

316H 钢电渣重熔过程氢含量控制措施及效果分析

李德军^{1, 2}, 葛春钰³, 李海强³, 马 强³, 刘 磊³, 赵 亮^{1, 2}

(1. 海洋装备用金属材料及其应用国家重点实验室, 辽宁鞍山 114009;

2. 鞍钢集团钢铁研究院, 辽宁鞍山 114009; 3. 鞍钢铸钢有限公司, 辽宁鞍山 114021)

摘要: 为了降低电渣重熔过程中电渣锭的增氢量, 以316H钢为研究对象, 对自耗电极中的初始氢含量、渣料成分、空气湿度的影响进行了分析, 并在此基础上提出相应的改进措施。改进实施后增氢量由原有的平均 2.2×10^{-6} 降至平均 1.3×10^{-6} 以下, 其电渣锭中氢含量平均降低了 0.9×10^{-6} , 降低率达到了41%, 有效控制了电渣锭的增氢量。

关键词: 316H钢; 电渣锭; 增氢; 控制措施

电渣重熔技术作为冶炼优质钢锭的一种手段, 以其优良的冶金反应条件及特殊的熔炼结晶方式有着其他生产工艺所不能替代的优越性。但在电渣重熔过程中, 氢含量对其产品性能的影响极为敏感, 要求其电渣锭中氢含量越低越好^[1]。氢由于原子半径非常小很容易以原子状态进入到钢当中, 达到一定条件后氢原子可以转变成氢分子或氢化物破坏了钢基体的连续性, 给钢的各种性能造成损伤。根据损伤的形式不同, 通常可将氢致损伤分为氢脆、氢腐蚀、氢化物、白点、发纹、氢鼓泡等几种形式^[2]。M.Nishiwaki^[3]在对ASTM A387电渣钢研究时指出, 当电渣锭中氢含量大于 1.0×10^{-6} 时, 电渣锭就容易出现白点微观裂纹缺陷。对于氢的析出行为及对钢的组织性能、力学性能影响也进行了详细研究^[4-8]。为了分析电渣重熔过程中氢的来源及电渣重熔过程中增氢影响因素, 以钢种316H为研究对象在鞍钢铸钢公司的22 t固定式板坯电渣炉上进行了相关生产数据采集和分析, 在此基础上提出了防止增氢措施, 并进行了试验分析。

1 电渣重熔钢锭中氢的来源

电渣重熔虽是生产优质钢的高效方法, 但在生产过程中尚存在许多重要问题, 其中之一是吸氢的问题, 通过对整个工艺分析, 认为氢的来源主要与初始自耗电极中初始氢含量、渣料中的水分以及气氛中湿度有关。

1.1 吸氢机理

气态氢在钢液中溶解时, 气体分子首先被吸附在气-钢界面上, 然后分解为两个原子被钢液吸收, 因而其溶解过程为 $1/2H_2=[H]$, 反应的平衡常数可写为:

$$K_H = \frac{a_H}{P_H^{1/2}} \quad (1)$$

平衡常数与温度的关系可写为^[9]:

$$\lg K_H = -1670/T - 1.68 \quad (2)$$

式中: K_H 为氢溶解反应平衡常数; a_H 为钢液中氢活度; P_H 为氢的平衡分压; T 为温度, K。

作者简介:

李德军(1976-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事炼钢质量控制研究工作。E-mail: 344305353@qq.com

中图分类号: TF142;
TF777.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

07-0998-06

收稿日期:

2023-08-21 收到初稿,

2023-09-16 收到修订稿。

空气中氢分压约为 5.37×10^{-2} Pa, 在钢液1 600 °C时将其带入上述公式可计算出与此相平衡的钢中氢含量为 0.02×10^{-6} , 由此可以断定钢中含氢不是由于大气中氢的分压所致, 而应该与空气中的水蒸气的分压和炼钢原材料的干燥程度有关, 水蒸气增氢的化学反应可表示为

