能相关,而夹杂物的溶解与渣中对应组元的浓度差及炉渣粘度比值相关^[8]。对工艺 2 的 LF 渣系进行分析如图 3(a) 所示,图 3(a) 表明该渣系熔点较高,且位于较

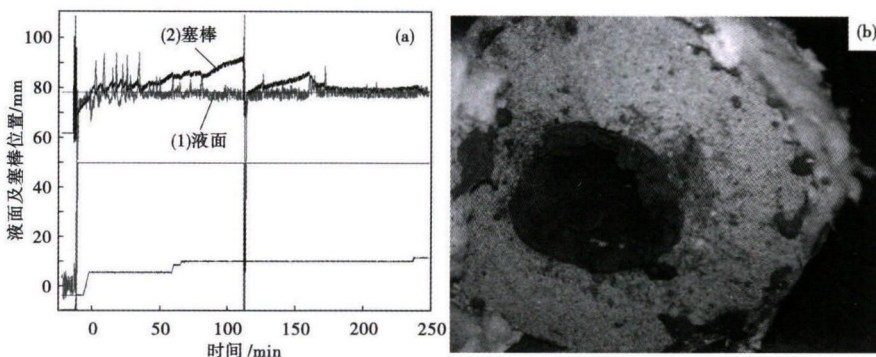


图 1 GS35C-A 钢原工艺 1 浇铸曲线(a)及水口结瘤物形貌(b)
Fig. 1 Steel GS35C-A original process No1 casting curves (a) and morphology of nozzle blocking materials (b)

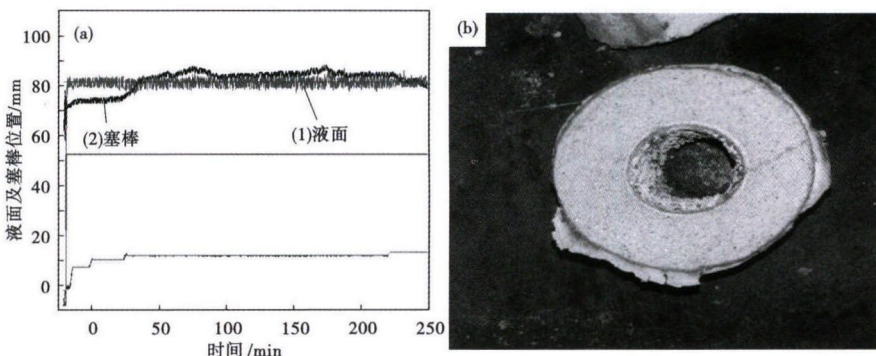


图 2 GS35C-A 钢优化工艺 2 浇铸曲线(a)及水口结瘤形貌(b)
Fig. 2 Steel GS35C-A optimized process No2 casting curves (a) and morphology of nozzle blocking materials (b)

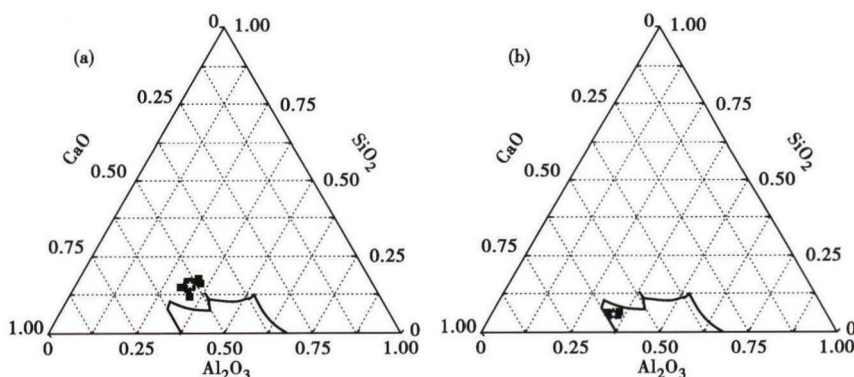


图 3 优化工艺 2(a)和 3(b)渣系在 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 图中的位置
Fig. 3 Location of ingredient of optimized slag series No2 (a) and No3 (b) in diagram of CaO-SiO₂-Al₂O₃

低碱度区,为提高夹杂物在渣面的分离及溶解速率,对渣系进行优化,如图 3(b) 所示,工艺 2、3 对应的 LF 渣系组分如表 3 所示。

通过渣系优化,使炉渣具有良好的物化性能,进入低熔点区,且炉渣满足对应组元的浓度差及粘度

比值位于高值的要求。渣系优化前(工艺1)、后(工艺2、工艺3),RH复压(RH处理结束,真空度恢复至大气压)、喂硫线前、RH离站夹杂物数量变化情况如图4所示。

图4表明,渣系优化后RH复压后钢液中显微夹杂物数量由7.54个/mm²降低至6.32个/mm²;喂硫线前显微夹杂物数量由11.7个/mm²降低至1.82个/mm²,显微夹杂物数量降低了84%;RH离站显微

表3 优化工艺2、3 LF渣系组分和碱度

Table 3 Ingredient of LF slag series of optimized process No2 and No3 and basicity

工艺	渣系组分/%								碱度 (R)
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	P	MnO	
2	1.34	12.71	45.33	5.89	26.55	0.11	0.00	0.75	5.66
3	0.55	5.60	53.50	5.98	31.50	0.27	0.01	0.05	9.55

