

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-13>**ADSORPTION OF NON-METALS INCLUDED
IN THE SLAG PHASE IN THE TUNDISH****АДСОРБЦІЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ
ШЛАКОВОЮ ФАЗОЮ У ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБРЗ****Yefimova V.G.,***Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Єфімова В.Г.***доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Відомо, що в процесі виробництва сталі відбувається побічний процес утворення неметалевих включень. Якщо його не контролювати належним чином, це може призвести до зниження якості готової продукції. Одним з доступних методів контролю вмісту неметалевих включень у розплаві сталі є шлак, який за законом розподілу поглинає неметалеві включення у процесі їх флотації за рахунок абсорбції.

Основні дослідження видалення неметалевої фази з розплаву сталі присвячені оптимізації траєкторії гідродинамічних потоків у металургійних реакторах та транспортуванню неметалевих включень до межі поділу фаз метал – шлак [1, 2].

Найменш вивченою стадією видалення неметалевих включень з розплаву є поглинання неметалевого включення шлаковою фазою.

Отже, робота що спрямована на з'ясування механізму абсорбції включень шлаковою фазою після того як вони досягли міжфазної поверхні поділу метал – шлак та впливу на цей процес розплаву шлаку є актуальною.

Метою даного дослідження було встановлення механізму видалення неметалевих включень за рахунок адсорбції шлаковою фазою.

Реалізація поставленої мети здійснювалась шляхом вирішення наступних завдань:

- фізико-хімічний аналіз адсорбції неметалевих включень шлаком у проміжному ковші;
- моделювання процесу адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, з використанням скуюючого електронного мікроскопу;
- визначення часу адсорбції неметалевих включень шлаком.

Для того щоб розглянути класичну модель абсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, нами було проведено моделювання процесу

адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, при цьому вважалось, що адсорбційний процес перебігає у мономолекулярному шарі та може контролюється дифузією та контролюються константою швидкості хімічного процесу.

В цих дослідженнях було зроблено наступні припущення:

- 1) форма частинок має бути максимально наближеною до сферичної форми;
- 2) процес розчинення відбувається до тих пір, поки частинка повністю не розчиниться;
- 3) у процесі розчинення не відбувається процесу обертання частинки;
- 4) об'єм шлаку залишається сталим.

У дослідженнях для вивчення розчинення частинок неметалевих включень ми застосовували скануючий електронний мікроскоп РЕМ-106И, основними перевагами якого є можливість спостереження процесу розчинення індивідуальної частинки неметалевого включення у шлаку.

У цьому дослідженні у якості включення, що переходить міжфазну границю метал – шлак, використовувався глинозем. При цьому всі твердження, що отримані для частинок глинозема можуть бути застосовані і до інших найпоширених включень, а саме Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 і $MgAl_2O_4$.

Було прийнято, що розплав сталі являв собою розплав чистого заліза, тому в'язкість металу і переважна частина поверхневих натягів на межі поділу фаз була відома. Початкова швидкість включення була різною в залежності від розміру включень, до максимальна очікувана швидкість течії в металі 0,3 м/с.

Для аналізу було обрано фазу шлаку проміжного ковша. Основні характеристики розплаву металу, шлаку та неметалевих включень наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні властивості розплаву металу,
шлаку та неметалевих включень**

	Густина, кг/м ³	В'язкість, Па·с	Поверхневий натяг, Н/м	Склад, масові %			
Включення Al_2O_3	3990	-	$\sigma_{ш-в}$ 0,01-0,2	Al_2O_3 , 100%			
Розплав Fe	7000	0,006	$\sigma_{М-в}$ 1,504	Fe, 100%			
Шлак проміжного ковша	2560	2,308	$\sigma_{М-ш}$ 1,16	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
				39,5	33	19,5	7,3

Для аналізу результатів експерименту швидкості розчинення неметалевих включень у шлаковій фазі, яка контролюється дифузією, можна представити рівнянням:

$$\tau = \frac{\rho_g \cdot R_g^2 \cdot 3\pi\eta_m}{2kT\Delta C} \quad (1)$$

де k – константа Больцмана; ΔC – зміна концентрації в процесі розчинення неметалевого включення, мас.%; ρ_g – густина неметалевих включень у кг/м³; R_g^2 – радіус неметалевого включення, м; η_m – в'язкість розплаву металу, Па·с; T – температура, К; ΔC – зміна концентрації в процесі розчинення неметалевого включення, мас.%

Одною з основних цілей фізичного моделювання було виявлення умов, коли включення залишається однією своєю частиною у розплаві металу, а іншою у шлаковій фазі і не асимілюється шлаковою фазою.

