



高钛焊丝钢保护渣吸收 TiN 的研究

王时松¹, 张旭彬², 王云波³, 靳贺斌², 王伟³, 唐庆¹

(1 青岛特殊钢铁有限公司研究院, 青岛 266400; 2 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044;

3 青岛特殊钢铁有限公司炼钢厂, 青岛 266400)

摘要: 在高钛焊丝钢的连铸过程中, 钢液中生成的 TiN 夹杂物容易诱发“结鱼”物的形成, 从而引发连铸坯表面缺陷, 甚至漏钢。针对以上问题, 采用热力学计算、旋转柱法和高温共聚焦法实验对高钛焊丝钢连铸保护渣对 TiN 夹杂物的吸收进行了研究。热力学计算结果表明: CaO-SiO₂ 保护渣中的 SiO₂ 和 Al₂O₃ 均能与 TiN 发生反应, 且 SiO₂ 与其反应的能力更强; 旋转柱实验表明: 保护渣对柱状 TiN 的溶解能力有限, TiN 和保护渣的界面处有反应发生; 高温共聚焦实验表明: TiN 很容易被空气所氧化, 从反应前后试样总量的变化来看, TiN 能够被保护渣所氧化。因此, 采用保护渣氧化组分氧化 TiN 来减小结鱼有一定的可行性。

关键词: 高钛焊丝钢; 保护渣; 结鱼; 溶解实验

DOI:10. 20057/j. 1003-8620. 2022-00151

Study on the Absorption of TiN by the Mold Slag of High Titanium Welding Wire Steel

Wang Shisong¹, Zhang Xubin², Wang Yunbo³, Jin Hebin², Wang Wei³, Tang Qing¹

(1 Research Institute, Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao 266400; 2 College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044; 3 Steelmaking Plant, Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao 266400)

Abstract: In the continuous casting of high titanium wire steel, TiN inclusions generated in liquid steel can easily induce the formation of "floater", which leads to surface defects and even the steel leakage. In order to solve the above problems, the absorption of TiN inclusion by the mold slag for the casting of high titanium wire steel was studied by thermodynamic calculation, and methods of rotating column and high-temperature confocal. Thermodynamic calculation results show that SiO₂ and Al₂O₃ in CaO-SiO₂ slag can react with TiN, and SiO₂ has a stronger ability to react with TiN. The experiment of rotating column show that it can be seen that the dissolution ability of TiN column is limited, and the reaction occurs at the interface between TiN and mold slag. High temperature confocal experiment show that TiN is easily oxidized by air, and it also can be oxidized by mold slag according to the change of the total amount of samples before and after the reaction. Therefore, it is feasible to reduce occurrence of floater through the oxidization of TiN by the oxidizing component in the mold slag.

Key Words: High Ti Welding Wire Steel; Mold slag; Floater; Dissolution Experiments

在高钛焊丝钢的连铸过程中, 由于钢中较高的钛含量(约为 0.2%), 钢中的钛和氮容易结合形成 TiN 夹杂物^[1]。结晶器内的 TiN 夹杂物上浮至钢渣界面处并与保护渣发生一系列反应, 之后于结晶器弯月面处形成“结鱼”物^[2-4], 如图 1(a), 这将引起连铸坯表面质量的恶化。结鱼的产生机理^[2]目前常见的有 2 种说法: (1) 高钛钢水中的 TiN 和少量镁铝氧化物等夹杂与铁素体晶格错配度小, 晶格相似性强, 极易成为核心促进铁素体凝固析出形成结鱼; (2) TiN 与保护渣中的 SiO₂ 反应吸热导致局部温度降低, 诱发结鱼形成。目前, 普遍认为结鱼物的形

成与 TiN 在结晶器内钢渣界面处的停留和聚集直接相关, 并在某钢厂生产高钛焊丝钢的结鱼物内发现了 TiN 的聚集, 如图 1(b)^[2], 提高保护渣对 TiN 的吸收是避免结鱼的直接措施。但国内外学者对该方面的研究多为 TiN 生成后对保护渣、钢水质量和铸坯质量的影响上^[5-8], 关于保护渣对 TiN 吸收性的研究相对较少。

因此, 本研究旨在探究高钛焊丝钢连铸保护渣对 TiN 吸收性, 通过热力学计算高钛焊丝钢保护渣与 TiN 的反应性, 并采用实验室实验的方法确定保护渣对 TiN 的吸收, 从而为设计良好的保护渣提供

作者简介: 王时松(1980-), 男, 硕士, 高级工程师; E-mail: wangshisong@citicsteel.com; 收稿日期: 2022-09-26