$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})} = 2[\text{H}] + [\text{O}]$, 反应的平衡常数可写为^[10]:

$$\lg K_{\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}} = -10\,557/T - 0.164 \quad (3)$$

$$[\text{H}\%] = K_{\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}} \times (P_{\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}}/[\text{O}\%])^{1/2} \quad (4)$$

式中: $K_{\text{H}_2\text{O}}$ 为水蒸气分解反应平衡常数; T 为温度, K; $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 为水蒸气的平衡分压; $[\text{H}\%]$ 和 $[\text{O}\%]$ 分别为钢液中氢和氧的质量百分比浓度。

通过上式可以看出, 钢液中的氢含量与空气中的水蒸气分压即气氛的湿度和渣料中的水分密切相关。

1.2 自耗电极中初始氢

在电渣重熔过程中, 自耗电极通过在熔渣中不断熔化最终在结晶器内形成电渣锭, 这一过程会使自耗电极中原有的氢进入到电渣锭当中。为了分析电渣锭初始氢对电渣锭氢增幅的影响情况, 以22 t电渣炉生产316H钢为例, 在相同工艺条件下过程增氢量如图1所示。

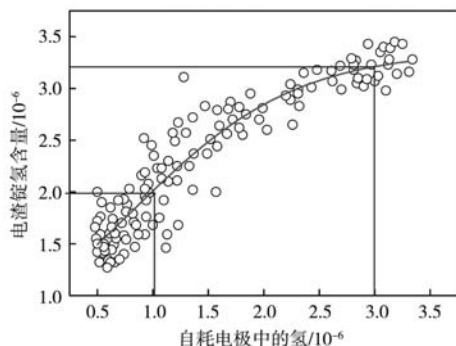


图1 电极氢含量对电渣锭氢含量影响

Fig. 1 Effect of electrode hydrogen content on hydrogen content of electrode ingot

从图1可以看出, 虽然随着自耗电极中氢含量的升高, 电渣锭中的氢含量也随之升高, 但是增幅趋势有明显区别。从趋势曲线上看, 当自耗电极中氢含量小于 1.0×10^{-6} 时, 电渣锭中的增氢程度相对比较严重, 其氢含量至少是自耗电极初始氢含量的2倍; 当自耗电极中初始氢含量在 $1.0 \sim 3.0 \times 10^{-6}$ 范围时, 其电渣锭中氢含量增幅相对减缓; 当自耗电极初始氢含量大于 3.0×10^{-6} 后, 电渣锭中的氢含量几乎不增加, 甚至个别炉次还有脱氢现象发生, 使电渣锭中的氢含量小于初始自耗电极的氢含量。这主要是因为自耗电极初始氢含量小于 1.0×10^{-6} 的情况下, 渣料中的水分、环境中的湿度对电渣锭的氢含量越发敏感。而当自耗电极中氢含量

较高时, 在重熔过程中电极中初始的氢能够抑制渣料或者气氛中氢的进入, 甚至会使金属熔池中的氢向外部扩散, 降低了电渣锭中的氢含量。

关于电渣重熔过程中, 自耗电极与电渣锭氢含量的变化情况, 国内外也有相应的研究。榎井明^[11]通过对不同初始氢含量的自耗电极电渣重熔试验研究, 得出当自耗电极中氢含量大于 3.1×10^{-6} 后, 电渣锭中氢含量也会出现降低。李慧^[12]在电渣重熔对奥氏体钢低温韧性影响的研究中, 也发现了当使用氢含量在 6.0×10^{-6} 的自耗电极进行电渣重熔时电渣锭的氢含量则降为 3.5×10^{-6} , 得出通过电渣重熔处理后电渣锭的氢含量降低的结论。

