

Cr12MoV 钢电渣锭表面问题的工艺改进

张 勇¹, 单海欧²

(1. 抚顺特殊钢股份有限公司第三炼钢厂, 辽宁抚顺 113001;
2. 辽宁石油化工大学信息与控制工程学院, 辽宁抚顺 113001)

摘要: Cr12MoV 钢电渣重熔后钢锭表面渣沟严重, 在锻造过程中易发生坯料断头的情况。经过电渣重熔工艺的改进, 在不影响元素烧损和夹杂物评级的情况下调整渣系, 提高了冶炼初期输入炉内的功率, 缩短了电流提升阶段和正常冶炼阶段的时间, 有效解决了钢锭底端渣沟严重的问题。

关键词: 机械工程其他学科; 高铬莱氏体钢; 电渣重熔 (ESR); 渣系; 电力制度; 夹杂物评级

中图分类号: TG261 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2020)02-0163-05

Process improvement of the surface problem in Cr12MoV steel electroslag ingot

ZHANG Yong¹, SHAN Haiou²

(1. No.3 Steelmaking Plant of Fushun Special Steel Shares Co., Ltd., Fushun, Liaoning 113001, China;
2. School of Information and Control Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun,
Liaoning 113001, China)

Abstract: After the Cr12MoV steel electroslag remelting, the surface slag groove of the steel ingot is serious, and the billet head is prone to occur during the forging process. After the electroslag remelting process is improved, the slag system is adjusted without affecting the elemental burn and inclusion rating, and the power in the furnace is increased at the initial stage of smelting, and the time in the current lifting phase and the normal smelting phase is shortened. The serious problem of slag groove at the bottom of the steel ingot is solved effectively.

Key words: other subjects of mechanical engineering; high chromium leighte steel; electroslag remelting (ESR); slag system; electricity system; inclusion rating

0 引言

Cr12MoV 钢属于高碳、高铬莱氏体钢, 适用于不锈钢、铜、硅钢片、铝片的冷冲压模, 耐磨性能优良, 是一种用途广泛的冷作模具钢。该钢碳含量高, 冶炼过程中易产生碳化物分布不均的缺陷, 而且在锻造过程中钢锭表面极易沿碳化物发生开裂使锻件表面产生严重裂纹进而产生废品。

通过对 Cr12MoV 钢进行电渣重熔, 可以大量去除钢中的非金属夹杂物, 有效提高钢的纯净度, 自下而上的凝固条件可以保证重熔金属的结晶组织均匀致密, 克服普通铸造方法结晶质量差的问题, 基本消除偏析、疏松、缩孔等缺陷。钢中的碳化物变得细小均匀, 这样其不均匀性能有所改善, 从而提高钢的力学性能, 特别是纵、横向以及中心和边缘的性能差异有明显的改善。此外, 经重熔后, 钢的热塑性改善, 对于难变形钢更明显, 可明显改善锻件表面的质量, 提高成材率。Cr12MoV 钢电渣重熔后对锻件性能有极大改善, 但电渣重熔钢锭表面渣沟严重却是制约锻造成材率进一步提升的主要问题之一^[1-3]。本

作者简介: 张勇 (1978—), 男, 中级工程师, 主要研究方向: 冶炼

通信联系人: 单海欧, 讲师, 主要研究方向: 电气. E-mail: 17157384@qq.com

文对 Cr12MoV 钢电渣锭表面问题进行工艺改进, 其结果有望为高碳电渣钢冶炼工艺的研究提供一定的帮助和启发。

1 Cr12MoV 钢电渣重熔的现状与存在的问题

1.1 化学成分

1.1.1 成分规格

本厂采用单支臂 3 t 普通电渣炉电渣重熔 Cr12MoV 钢。钢的标准成分和内控成分如表 1 所示。

表 1 Cr12MoV 钢的标准成分和内控成分 (%)

Tab. 1 Standard components and internal controlled components of Cr12MoV steel (%)

类别	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V	Cu
标准	1.45~1.60	≤0.40	≤0.40	≤0.015	≤0.030	11.5~12.5	0.45~0.60	0.20~0.30	≤0.30
内控	1.46~1.56	0.10~0.40	0.10~0.40	≤0.010	≤0.028	11.5~12.0	0.45~0.55	0.20~0.28	≤0.30

1.1.2 电渣重熔的电极来源

用电炉、钢包精炼炉 (ladle furnace, LF)、真空炉 (vacuum furnace, VF) 铸造电极, 重熔电极的规格为 $\Phi 470$ mm \times 3 000 mm, 重量 3.5 t. 结晶器的规格为 $\Phi 610$ mm \times 2 200 mm. 化渣用石墨电极的规格为 $\Phi 250$ mm. 改进前渣制度采用二元渣系: $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=70\%:30\%$; 130 kg. 改进前的电力制度及水冷条件如表 2 所示。电渣重熔时, 为防止元素烧损, 需在渣中加入适量的电极粉。