通讯作者: 张旭彬(1990-), 男, 讲师; E-mail: zhangxubin12@163.com;

理论基础,并为减小高钛焊丝钢结鱼物的形成提供新思路。

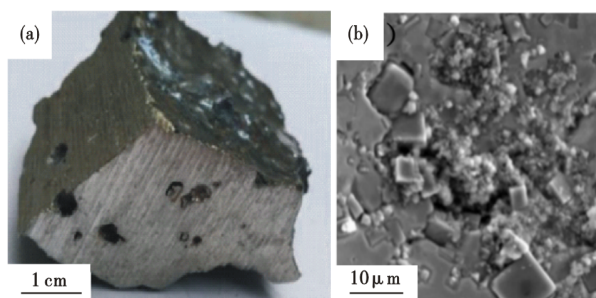


图1 结鱼物形貌(a)和其内TiN的聚集(b)

Fig. 1 Morphology of floaters (a) and TiN inclusions in the floaters (b)

1 研究方法

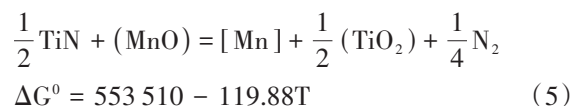
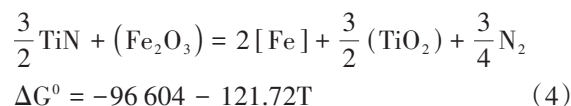
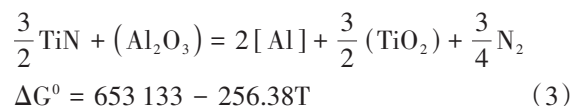
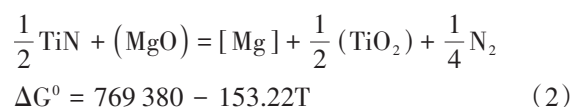
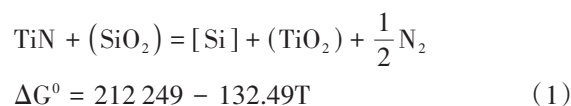
1.1 保护渣与TiN反应的热力学计算

为了减少结晶器内结鱼的发生,最直接的措施为采用保护渣与TiN反应而对其进行吸收,这可以减少渣渣界面处TiN的停留和聚集。为了研究不同组分的保护渣组分与TiN的反应程度,获得保护渣与TiN反应规律,本研究的实验用保护渣为钢厂生产焊丝钢(牌号ER70S-G)小方坯用的CaO-SiO₂系低碱度保护渣,反应温度选取高钛焊丝钢渣界面处的温度(1550℃)。所采用的高钛焊丝钢中钛含量约为0.20%,氮含量低于50×10⁻⁶,实验用保护渣的主要成分为:碱度(CaO/SiO₂)为0.7,Na₂O+K₂O约为8%,MgO+Al₂O₃约为10%。

为了确定保护渣中各组分与TiN的反应性,查阅FactSage热力学数据库得到了各组元纯物质(SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO)与TiN反应的标准吉布斯自由能ΔG⁰,如式(1)~(5),通过化学反应的等温方程式即可得到保护渣各组分与TiN反应的吉布斯自由能变化ΔG,而该过程需要确定保护渣中各组分的活度,及相应的钢液中各组分的活度。其中,保护渣各组分活度以纯物质为标态,采用

FactSage 7.0热力学软件,利用Fstel和FToxid数据库进行保护渣各组分活度的热力学计算。考虑到在氧化物渣系中的饱和溶解度非常低,故TiN的活度取1;实验在隔绝空气的条件下进行,而TiN与氧化物反应平衡的氮气分压难以准确确定,根据参考文献^[8]取氮气的分压为0.01 atm,初步确定并对比保护渣各组分与TiN的反应能力强弱。而后结合实验室实验和反应(1)~(5)的ΔG计算,确定实际与TiN反应的氧化物组分。

在计算反应式(1)~(5)的ΔG时,钢液中的溶质以1%溶液为标准态,采用瓦格纳模型进行计算,1873K温度下的钢液中部分组分元素的相互作用系数见表1^[2],各元素活度作用系数不同温度下的转换见式(6),可根据式(6)进行不同温度下的相互作用系数转换而求出1550℃的相互作用系数,进而求得钢水中组元的活度值。



$$e_{\text{B(T)}}^{\text{K}} = \frac{1\,873}{T} e_{\text{B(1873K)}}^{\text{K}} \quad (6)$$

