

**Секція: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

УДК 669.146

В.С. Богушевський, докт. техн. наук, проф., В.Ю. Сухенко, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім.
І.Сікорського», Україна

**АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ І ТРАНСФОРМАЦІЇ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ ПРИ
РОЗКИСНЕНІ СТАЛІ В ПРОЦЕСІ ВИПУСКУ**

V.S. Bogushevskiy, Dr., Prof., V.Y. Sukhenko, Ph.D.

**ANALYSIS OF THE FORMATION AND TRANSFORMATION OF NONMETALLIC
INCLUSIONS DURING DEOXIDATION OF STEEL IN THE PROCESS OF
TAPPING**

Вступ. Тенденція до збільшення швидкості потягів з 60 – 80 до 100 – 120 і вище км/год., продуктивності газотранспортних систем, що вимагає постійного зростання номінального робочого тиску в магістралі (з 5,4 – 7,4 до 9,8 – 14,0 МПа), обумовлює виробництво сталі більш високої якості. Рішення даної задачі в значному ступені визначається чистотою металу за неметалевими включеннями (НВ).

При послідовному розкисненні сталі манганом, силіцієм і алюмінієм збільшення кількості неметалевих включень обумовлено головним чином взаємодією алюмінію із залишковим вільним киснем і з НВ, що раніше утворилися, а також з погіршенням ефективності їх видалення у зв'язку із зниженням плинності рідкої сталі [1].

Постановка задачі. Удосконалити існуючі й розробити сучасні технології виробництва конструкційних рейкових і трубних сталей більш високої якості й категорії міцності, шляхом адаптації діючих технологічних схем металургійних підприємств для їх реалізації.

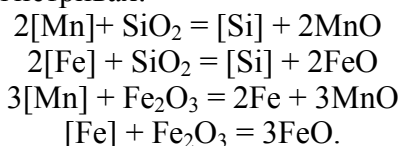
Результати досліджень. Взаємодія металу зі шлаком при випуску плавки із печі призводить до збільшення вмісту НВ в сталі. Так, в процесі розкиснення вуглецевої хромвміщуючої сталі силіцієм, манганом і хромом вміст крупних силікатних НВ розміром більш 10 мкм збільшується з $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,5 \cdot 10^{-3}$ % об., а в процесі випуску плавки ще збільшується до $1,5 \cdot 10^{-3}$ % об. Після 10 хв. витримки в сталерозливному ковші вміст НВ знижується до $0,7 - 0,8 \cdot 10^{-3}$ % об.

Наведені закономірності підтверджуються результатами роботи [2], що свідчать, про збільшення крупних силікатних НВ розміром порядку 10 мкм із підвищенням інтенсивності перемішування металу в сталерозливному ковші при випуску плавки. При витримці металу в ковші основна частина НВ переходить у шлак.

Вплив футерівки на НВ в сталі обумовлюється хімічною ерозією вогнетривів, яка характеризується відновленням оксидів вогнетривких матеріалів активними елементами рідкої сталі, наприклад, відновлення SiO_2 вогнетриву манганом сталі. Закис мангану MnO , що утворився по цій реакції, а також сполука $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O}$, що утворюється за рахунок вторинного окиснення, знову реагує з SiO_2 , яке знаходиться у вогнетривах. При цьому утворюються неметалеві включення залізо – манганових силікатів або інших складних силікатів, що вміщують FeO , MnO , SiO_2 , Al_2O_3 . За невеликого вмісту мангану більш інтенсивно взаємодіє з вогнетривами залізо. А FeO і MnO , що утворюються в результаті взаємодії рідкої сталі з киснем повітря, знову реагують з вогнетривами.