表 2 改进前的电力制度及水冷条件

Tab. 2 Electricity system and water cooling conditions before the improvement

阶段	电压/V	电流/A	时间/min	结晶器水压/MPa	结晶器水温/°C
碳电极造渣	70~80	≤4 000	45~60	0.25	24~35
金属电极化缩孔	70~80	4 000~4 500	15~40	0.25	24~35
电流提升	60~70	4 500~13 000	30~40	0.25	24~40
正常冶炼	55~65	9 000~13 000	420~540	0.25	24~45
补缩	60~65	9 000~2 000	40~60	0.25	24~35

1.2 问题分析

1.2.1 电渣重熔后存在的问题

电渣重熔后距钢锭底端 200~400 mm 处存在不同程度的渣沟, 个别电渣锭的渣沟深度超过 5 mm, 如图 1 所示。

由于该钢碳含量较高, 电渣重熔后钢锭表面温度高, 在缓冷过程中组织应力的释放易造成钢锭炸裂现象, 一般会及时红送锻造分厂加工或红送退火。因此, 电渣重熔后无法对其进行有效的修磨。由于渣沟的存在, 电渣锭在锻制过程中时常发生断头现象^[4], 如图 2 所示。

1.2.2 电渣锭渣沟产生原因的初步分析

电渣重熔过程中结晶器和底座通有循环水, 以使水温控制在一定范围内。这样的强制水冷环境使电渣重熔产生的金属熔池迅速凝固, 形成轴向结晶^[5-7]。但由于冶炼初期渣液形成不充分, 渣液流动性较差, 渣温过低, 在强制水冷的情况下也极易产生渣沟缺陷。因此, 提高冶炼初期输入炉内的功率, 迅速形成渣池, 改善渣液流动性是工艺改进的关键。



图1 电渣重熔后钢锭表面状况

Fig. 1 Surface condition of the steel ingot after electroslag remelting



图2 钢锭在锻造过程中发生的断头现象

Fig. 2 Head breaking during forging process of the steel ingot

2 Cr12MoV 钢电渣重熔的工艺改进及试验

2.1 渣制度改进

采用三元渣系： $\text{CaF}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{MgO}=65\%:30\%:5\%$ ；130 kg。改进后采用的电力制度及水冷条件如表 3 所示。

表3 改进后的电力制度及水冷条件

Tab. 3 Electricity system and water cooling conditions after the improvement

阶段	电压/V	电流/A	时间/min	结晶器水压/MPa	结晶器水温/°C
碳电极造渣	70~80	$\leq 4\ 000$	45~70	0.22	24~35
金属电极化缩孔	70~80	4 000~4 500	15~40	0.22	24~45
电流提升	65~70	4 500~12 000	15~20	0.22	24~45
正常冶炼	58~65	9 000~13 000	360~420	0.25	24~45
补缩	60~65	9 000~2 000	40~60	0.25	24~35

2.2 工艺改进

1) 调整冶炼初期结晶器水压，提高结晶器水温

强制水冷有助于形成钢锭微观组织的轴向结晶，但不利于冶炼初期渣温的迅速提升。因此，在碳电极造渣阶段、金属电极化缩孔阶段以及电流提升阶段对结晶器水压进行适当调整，水压减至 0.22 MPa，结晶器水温的最高温度提升至 45°C，大大减少渣池的热量损耗。

2) 由原来的二元渣系改为含 MgO 的三元渣系

含 MgO 的三元渣系与之前的二元渣系相比具有熔点低、流动性较好等优点，两种渣系性能参数的比较如表 4 所示。

3) 提高冶炼初期输入炉内功率，缩短电流提升时间

冶炼初期将冶炼电压提升 2~3 V，冶炼电流降低 1 000 A，可有效控制金属电极在渣池中的浸入深度。提升电压、降低电流后，电极较改进前浸入渣池的深度变浅，增加了渣池三相区的温度，减少了由

于结晶器强制水冷所带来的渣池边缘结壳现象,有效改善了钢锭底端表面质量。电流提升时间由 30 min 缩短为 20 min,使得金属电极迅速提升至正常冶炼状态,也有助于渣温的迅速提升,下移渣沟至钢锭底端,以增加锻造成材率。

表 4 两种渣系性能参数的比较

Tab. 4 Comparison of performance parameters in two slag systems

渣系	熔点/°C	黏度/(Pa·s)	电导率/(S·cm ⁻¹)	表面张力/(mN·m ⁻¹)
CaF ₂ -Al ₂ O ₃	1 320~1 340	0.30 (1 500°C)	3.30 (1 900°C)	363
CaF ₂ -Al ₂ O ₃ -MgO	1 250~1 270	0.08 (1 500°C)	2.76 (1 850°C)	4.85