式中,ΔG⁰为各反应标准状态下的吉布斯自由能变化(J/mol),T为反应的温度(K),e_{B(T)}^K为温度T时钢中元素K对元素B的活度作用系数。

1.2 旋转柱实验方法

TiN的溶解实验示意图如图2所示,实验方法为

表1 钢液中元素的相互作用系数, e_{B(1873K)}^K
Table 1 Interaction coefficient of the elements in liquid steel, e_{B(1873K)}^K

B\K	Al	C	Cr	Mn	Ni	S	Si	Ti
Al	0.045	0.091	0.012	-0.004	-0.017	0.030	0.0056	0.024
Mn	-0.012	0.004	0.004	-	-0.007	-0.048	-0.044	-
Si	0.058	0.180	-0.003	0.002	0.005	0.056	0.110	-
Ca	-0.070	0.340	0.020	-0.007	-	-	-0.097	-
Mg	-0.120	-0.150	0.047	-	-0.012	-1.380	-0.090	-0.640

旋转柱法。对高温硅钼炉进行改进,下端通入氩气,保证实验在惰性气体氛围下进行。利用钼杆和钼丝固定连接 TiN 样品,另一端接入旋转电机中。电机使 TiN 样品在保护渣中能够匀速旋转,保证其反应均匀且充分。具体实验步骤如下:

(1)将处理好的保护渣加入到石墨坩锅内,一同送入高温硅钼炉中,并以 15 °C/min 的速率升温至 1 500 °C,同时通入氩气保护,氩气流量约为 0.4 L/min。

(2)当炉内温度稳定后,保温 30 min,确保保护渣熔化均匀。之后切断氩气,将 TiN 样品垂直插入保护渣中,使 TiN 样品完全浸入保护渣。开启电机旋转进行测试,保证其旋转均匀且稳定,保持转速为 60 r/min,保温反应 60 min。

(3)反应结束后,取出钼杆连接的 TiN 样品,观察并记录保护渣对纯 TiN 样品的侵蚀现象。同时将保护渣倒出冷却,观察保护渣表面现象。采用扫描显微镜和能谱分析仪 SEM-EDS(TESCAN, VEGA 3, Czech Republic)观察分析反应后的 TiN 样品及保护渣样。

(4)换取样品并重复上述步骤。

1.3 高温共聚焦实验方法

图 3 为改进的高温共聚焦显微镜原理图^[9],其采用数字显微镜进行观察,以获得更清晰的反应图片序列。实验采用 6.0 mm 内径的铂金坩锅,以最大程度的降低坩锅材料对钢渣反应实验的干扰与影响。装有样品的坩锅,其样品架位于椭圆的顶部焦点处,温度的测量采用固定在样品架底部的热电偶。在本部分中,对装置进行进一步改进,外接氩气瓶,可直接通入氩气到高温炉内,确保实验在惰性气体的氛围下进行。

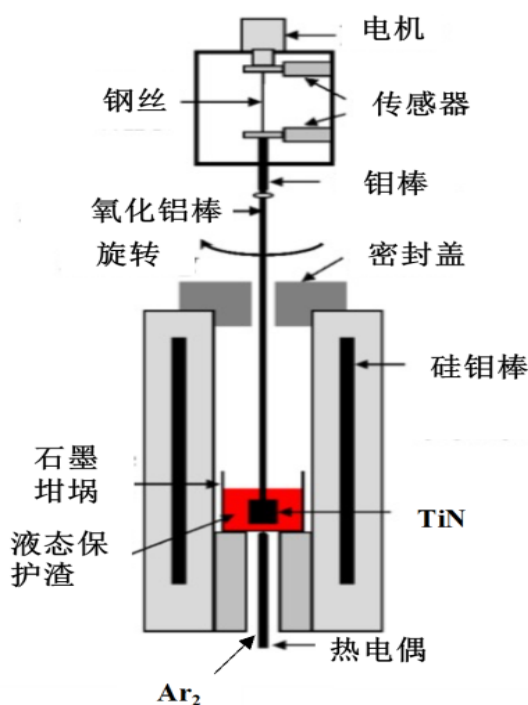


图 2 TiN 溶解实验示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the TiN dissolution experiments

本部分共在高温共聚焦显微镜内进行三组实验(实验 1~3),分别为:无保护渣时 TiN 在空气氛围下的氧化反应(空白实验)、在空气氛围下 TiN 和保护渣的反应、在氩气保护氛围下 TiN 和保护渣的反应,实验思路如文献[10]。具体实验步骤如下(实验 1 和实验 2 省略步骤 2):