通过对316H钢电渣试验及国内外的研究情况分析, 可知自耗电极中初始氢含量对电渣锭氢含量有重要影响。以本试验为例, 当自耗电极中初始氢含量小于 1.0×10^{-6} 时, 电渣重熔过程有较强的吸氢趋势, 而当自耗电极中初始氢含量大于 3.0×10^{-6} 时, 电渣重熔过程有一定的脱氢趋势。

1.3 渣料影响

最初电渣重熔用渣主要是以“三七”渣即30%的 Al_2O_3 和70%的 CaF_2 的二元渣为主, 随着对渣料的要求不断提高和更好地满足钢种的冶炼要求, 在“三七”渣基础上陆续开发了三元渣、四元渣及五元渣。这些多元渣系主要是配加了一定量的 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 BaO 、 MnO 等, 各成分在渣中分别发挥着不同作用。渣中添加 CaO 能够提高渣的碱度, 有利于对硫的去除, 渣中添加 MgO 能够在渣池表面形成半凝膜, 可以防止渣池吸收气氛中的氢^[11]。

1.3.1 渣中CaO对电渣锭氢的影响

渣中加入 CaO 能够有利于脱除自耗电极中的硫, 因此对钢锭质量要求严格的钢种都需要在渣中加入一定量的 CaO 。但是 CaO 吸水性非常强, 在空气中容易受潮, 造成电渣锭增氢。为了分析 CaO 及其他组元成分含量对增氢的影响, 按照渣中 CaF_2 为70%不变, 对应调整渣中 Al_2O_3 和 CaO 配制了第一组试验渣, 按照渣中 Al_2O_3 为30%不变, 对应调整渣中 CaF_2 和 CaO 配制了第二组试验渣, 两组试验渣的具体成分如表1所示。在相同工艺条件下, 以初始氢含量为 0.5×10^{-6} 的316H钢自耗电极为例, 进行了电渣重熔氢增幅试验分析, 其结果如图2所示。

从图2可以看出, 在试验条件下随着渣中 CaO 含量的增加, 电渣锭中氢含量增加较为明显。其中, 第一组在 CaF_2 为70%不变的情况下, 渣中氧化钙由5%增加至15%, 电渣锭中氢的含量增幅量平均为 1.2×10^{-6} ; 第

表1 不同CaO含量试验渣组元成分
Table 1 Compositions of the test slag components with different CaO contents %

组别	渣号	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO
第一组	1	70	25	5
	2	70	20	10
	3	70	15	15
	4	65	30	5
第二组	5	60	30	10
	6	55	30	15

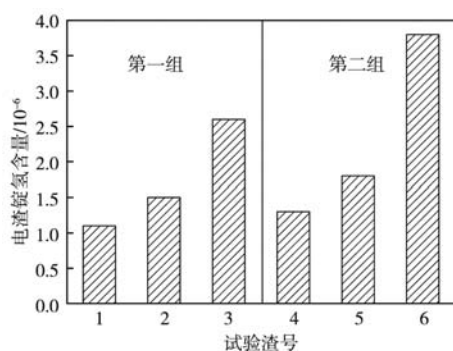


图2 不同渣成分对电渣锭氢含量影响

Fig. 2 Effect of different slag components on hydrogen contents of electroslag ingots

二组在Al₂O₃为30%不变的情况下,渣中氧化钙由5%增加至15%,电渣锭中氢的含量增幅量平均为 1.8×10^{-6} 。在CaO含量相同情况下第一组增氢较第二组增氢相对要弱一些,这主要是因为第一组中相对于第二组CaF₂含量相对高,渣系熔点能够处于较低范围内,保证在结晶器内壁附近的熔渣也能够保持很好的熔化状态,起到了抑制气氛中水分氢的进入。与此相反,在第二组试验渣系中由于低熔点CaF₂含量相对较低渣系熔点高,结晶器上表面局部尤其是在靠近结晶器内壁附近表面液渣有结块现象,不能很好阻止气氛中水分氢的进入。