Отже метою досліджень було встановлення умов, що призводять до даної ситуації, а також знаходження межі тих властивостей, коли неметалеві включення концентруються на границі поділу метал-шлак, а саме розмір частинок та швидкість їх спливання, значення поверхневого натягу на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак, а також в'язкість шлаку.

Дослідження було проведено для чотирьох різних розмірів включень – 10, 20, 50 та 100 мкм. Поверхневий натяг на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак було обрано в межах 0,01–0,6 Н/м з припущенням, що при розчиненні включень призводить до зміни складу шлакової фази.

Дані розрахунків свідчать, що при малих значеннях поверхневого натягу на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак, рушійною силою процесу адсорбції неметалевих включень буде капілярна сила, що відноситься до розмірів включень, що розглядаються.

Зміна початкової швидкості спливання мало впливає на процес адсорбції неметалевої фази. Як показують розрахунки, початкова швидкість впливає на асиміляцію частинок, розмір яких більше 50 мкм, за рахунок утворення металевої плівки чи шлаків, що мають підвищену в'язкість.

Отже, оскільки рушійною силою процесу відокремлення неметалевих включень від фази металу і перехід їх у шлак є капілярна сила. Для проміжного ковша поверхневий натяг на межі поділу неметалевого включення – шлак повинен бути не більше 0,4 Н/м, що сприяє видаленню 90-95% неметалевих включень з радіусом від 10 до 100 мкм, з початковою швидкість спливання – 0,3 м/с.

Слід зауважити, що при розчиненні у шлаку частинки неметалевих включень змінюють свою форму. Оскільки процес розчинення має тенденцію до зменшення площі включень, що контактують зі шлаком, то розчинення буде мати тенденцію до зменшення поверхневого натягу на межі поділу фаз шлак – неметалеве включення, тому частинка буде рухатися в шлак під час розчинення.

Дані розрахунків свідчать, що час адсорбції неметалевих включень лежить в межах від $2 \cdot 10^{-4}$ до $7 \cdot 10^{-4}$ сек, в залежності від розміру включення. Зростання часу адсорбції неметалевих включень великих розмірів спостерігається за рахунок більш тривалого відокремлення металевих плівок від поверхні неметалевого включення.

В результаті проведених досліджень встановлено механізм адсорбції неметалевих включень, визначено умови які краще впливають на процес адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, а також встановлено час асиміляції шлаком включень різного розміру.

Наступним етапом наших досліджень буде вивчення впливу природи неметалевих включень на їх асиміляцію шлаковою фазою.

Перелік використаних джерел

1. Zhao S., Zushu L. , Renze X., Darbaz K., Gaoyang S. Dissolution Behavior of Different Inclusions in High Al Steel Reacted with Refining Slags. 2021. – Metals. – Vol.11. – p. 56-71.
2. Xu, J.F., Wang K.P., Wang Y., Qu Z.D., Tu X.K. Effects of ferrosilicon alloy, Si content of steel, and slag basicity on compositions of inclusions during ladle furnace refining of Al-killed steel. 2020. – J. Iron Steel Res. Int. – Vol. 27. – p. 1011–1017.
3. Wang, G.C., Zhao, Y., Xiao Y.Y., Jin, P.L., Li S.L., Sridhar, S. Diversified aggregated patterns of alumina inclusions in high-Al iron melt. 2020. – Met. Mater. Trans. – Vol. 51. – p. 3051–3066.
4. Yang, J., Chen D.F., Zhu M.Y., Crystallization and heat transfer of CaO–SiO₂-based slag for high-Mn–high-Al steel. 2020. – J. Iron Steel Res. Int. – Vol. 27. – p. 788–795.