(1)将选取好的样品称重并记录,之后将样品放置于铂金坩锅的正中央,再次称重并记录样品和坩锅的总重量。

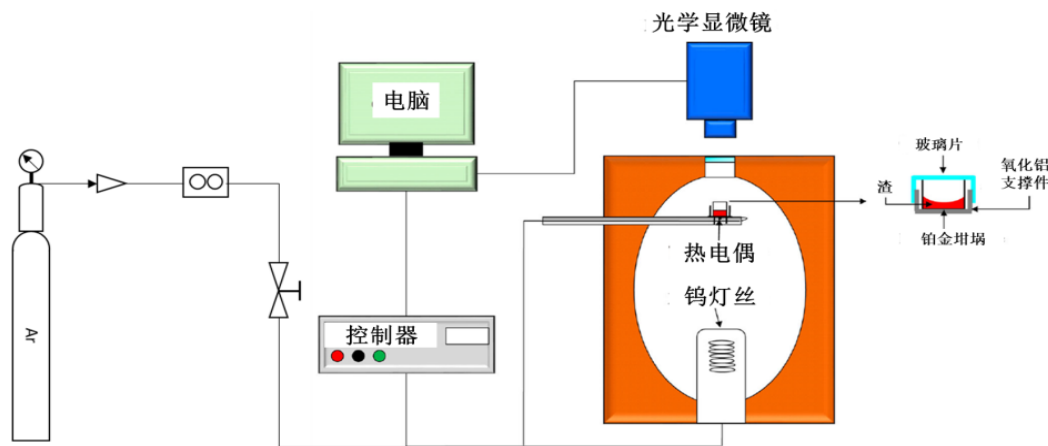


图 3 改进的高温共聚焦显微镜原理图

Fig. 3 Schematic diagram of modified high-temperature confocal microscope

(2)进行实验准备工作,连接氩气瓶,将铂金坩锅送入到装置中。对整个装置进行密封检验。确认装置密封完整后,进行抽真空处理。处理完备后,通入氩气,流量为0.4 L/min。

(3)待流量稳定后,按图4所示进行升温。升至1 300 °C时保温10 min,确保反应进行完全。从第二段时间开始对装置进行拍照记录,拍照频率为1张/s,观察实验温度下不同实验的反应程度以及气泡的产生速率,并根据观察的气泡产生情况确定反应的剧烈程度与持续时间。

(4)反应结束后,继续按图4所示进行降温。之后取出样品,待样品冷却后,再次称重并计算分析TiN的反应量。

(5)换取样品重复上述步骤。

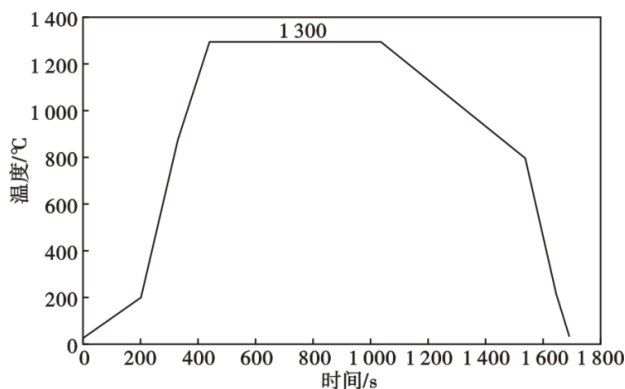


图4 实验温度变化曲线

Fig. 4 Curves of temperature variation during the experiment

2 结果与讨论

2.1 保护渣与TiN反应的热力学计算

钢液中各组分活度以质量1%为标态,1 823 K (1 550 °C)温度下的钢液中部分组分元素的相互作用系数见表2;采用FactSage 7.0计算得到保护渣中各组分活度,见表3;保护渣与钢水中TiN的反应性的计算结果见表4。计算结果表明,渣中组分SiO₂、Fe₂O₃和Al₂O₃与钢水中TiN反应的吉布斯自由能均小于零,因此高钛焊丝钢连铸保护渣能够与TiN发生反应。由于吉布斯自由能越负反应越容易进行,即所用的低碱度保护渣中SiO₂比Al₂O₃更容易与TiN发生反应。

2.2 溶解实验结果

图5为TiN样品经过在保护渣溶解实验后的外观形貌图。从宏观上来看,TiN被保护渣所包围,尺寸变化较小,保护渣对TiN柱的侵蚀不够明显,因此

表2 在1 823 K时钢水中各元素的活度

Table 2 Activity of different elements in liquid steel at 1 823 K

a_{Si}	a_{Mg}	a_{Al}	a_{Fe}	a_{Mn}
0.927 9	$6.280 0 \times 10^{-5}$	0.006 7	1.000 0	1.359 6

表3 在1 823 K时保护渣各组元的活度

Table 3 Activity of different oxides in the slag at 1 823 K

a_{SiO_2}	a_{MgO}	$a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$a_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	a_{MnO}	a_{TiO_2}
0.104 2	0.046 4	0.000 9	0.001 4	0.001 3	0.003 3