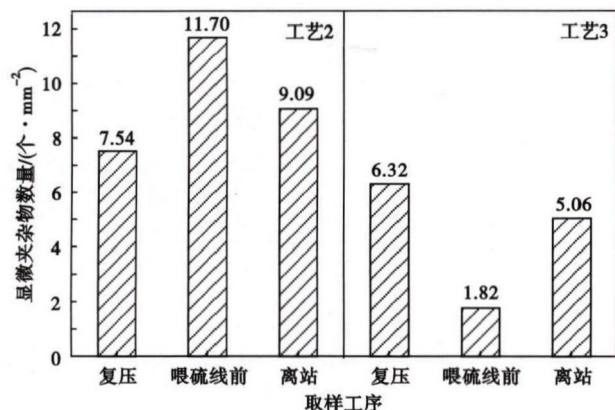


图4 优化工艺2和3 RH精炼过程的GS35C-A钢中显微夹杂物数量

Fig. 4 Number of inclusions in steel GS35C-A during RH refining process by optimized process No2 and No3

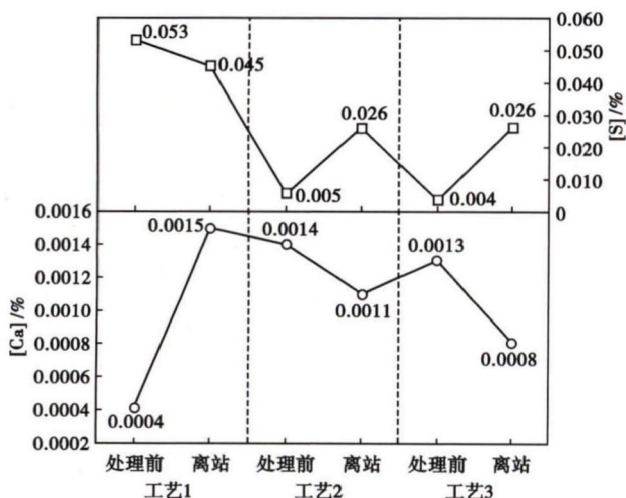


图5 各工艺RH处理前和处理后钢液钙、硫含量的比较

Fig. 5 Comparison of calcium and sulfur content in liquid for each process before and after RH treatment

夹杂物数量由9.09个/mm²降低至5.06个/mm²。

分析表明,通过优化渣系,提高炉渣吸附夹杂物能力,降低了钢中Al₂O₃夹杂物含量,达到了降低夹杂物变性所需的钙含量,实现降低钢液残钙的目的,最终实现了钢液可浇性优化。

2.3 各工艺钙、硫成分控制情况

对3种工艺,RH钙(硫)处理前、后钢液钙、硫含量进行分析如图5所示。

图5表明,工艺3较工艺2,喂硫线前、RH离站钢液钙含量分别降低0.0001%、0.0003%;工艺3离站钙含量较原工艺1降低0.0007%。

3 结论

(1)硫合金化及钙处理顺序对含硫非调质钢的浇铸性能影响明显,先硫合金化再进行钙处理生成的CaS及其复合夹杂物粘附于水口壁导致水口结瘤及结晶器液面波动。

(2)与先硫合金化后钙处理工艺相比,RH先钙处理后硫合金化处理工艺的连浇炉数从2炉增加至6炉。

(3)高碱度低熔点渣系有利于钢中Al₂O₃夹杂物的去除,优化后渣系喂硫线前显微夹杂物数量比优化前降低了84%,RH离站显微夹杂物数量由9.09个/mm²降低至5.06个/mm²。

(4)工艺3较工艺2,喂硫线前、RH离站钢液钙含量分别降低0.0001%、0.0003%。

参考文献

- [1] 王会忠,宋满堂,吴华章.48MnV-C非调质曲轴钢增氮工艺研究[J].炼钢,2010,26(2):42-44.
- [2] 申景霞,郑艳,张海霞,等.含硫齿轮钢20CrMnTiH中硫化物对切削性能的影响[J].特殊钢,2012,33(3):47-48.
- [3] 张海泉,谢有,成国光,等.含硫齿轮钢SAE8620H热轧棒材夹杂物[J].钢铁,2013,48(7):70-75.
- [4] 王德勇,李红梅.喂线法生产含硫钢42CrMo-1的工艺实践[J].工艺与装备,2015(6):54-58.
- [5] 董大西,张永,孙玉春,等.提高含硫含铝齿轮钢液洁净度实践[J].炼钢,2015,21(1):12-16.
- [6] 张永,杨锋功,杨华锋,等.改善低硅20MnCrS5钢水可浇性工艺实践[J].河北冶金,2013(5):24-25.
- [7] 林平,刘浏,王福利,等.含硫齿轮钢20CrMnTiH1钙处理热力学和控制技术的研究[J].特殊钢,2010,31(2):1-4.
- [8] 姜方.RH冶炼超低氧钢的机理及工艺研究[D].北京:北京科技大学冶金与生态工程学院,2012:14-19.

姬旦旦(1984-),男,硕士(2012年河北理工大学),工程师,2007年山西工程职业学院毕业,洁净钢研究。

E-mail:15903290121@163.com

收稿日期:2017-02-09