1.3.2 渣中MgO对电渣锭氢的影响

根据文献[11]所述,渣中配加一定量的MgO后能够在液渣池的表面形成半凝固的渣膜,可以阻止气氛中的氢进入。由于MgO属于高熔点物质,配加量不合理容易使渣的粘度升高,反而不利于电渣重熔过程中对夹杂物的去除。为了配入MgO后渣料也能够处于较低熔点范围内,对CaF₂-Al₂O₃-MgO三元相图如图3所示进行了相图分析^[12-14]。

由图3可知,在三元渣系中红色区域内化合物的熔点相对较低,温度小于1 300 ℃,其区域内各成分的范围CaF₂: 73%~84%; Al₂O₃: 10%~26%; MgO: 1%~8%。依据此相图,配制了5种不同MgO含量的试验

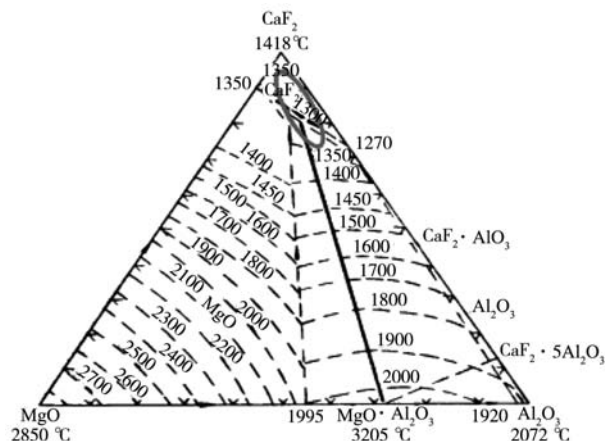


图3 CaF₂-Al₂O₃-MgO三元相图

Fig. 3 CaF₂-Al₂O₃-MgO ternary phase diagram

渣(表2),在自耗电电极初始氢含量为 0.5×10^{-6} 的条件下进行了电渣重熔试验,结果如图4所示。

表2 不同MgO含量试验渣组元成分
Table 2 Compositions of the test slag components with different MgO contents %

渣号	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO
1	73	25	2
2	73	24	3
3	75	21	4
4	75	20	5
5	75	19	6

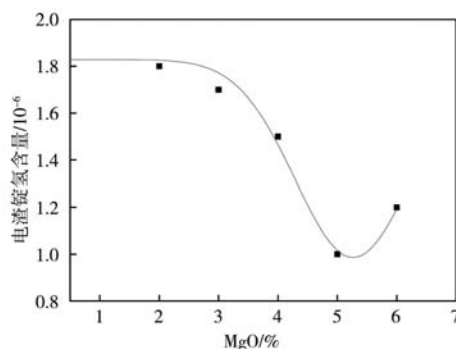


图4 渣中MgO含量对氢含量影响

Fig. 4 Effect of MgO content in slag on hydrogen content

从图4中可以看出,渣中配加MgO对电渣锭氢含量有较大影响,渣中配加1%~3%MgO对抑制增氢效果不明显,电渣锭的氢含量为 1.7×10^{-6} 左右;渣中配加3%~5%MgO对抑制增氢效果明显,在渣中MgO含量为5%时,达到了最佳抑制增氢效果,电渣锭的氢含量为 1.0×10^{-6} 左右,整个电渣重熔过程氢的增幅量为 0.5×10^{-6} 。随着渣中MgO含量继续增加,抑制增氢效果变弱,电渣锭中氢含量有升高趋势。出现这种氢含