表4 保护渣各组分与TiN反应的热力学计算结果/(J·mol⁻¹)

Table 4 Thermodynamic calculation of the reaction of TiN and oxides in the slag/(J·mol⁻¹)

保护渣组分	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO
ΔG	-117 449.0	327 472.1	-41 769.9	-400 463.9	361 213.8

需要扫描电子显微镜SEM-EDS对溶解实验后的TiN样品进行元素分析,以判断和分析保护渣对TiN的侵蚀程度。与此同时,相对于实际连铸过程中保护渣与TiN夹杂物的接触,柱状的TiN与保护渣的接触面积明显减小,这可能与其变化较小有关。

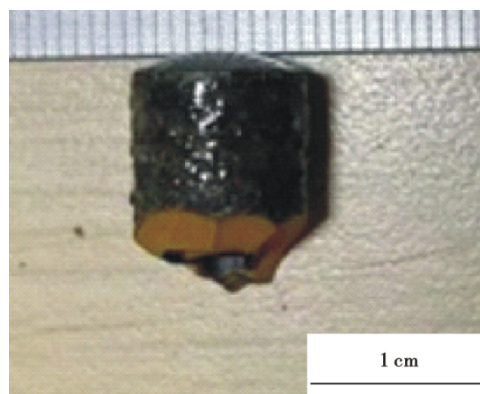


图5 保护渣与TiN反应后的TiN柱形貌图

Fig. 5 Column morphology of TiN sample after the reaction of TiN and oxides in the slag

图6为TiN样品经保护渣侵蚀后的SEM-EDS图像及图像中元素分布情况,放大倍数为5 000倍,选取的点靠近TiN与保护渣接触的边缘地带。经过元素分析后可以明显的看出,TiN样品中分布了Ca、Si和Al等保护渣内的元素,可以确定保护渣对TiN具有一定的侵蚀作用。

图7为扫描电镜观察的保护渣-TiN界面处的形貌,该图像放大倍数为1 000倍。为了从整体上判

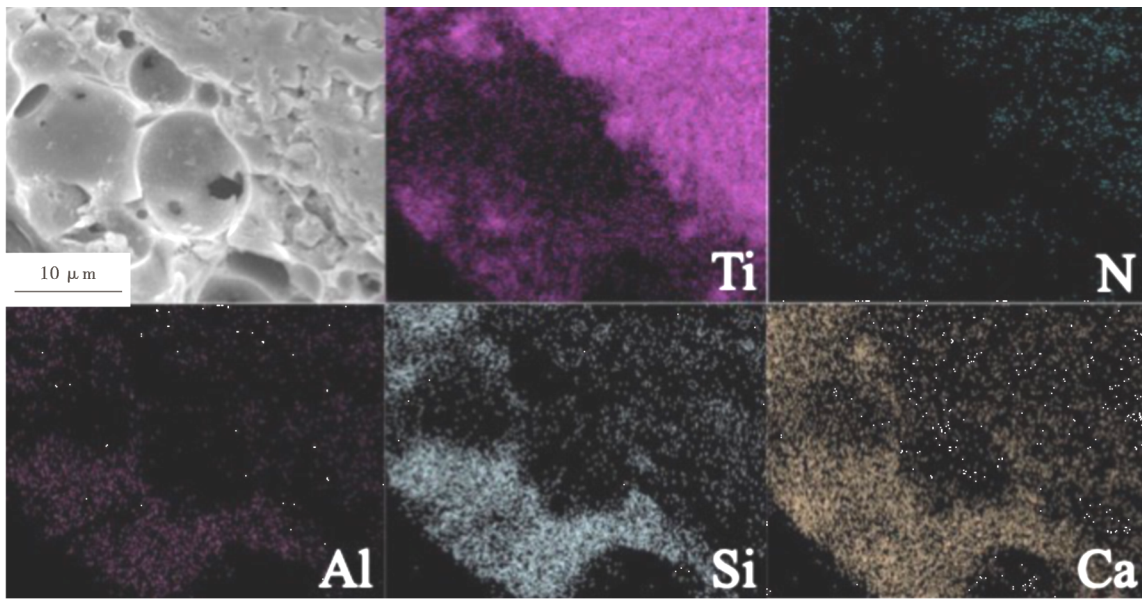


图6 保护渣与TiN反应后TiN样品边缘部位的SEM图

Fig. 6 Element distribution near the interface of TiN and the mold slag after reaction