4) 增加正常冶炼阶段功率,适当缩短冶炼时间

工艺改进后,电渣重熔时间由原先的 420~540 min 控制在 360~420 min。在不影响元素烧损和夹杂物评级的情况下适当缩短冶炼时间,可以减少钢锭出炉后补缩端和底端的温差,以防止钢锭缓冷时发生炸裂现象,改善钢锭表面质量,降低能耗。同一母材工艺改进前后成分对比和低倍检验结果对比分别如表 5 和表 6 所示。

表 5 同一母材工艺改进前后成分对比 (%)

Tab. 5 Composition comparison of the same base material before and after the process improvement (%)

工艺	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	V	Cu
标准	1.45~1.60	≤0.40	≤0.40	≤0.015	≤0.030	11.5~12.5	0.45~0.60	0.20~0.30	≤0.30
内控	1.46~1.56	0.10~0.40	0.10~0.40	≤0.010	≤0.028	11.5~12.0	0.45~0.55	0.20~0.28	≤0.30
母材成分	1.54	0.35	0.34	0.001	0.014	11.85	0.53	0.27	0.07
改进前	1.49	0.34	0.27	0.001	0.013	11.82	0.53	0.26	0.07
改进后	1.51	0.33	0.30	0.001	0.014	11.82	0.52	0.26	0.06

表 6 同一母材工艺改进前后低倍检验结果对比

Tab. 6 Comparison of low-power inspection results of the same base material before and after the process improvement

工艺	A		B		C		D	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
标准	≤1.0	≤1.0	≤1.5	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
改进前	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
改进后	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

注: A~D 表示不同的夹杂物

通过电渣重熔工艺的改进,钢锭表面质量有了显著提升,在钢锭底端 200~400 mm 处已无明显渣沟缺陷,钢锭表面废品率由改进前的 23.4%降至 0,满足锻造加工要求。

3 结论

本文通过分析电渣锭渣沟产生的原因,对工艺进行了改进:冶炼初期降低结晶器的强制水冷效果、减少热量损耗,有助于保持渣温;采用 CaF₂-Al₂O₃-MgO 三元渣系降低了渣池渣料的共晶温度,有利于迅速形成渣池,改善了渣池的流动性,减少了钢渣不分的情况,避免了渣沟的产生;增加冶炼初期输入炉内的功率,适当缩短了电流提升阶段和正常冶炼阶段的时间;在不影响元素烧损和夹杂物评级的情况下减少了钢锭出炉后补缩端和底端的温差,防止钢锭缓冷时炸裂现象的发生;下移渣沟至钢锭底端,增加了锻造成材率,降低了冶炼能耗。

[参考文献] (References)

- [1] 丁文炎, 邵羽, 王建勇, 等. 尿素级超低碳奥氏体不锈钢钢管的研制及应用[J]. 钢管, 2013, 42 (5): 35-40.
DING W Y, SHAO Y, WANG J Y, et al. Development and application of ultra-low carbon austenitic stainless steel pipe for urea plant[J]. Steel Pipe, 2013, 42(5): 35-40. (in Chinese)
- [2] 张永伦. 圆型钢锭直接辗压特大型轴承套圈毛坯生产新工艺[J]. 轴承, 1980 (4): 26-30.
ZHANG Y L. A new technology for the production of circular ingot directly rolling the blank of oversize bearing ring[J]. Bearing, 1980(4): 26-30. (in Chinese)
- [3] 余蓉. 超低碳含氮奥氏体钢 00Cr25Ni22Mo2N[J]. 沪昌科技, 1996, 5 (6): 35-40.
YU R. Ultra-low carbon nitrogen containing austenitic steel 00Cr25Ni22Mo2N[J]. Huchang Keji, 1996, 5(6): 35-40. (in Chinese)
- [4] 李正邦. 电渣冶金理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010.
LI Z B. Electroslag metallurgy theory and practice[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [5] 卜伟籛, 江静波. 电渣熔铸一步成型曲轴内在质量的研究[J]. 内燃机工程, 1994, 15 (2): 74-80.
BU W L, JIANG J B. A study on the inherent qualities of eletroslag meltings cast crank-shaft by one step[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 1994, 15(2): 74-80. (in Chinese)
- [6] 姜周华, 董艳伍, 张新法, 等. 电渣重熔用预熔渣的开发和应用[J]. 特殊钢, 2011, 32 (3): 17-19.
JIANG Z H, DONG Y W, ZHANG X F, et al. Development and application of premelted slag for electroslag remelting process[J]. Special Steel, 2011, 32(3): 17-19. (in Chinese)
- [7] 陈亚宁. 叶片钢 2Cr11Mo1VNbN 轧制大型材 δ 铁素体含量控制[J]. 特殊技术, 2010, 16 (1): 18-20, 23.
CHEN Y N. Controlling on δ ferrite content in heavy section bars of blade steel 2Cr11Mo1VNbN[J]. Special Steel Technology, 2010, 16(1): 18-20, 23. (in Chinese)

(责任编辑: 肖书笑)