量曲线主要是因为,在渣中配加小于3%的MgO虽然能够在液渣池表面形成半凝固液态膜,但由于MgO配加量较低使渣池表面的半凝固膜薄强度低,在电渣重熔过程中渣料中的CaF₂会与渣料中杂质SiO₂发生反应生成SiF₄气体由渣池逸出,会对半凝固膜造成大范围破坏,这一过程降低了半凝固膜的隔绝气氛效果。随着MgO继续增加,半凝固膜增厚强度升高,渣池生成的气体对其破坏作用降低,半凝固膜隔绝气氛能力增强,提升了抑制增氢效果,但是当MgO含量大于5%后,渣池中有可能生成高熔点相,导致液渣池表面局部有固相析出,这种固相会降低气氛的隔绝效果,使氢含量呈现升高趋势。

1.4 湿度影响

空气湿度是表示空气中水分含量的表征参数,其大小会直接影响到电渣重熔过程中电渣锭氢含量。为此,研究人员对空气中的水蒸气分压与电渣锭中氢含量的关系进行了研究,结果表明电渣重熔过程中电渣锭增氢与空气中的水蒸气分压的平方根成正比,其关系如图5所示。

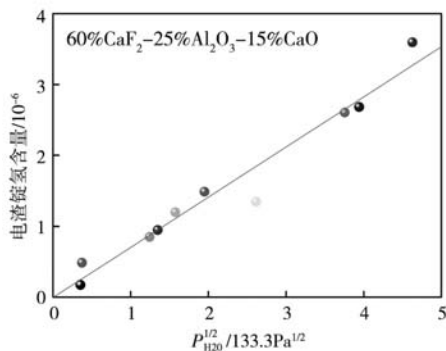


图5 空气中水蒸气分压对电渣锭氢含量影响

Fig. 5 Effect of partial pressure of water vapor in air on hydrogen content of electroslag ingot

从图5可以看出,电渣锭中氢含量与空气中水蒸气分压的平方根成线性关系,电渣重熔过程中,空气中的水蒸气与液态渣池表面熔渣接触后被吸附在表面,在高温下吸附的水分子被分解为氢和氧渗入到渣液当中并逐渐向渣液中的金属液滴扩散,最终导致电渣锭增氢。很显然这种吸附及扩散与水蒸气的分压成正比关系。

为了进一步说明湿度对电渣锭增氢的影响,对湿度相对较大的夏季和湿度相对较小的冬季生产的316H钢电渣锭的氢含量进行了统计,其结果如图6所示。

从图6中可以看出,冬季生产的电渣锭氢含量平均值 1.5×10^{-6} ,夏季生产的电渣锭氢含量平均值 2.2×10^{-6} ,季节对电渣锭氢含量影响比较大。这主要是因为北方夏

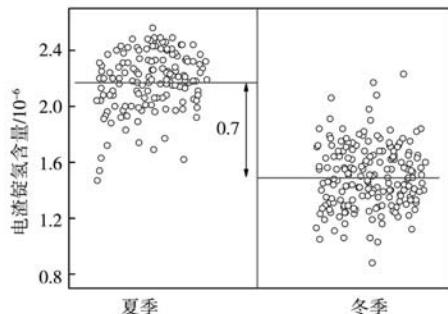


图6 季节对电渣锭氢含量影响

Fig. 6 Effect of season on hydrogen content of electroslag ingot

季雨水天气多,空气湿度大,冬季空气比较干燥。在电渣重熔过程中,潮湿的空气中水蒸气分压相对高,为液渣吸附水分提供了良好条件。此外,湿度大的季节使用的渣料容易吸潮,为了考察渣料的吸湿性,将烘烤后的5 kg的两种渣料(一种渣料为三七渣,一种为含10%CaO的三元渣料)一同放置在生产厂房内,并对其增重情况进行了跟踪,其结果如图7所示。从图上可以看出,加入有石灰的渣料更容易吸潮,其增重量要远大于没有加入石灰的渣料。随着渣料在环境中放置时间延长,渣料的增重量也随之增高,在本试验条件下渣料在放置100 h后,增重量几乎达到饱和,加入石灰渣料的增重量是没有加入石灰渣料的2.5倍,这也是含有石灰渣料容易引起增氢的主要原因。