断保护渣对TiN的侵蚀作用,从图7上选取了位置不同的五个点进行扫描分析,其中Spot 1位于TiN中央部位,Spot 2~Spot 5位于TiN与保护渣接触的边缘部位,元素分析结果如表5所示。分析结果显示,位于边缘部位的Al、Si、Ca等保护渣元素含量较高,位于中央部位的保护渣元素含量较低。因此,可以综合判断:焊丝钢连铸保护渣对TiN具有侵蚀作用,但侵蚀面积较小,侵蚀能力较弱,这可能与实验采用的TiN圆柱压实情况有关。

表5 保护渣与TiN反应后界面处各位置的化学成分(质量分数)

Table 5 Chemical composition percentage at different positions of slag-TiN interface after reaction

区域	N	O	Al	Si	Ca	Ti
Sport1	7.81	6.96	1.30	4.15	3.26	76.51
Sport2	0.22	55.09	3.12	11.19	18.31	12.17
Sport3	0.07	55.05	1.38	2.25	29.31	11.94
Sport4	0.04	35.97	3.73	19.26	30.32	10.68
Sport5	0.12	35.79	2.46	13.60	35.01	13.01

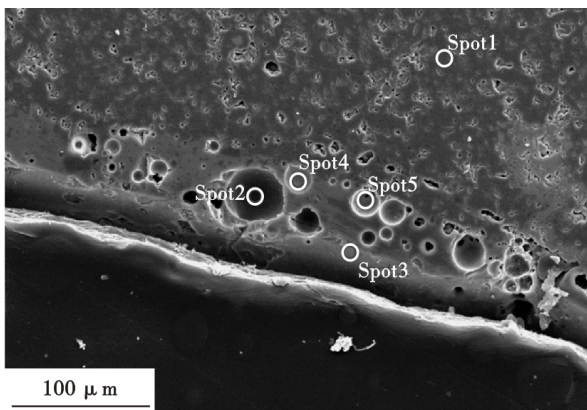


图7 反应后保护渣-TiN界面微观形貌图

Fig. 7 Morphology of solid slag and TiN interface after reaction

2.3 高温共聚焦实验结果

图8为高温共聚焦实验中CCD摄像机记录下的在空气中纯TiN样品的反应情况。该组实验作为对

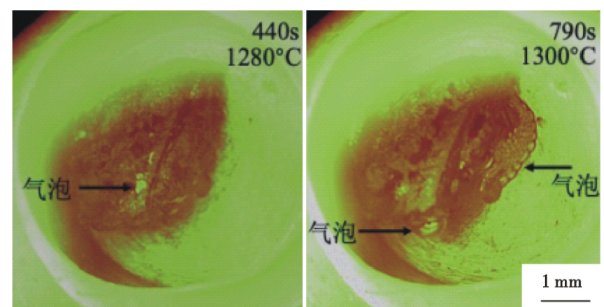


图8 高温共聚焦显微镜下纯TiN样品在未通氩气时的反应现象

Fig. 8 Reaction of pure TiN samples and the air without argon under high-temperature confocal microscope

照试验,为了能够更清晰的获得反应效果,特地选取较大的TiN样品进行试验。实验前TiN样品重0.078 0 g,样品加铂金坩锅总重0.490 0 g。当实验温度达到1 100 °C左右时,TiN的氧化开始,在TiN表面不断有气泡冒出,气泡的形成清晰可见。实验过

程中反应程度随着时间的推移而加剧,经过60 s左右的实验时间后,实验达到剧烈程度的极点。之后气泡的形成开始变得缓慢,又进行300 s左右的实验时间后反应停止。实验过程中由于TiN的氧化导致渣中钛氧化物的生成并挥发,能见度随着时间的延长而变差,但300 s附近的实验中不断产生的气泡足以证明TiN在空气中被氧化。实验结束后,取出坩锅后称重为0.510 0 g,增加了0.020 0 g。经过计算若0.078 g TiN完全与氧气反应释放氮共计有质量增加0.022 6 g,略高于实验结果。因此,可以证明,该组实验TiN在实验温度下可以被空气中的氧气氧化,且可认为反应进行的较为完全。