Використання мулітових вогнетривів дозволяє дещо уповільнити руйнування вогнетривів і знизити утворення НВ. Із збільшенням відношення $[\% \text{Mn}]/[\% \text{Si}]$ кількість НВ в сталі при контакті з вогнетривами збільшується, при цьому відбувається

розм'якшення й оплавлення поверхні вогнетривів, а потім відбувається хімічна реакція на поверхні розділу фаз. Руйнування вогнетривів рідкою сталлю прогресує під дією нижче наведених реакцій між манганом, що знаходиться у рідкій сталі (або залізом) і SiO_2 , Fe_2O_3 , які присутні у вогнетривах:



При цьому рідка фаза $\text{FeO} \cdot \text{MnO}$ знову реагує з вогнетривами, утворюючи включення системи $\text{FeO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$.

В процесі позапічної обробки і неперервної розливки при взаємодії сталі з киснем повітря проходять процеси вторинного окиснення з утворенням НВ, частина із яких переходить в шлак, а частина залишається в металі при кристалізації. Дослідження свідчать про те, що обидві ці частини НВ мають однаковий хімічний і мінералогічний склад, що підтверджує однакове джерело і механізм їх утворення. В роботі [3] стверджують про ідентичність хімічного складу і джерел утворення як дрібних, так і крупних НВ.

В процесі кристалізації металу проходить тверднення часток різних хімічних з'єднань, що знаходяться в рідкій сталі: силікатів і алюмінатів мангану складного складу, залізо-манганових алюмосилікатів, а також алюмосилікатів типу муліту – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, спесеартину $3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ або родоніту $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ тощо. З'єднання, що схильні до переохолодження при твердненні утворюють склоподібні неметалеві включення. Кристали даних з'єднань, що утворюються, можуть бути зародками більш складних включень. Частина включень, таких як силікати мангану і заліза, що схильні до переохолодження і тверднення, утворюють саме склоподібні включення.

Розкиснення сталі елементами, що мають більш високу спорідненість до кисню (Al, Ti, Zr) призводить до суттєвої зміни хімічного складу неметалевих включень, при додаванні Al силікати Mn, Mn і Fe, алюмосилікати Mn відновлюються Al. У результаті вторинного окиснення сталі проходить окиснення Al і утворення з'єднань типу $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ тощо, які виділяються у вигляді самостійних включень або залишаються основою складних включень. Висока спорідненість деяких елементів (наприклад Ti, Zr) до азоту і вуглецю призводить до утворення нітридів і карбо – нітридів (TiN, Ti(N,C)).

Висновки. Таким чином, на підставі вищенаведеного можна зробити висновок, що в сталі знаходиться багатovid молекулярних форм, структур, фазових станів, макро- і мікророзмірних неметалевих включень. При розкисненні сталі манганом, силіцієм і алюмінієм, манган суттєво впливає на хімічний, структурний і фазовий склад НВ, що утворюються. Подальші дослідження будуть направлені на визначення закономірностей утворення і складу НВ, що утворюються.

Література

1. Гасик Л.Н. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур / Л.Н. Гасик, В.С. Игнатьев, М.И. Гасик. – К.: Техника. – 1975. – 142 с.
2. Паршиков А.Н. Электрохимический контроль окисленности и неметаллические включения в кордовой стали / А.Н. Паршиков, М.П. Гуляев // Труды 3-го Конгресса сталеплавильщиков. – Москва. – 1990. – С. 274 – 276.
3. Развитие технологии производства стали и повышение качества металла труб нефтяного сортамента / А.С. Дегай, А.И. Степанов, С.П. Бурмасов [и др.] // Труды 10-го Конгресса сталеплавильщиков (г. Магнитогорск, 13–17 октября 2008 г.). – Москва. – 2009 г. – С. 80 – 87.
4. Богушевський В.С. Особливості утворення неметалевих включень в процесі отримання і обробки сталі / В.С.Богушевський, М.В.Каленчук // Матеріали V МНПК Металлургия-2016 (г. Запорожье, 26 – 28 мая 2016 г.). – 2016. – С. 293 – 295.