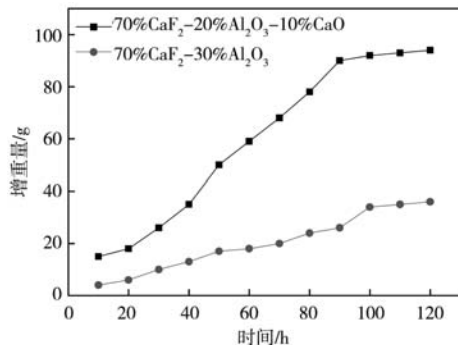


图7 渣料吸潮增重情况

Fig. 7 Moisture absorption and weight gain of slag

2 控制措施及效果

通过上述的分析可知,在电渣重熔过程中电渣钢锭的增氢主要原因有三方面,其一是自耗电极中初始氢带来的增氢;其二是渣料由于吸潮或者渣料中含水量带来的增氢;最后就是电渣重熔过程中气氛中的水蒸气即空气湿度引起的增氢。为了有效降低电渣锭中的氢含量,结合这三方面原因对增氢提出如下控制措施。

2.1 降低自耗电极中初始氢

对电渣锭中氢含量有严格要求的钢种,在自耗电

极制备过程中初始钢液必须利用VD或RH精炼设备进行脱氢真空处理, 这样能够保证钢液中的氢达到最低, 为低氢含量自耗电极制备提供条件。赵喜伟^[15]对VD脱氢进行了研究, 结果表明当VD的真空度 ≤ 66.7 Pa, 抽真空处理时间为15 min情况下, 可将钢液中初始氢由平均的 6.5×10^{-6} 脱除至 1.5×10^{-6} , 研究中指出加大抽真空过程中钢包底吹氩流量至350 L/min可实现脱氢率达到80%即可将氢脱至 1.3×10^{-6} 以下。以316H钢为试验对象, 利用75 t Consteel电弧炉对316H钢进行了冶炼, 在冶炼过程中对入炉料进行了严格控制, 钢液合金化之后钢液的氢含量平均控制在了 4.0×10^{-6} , 钢液出炉之后在VD设备内进行抽真空脱氢处理, 过程中钢包底吹氩气流量控制在360 L/min, 真空度控制在 ≤ 66.7 Pa, 处理时间为20 min, 处理后钢液的氢含量可控制在 1.0×10^{-6} 左右, 以此钢液制备的自耗电极初始氢可控制在 $0.6 \times 10^{-6} \sim 0.8 \times 10^{-6}$ 。

2.2 渣料的控制

为了防止渣料中水分引起的增氢以及渣膜对抑制增氢起的作用, 对原有渣料的成分及烘烤工艺进行了优化, 将原有渣料成分进行了调整, 调整前后的渣料成分要求如表3所示。

表3 调整前后316H钢的渣料成分
Table 3 The slag compositions of 316H steel before and after adjustment %

渣料	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
调整前	65	25	10	-
调整后	70	20	5	5

对渣料烘烤制度进行了调整, 原有渣料烘烤制度要求在烘烤温度为300~400 ℃下烘烤时间不低于3 h, 使用前温度不低于100 ℃。将其调整为, 在烘烤温度为500~600 ℃下烘烤时间不低于5 h, 使用前温度不低于200 ℃。

2.3 气氛中水分控制

为了降低气氛中的水分, 在结晶器上口与自耗电极的缝隙部位, 放置了吸附塞, 如图8所示。吸附塞的高度为30 cm, 材质主要成分为CaO, 内部为蜂窝状结构。外部空气流过吸附塞后, 能够实现将相对湿度为80%的空气干燥至40%, 大幅降低了气氛中水分对电渣锭的增氢影响。