图9为升温至1 300 °C过程中高温共聚焦显微镜下保护渣与TiN在空气氛围(未通入氩气)下的反应。该组实验所用保护渣样品重0.056 0 g, TiN样品重0.018 0 g,样品加铂金坩锅总重0.290 0 g。由图9可以看出,反应未开始时TiN和保护渣比较容易区分。在1 100 °C时,保护渣开始熔化,短时间内,熔化后的保护渣接触到TiN样品,反应便立即开始。反应一开始程度就非常剧烈,气泡的形成清晰可见,且随着时间的推移而加剧。保护渣不断融化并包围TiN样品时,剧烈程度达到极点,且持续约100 s。可以明显看出,其反应程度相较于与空气的反应更加剧烈,同时持续时间更长,在经过大约600 s的实验时间才逐渐停止。实验结束后,取出坩锅冷却后称重为0.292 0 g,较反应前增加了0.002 0 g。经计算,若TiN被空气中的氧气完全氧化后增重应为0.005 0 g,与实际结果有较大差距,但并不排除误差的存在。但根据上组对照实验的剧烈程度及反应结果,可以认为该组实验中TiN除去与空气中的氧气发生反应外,还与保护渣中的氧化性组分发生反应。高温共聚焦显微镜下TiN与保护渣反应的观察

结果与热力学计算结果趋势一致。

为了进一步探究TiN与保护渣的真实反应情况,使TiN与保护渣在氩气氛围下进行试验。图10为氩气氛围下TiN与保护渣的反应情况。为了体现更为真实的反应状况,本次实验首先将保护渣在高温炉内预熔,使其均匀的铺满坩锅底部,这样减少了保护渣熔化后流动到TiN周围所需的时间。之后将TiN样品放置于正中央送入装置内进行实验。该组实验所采用的TiN样品重量为0.009 0 g、预熔后保护渣与坩锅重量为0.332 0 g,总重为0.341 0 g。

由图10可以看出,反应温度到达1 050 °C时,保护渣开始熔化,与TiN相邻的地方开始有气泡冒出。随着时间的推移,反应温度到达1 130 °C时,保护渣基本全部熔化,且TiN被保护渣所包围,TiN周围产生大量气泡,保护渣外围没有产生气泡。经过200 s以上的实验时间后,TiN体积逐渐变小,气泡的产生速率也变得缓慢,但是反应仍在持续进行。整体来看,该组实验的反应程度不如第二组实验剧烈,和第一组实验相当,但持续时间相较于第二组更长,达到近600 s的实验时间。反应结束后,取出坩锅冷却并称重为0.341 0 g,较实验前并无重量变化,经过计算若TiN完全与氧气反应样品应增重0.002 6 g,若完全与保护渣反应样品应减少0.002 0 g。考虑到组装装置的真空度有限,反应并不是在完全氩气的氛围进行,可能存在部分空气。结合实验后的重量进行计算,若反应完全且均匀,则TiN与渣和TiN与空气的反应比例为1.3:1。

结合三组结果综合判断,得出结论:在实验温度下,TiN可以与保护渣发生反应,且空气的存在可以使反应更为剧烈。表6为总结了以上三组实验的观察结果汇总,从表中可知,在氩气气氛下保护渣与TiN的反应时间最长,而在空气气氛下保护渣和

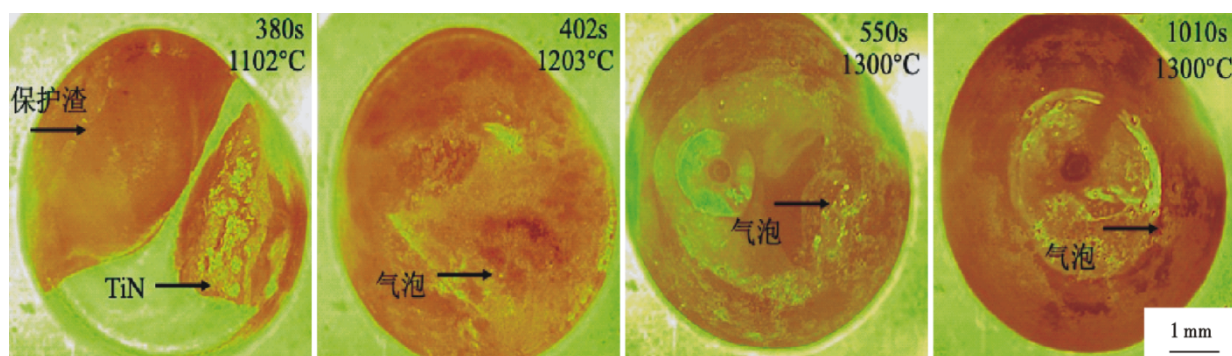


图9 高温共聚焦显微镜下TiN和保护渣在未通氩气时的反应

Fig. 9 Reaction of TiN and the slag without argon under high temperature confocal microscope