2.4 使用效果

通过上述措施, 对在22 t和电渣炉上生产的316H钢电渣锭进行了氢含量统计, 并与措施实施前的电渣锭

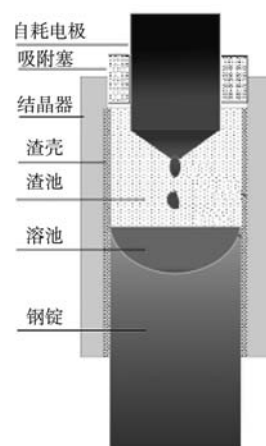


图8 设有吸附塞的电渣重熔示意图

Fig.8 Schematic diagram of electroslag remelting with adsorption plug

氢含量进行了比较, 其结果如图9所示, 能够实现氢含量大幅降低。

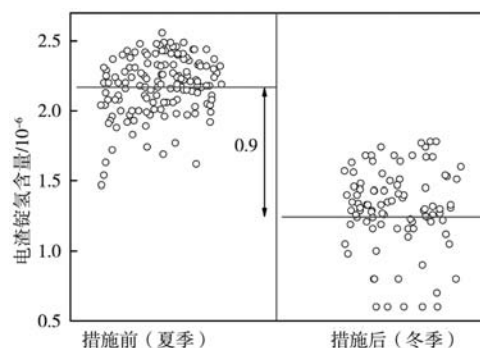


图9 措施实施前后电渣锭氢含量变化情况

Fig. 9 Changes of hydrogen contents in electroslag ingots before and after carrying out measures

通过对自耗电极初始氢含量控制、渣料成分优化和渣料烘烤制度调整以及设置吸附塞降低气氛湿度等多项措施实施后, 电渣锭的氢含量得到了有效控制。从图9中可以看出, 措施实施前平均氢含量可控制在 2.2×10^{-6} , 措施实施后即便是在湿度相对较高的夏季也能够将电渣锭中平均氢含量控制在 1.3×10^{-6} , 其电渣锭中氢含量平均降幅达到了 0.9×10^{-6} , 降幅率达到了41%。

3 结论

(1) 通过对电渣锭氢来源分析得出, 电渣锭中氢主要来源于自耗电极初始氢、渣料中水分引起的增氢和空气中水蒸气引起的增氢。

(2) 自耗电极初始氢含量小于 1.0×10^{-6} 时, 电渣锭中的增氢程度相对比较严重, 其氢含量至少是自耗电极初始氢含量的2倍; 初始氢含量在 $1.0 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-6}$ 范围时, 电渣锭氢含量增幅相对减缓; 初始氢含量大于 3.0×10^{-6} 后, 电渣锭氢含量几乎不增加, 甚至个别炉次

还有脱氢现象发生。

(3) 电渣锭增氢与渣料中成分密切相关, 随着渣中CaO含量的增加, 电渣锭中氢含量增加较为明显, 在CaF₂为70%不变的情况下, 渣中氧化钙由5%增加至15%, 电渣锭氢含量增幅量平均为 1.2×10^{-6} ; 在Al₂O₃为30%不变的情况下, 渣中氧化钙由5%增加至15%, 电渣锭氢含量增幅量平均为 1.8×10^{-6} 。渣中配加1%~3%MgO对抑制增氢效果不明显, 配加3%~5%MgO对抑制增氢效果明显, 在渣中MgO含量为5%时, 达到了最佳抑制增氢效果, 整个电渣重熔过程增幅量为

0.5×10^{-6} 。随着渣中MgO含量继续增加, 抑制增氢效果变弱, 电渣锭中氢含量有升高趋势。

(4) 气氛对电渣锭增氢影响主要体现在空气湿度上, 通过统计表明冬季生产的电渣锭氢含量平均值 1.5×10^{-6} , 夏季生产的电渣锭氢含量平均值 2.2×10^{-6} 。

(5) 通过对自耗电电极初始氢含量控制、渣料成分优化和渣料烘烤制度调整以及设置吸附塞降低气氛湿度等多措施的实施, 在夏季也能够将电渣锭中平均氢含量控制在 1.3×10^{-6} , 较原有的平均 2.2×10^{-6} 降低了 0.9×10^{-6} , 降幅率达到了41%。

参考文献:

- [1] 耿鑫, 姜周华, 刘福斌. 电渣重熔过程中氢含量的控制 [J]. 钢铁, 2008, 43 (10): 38-41.
- [2] 周德惠, 谭云. 金属的环境氢脆及其试验技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [3] NISHIWAKI M, YAMAGUCHI T, KOBAYASHI M, et al. Operation of large bifilar esr furnace for slab production and quality of slabs and heavy plates produced [C]// Chairman of the Organising and Executive Committee. Proceedings of the Fifth International Conference on Vacuum Metallurgy and Electroslag Remelting Processes. Munich, 1976.
- [4] 古可成. 氢含量对中硅耐热铸铁脆性的影响 [J]. 铸造, 1998 (8): 40-42.
- [5] 胡增武, 宗福春. 化学成分和浇注温度对7A04合金铸造性能的影响 [J]. 铸造, 2023, 72 (3): 270-274.
- [6] SUN B H, KRIEGER W, ROHWERDER M, et al. Dependence of hydrogen embrittlement mechanisms on microstructure-driven hydrogen distribution in medium Mn steels [J]. Acta Mater., 2020, 183: 313-328.
- [7] 靳存文, 邢贝贝, 徐清军, 等. 铸铁中气体元素氧、氮、氢的再认识 [J]. 铸造, 2021, 70 (12): 1412-1416.
- [8] 石峰, 杨芳霞, 吕登红. 高强度低应力气缸体立浇铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2023, 72 (1): 67-71.
- [9] 臧绍双, 张廷久. 提高VD脱氢效率的研究 [J]. 鞍钢技术, 2004 (4): 23-26.
- [10] 李德军, 许孟春, 李晓伟, 等. 重轨钢氢含量影响因素分析 [J]. 鞍钢技术, 2017 (5): 15-19.
- [11] 櫛井明, 笹岛保敏, 山村稔. ESR处理中水素のピックアップおよび酸化の主要因子について [J]. 鉄と鋼, 1977 (13): 2181.
- [12] 李慧, 张静武, 郑煊曾. 电渣重熔对奥氏体钢低温韧性的影响 [J]. 钢铁研究学报, 2001, 13 (3): 68-72.
- [13] 姜周华, 董艳伍, 耿鑫. 电渣冶金学 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [14] 王俭. 渣图集 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987.
- [15] 赵喜伟, 陈文杰. VD炉脱氢率的影响因素及工艺优化 [J]. 宽厚板, 2019, 25 (1): 27-30.

Control Measures and Effect Analysis of Hydrogen Content During the Electroslag Remelting of 316H steel

LI De-jun^{1,2}, GE Chun-yu³, LI Hai-qiang³, MA Qiang³, LIU Lei³, ZHAO Liang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Metal Material for Marine Equipment and Application, Anshan 114009, Liaoning, China; Iron & Steel Research Institutes of Ansteel Group Corporation, Anshan 114009, Liaoning, China; 2. Ansteel Foundry Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China)

Abstract:

In order to reduce hydrogen pick-up during the electroslag remelting, taking 316H steel as the research object, the influence of the initial hydrogen content, slag composition and air humidity of the consumable electrode were analyzed, and on this basis, the corresponding improvement measures were put forward. After putting these measures into practice, the hydrogen increment amount was decreased from the original average 2.2×10^{-6} to the average 1.3×10^{-6} below, and the average hydrogen content in the electroslag ingot was reduced by 0.9×10^{-6} , reaching a reduction rate of 41%. The hydrogen increment amount of the electroslag ingot was effectively controlled.

Key words:

316H steel; electroslag ingot; hydrogen pick-up; control measure