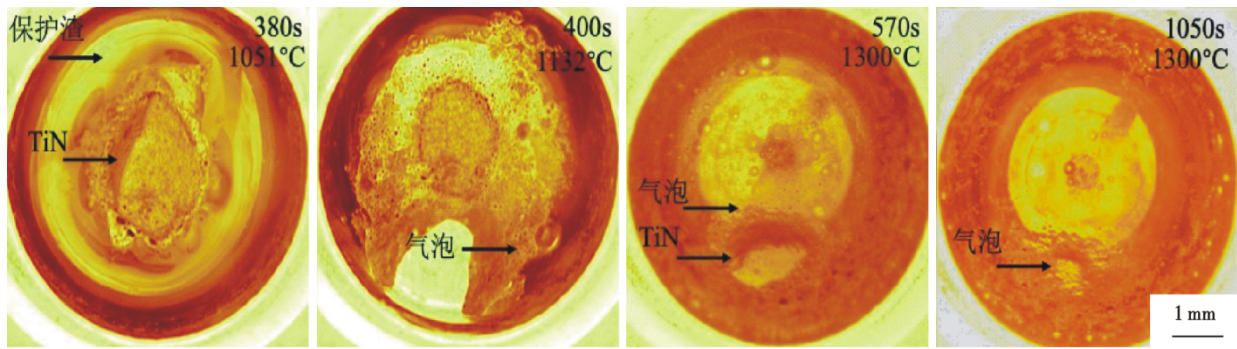


图 10 高温共聚焦显微镜下 TiN 和保护渣在氩气中接触的反应

Fig. 10 Reaction of TiN and the slag with argon contact under high-temperature confocal microscope

表 6 高温共聚焦 TiN 氧化实验汇总

Table 6 Summary of TiN oxidation experiments at high-temperature confocal

项目	实验 1	实验 2	实验 3
气氛	无氩气	无氩气	氩气
保护渣	无	有	有
气泡形成	↑	↑↑↑	↑↑
剧烈程度	↑	↑↑↑	↑↑
反应时间/s	400	600	700

空气与 TiN 反应的最为剧烈,这说明空气和焊丝钢保护渣均能与 TiN 发生反应。

3 结论

(1)热力学计算表明,在 1 550 °C 温度下焊丝钢

保护渣能与 TiN 发生反应。其中,主要反应为保护渣中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等氧化性组分与 TiN 的氧化作用,其中 SiO_2 对 TiN 的氧化能力较强, Al_2O_3 的氧化能力相对较弱。

(2)旋转柱溶解实验及 SEM 观察证实,实验后 TiN 样品中出现了保护渣的组分元素,说明保护渣与 TiN 能够发生反应,但其反应程度较小。

(3)从高温共聚焦显微镜 3 组实验中气泡产生和样品重量变化情况可知,TiN 在 1 300 °C 时能被空气氧化,同时在低氧势下能够被保护渣中的氧化物组分氧化。说明保护渣氧化吸收 TiN 是可行的,这将为高钛焊丝钢降低 TiN 在钢渣界面处聚集、减小结鱼形成提供新的思路。

参考文献

- [1] 郑宏光,陈庆伟. 连铸含钛不锈钢浸入式水口结瘤的形成机理[J]. 炼钢,2006,22(3):35-38.
- [2] 陈卓. 高钛合金钢连铸保护渣基础研究及应用[D]. 重庆:重庆大学,2019.
- [3] 郑宏光. 含钛不锈钢连铸水口结瘤和结晶器“结鱼”[J]. 宝钢技术,2008,1:50-58.
- [4] Sharan. A, Jimbo. I, Cramb. A. W. Fundamental aspects of the casting of titanium treated steels [J]. Iron and Steelmaker (USA). 1994,21(12):37-41.
- [5] 段豪剑,张立峰,任英,等. 超纯铁素体不锈钢表面白色条纹缺陷形成机理研究[C]//“第十届中国钢铁年会”暨“第六届宝钢学术年会”,2015:1442-1447.
- [6] Nagata M T, Speer J G, Matlock D K. Titanium nitride precipitation behavior in thin-slab cast high-strength low-alloy steels [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2002, 33 (10) : 3099-3110.
- [7] Michelic S K, Loder D, Reip T, Barani A A and Bernhard C. Characterization of TiN, TiC and Ti(C, N) in titanium-alloyed ferritic chromium steels focusing on the significance of different particle morphologies [J]. Materials characterization, 2015, 100: 61-67.
- [8] 陈卓,郑睿琦,王谦. 含钛夹杂物对连铸保护渣性能的影响[J]. 连铸,2021,(2):33-7.
- [9] 朱礼龙. 包晶钢用超高碱度保护渣的理论研究和应用[D]. 重庆:重庆大学,2018.
- [10] Micheelic S K, Bernhard D C. Experimental Study on the Behavior of TiN and Ti_2O_3 Inclusions in Contact with $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$ Slags[J]. Scanning, 2017:1-14. .