

УДК 621.745.55

**М.М. Ямшинський, Г.Є. Федоров**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ

## **ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОХРОМИСТИХ СТАЛЕЙ В АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

За високих температур швидкість окиснення металу основи може бути настільки високою, що дифузія легувальних елементів буде недостатньою для підтримування ефективного захисного шару в окалині. Багаторазове повторення процесу окиснення, коли шар окалини може відокремлюватися від поверхні внаслідок розтріскування, призводить до поступового збіднення сплаву легувальними елементами, а отже окалиностійкість його за сталих умов експлуатації знижується [1, 2].

Теорія Еванса зазначає виникнення в оксидній плівці механічних дефектів у вигляді пор. Причиною утворення пор є дотичні, стискувальні напружини в оксидній плівці металу.

У процесі окиснення потрійних твердих розчинів Fe-Cr-Al концентрація алюмінію в них зменшується, а окалиностійкість металу підвищується. При цьому, чим вища концентрація алюмінію в сплаві, тим менше відносне зниження його концентрації в процесі окиснення.

Підвищити технологічні властивості таких сплавів можна корегуванням хімічного складу, додатковим легуванням, мікролегуванням, модифікуванням тощо, але використання таких заходів не дає однозначної відповіді щодо зміни основної експлуатаційної характеристики – окалиностійкості.

Нами встановлено, що вироби із жаростійких середньовуглецевих сталей за вмісту в них 25...30% хрому мають високу окалиностійкість і можуть працювати тривалий час в агресивних середовищах за температур до 1100 °С.

Установлено, що додаткове легування хромистих сталей алюмінієм суттєво покращує їх окалиностійкість – витрати металу на утворення окалини в умовах високих температур суттєво зменшуються.

За результатами виконаних досліджень можна зробити висновок: для тривалої надійної експлуатації виробів за температур 1200-1300°С необхідно виконувати відношення  $[\%Cr] / [\%Al] = 6-10$ , тобто, за вмісту в сталі 25% хрому кількість алюмінію має складати не менше 4%, а для сталі з 30% хрому – не менше 2,0% алюмінію.

Саме таке співвідношення основних елементів сприяє утворенню на поверхні виробу ефективної захисної плівки.

Установлено, що підвищення вмісту алюмінію, як і для інших сталей цього класу, сприяє зниженню витрати металу на утворення окалини протягом різного часу випробовування.

Характер зміни окалиностійкості з підвищенням часу випробовування залишається без зміни, збільшується тільки маса зразка внаслідок продовження процесів окиснення металу. При цьому слід зазначити, що максимальне зниження окалиностійкості за тривалішого часу випробовування має місце для сталі без алюмінію, що ще раз підтверджує неможливість використання такого сплаву для виготовлення виробів, які тривалий час мають працювати за температур понад 1100 °С.

Установлено, що підвищення вмісту пари в повітрі до 25% (за об'ємом) майже втричі знижує окалиностійкість сталі з утворенням поруватої окалини, яка практично вся відшаровується від поверхні виробу внаслідок збільшення вмісту оксиду і закису заліза (матеріал викладено нижче), що інтенсифікує процес подальшого утворення окалини на поверхні виробу. Візуально встановлено, що оксидна плівка, яка утворилась на поверхні зразків в середовищі водяної пари, пориста й покрита дрібними виразками. Отже окиснення сплавів на основі заліза в присутності водяних парів, перш за все, пов'язано із структурою окалини, яка утворюється з великою кількістю оксиду та закису заліза.

Отже, окалиностійкість такої сталі з вмістом 3...4% алюмінію досить висока й з подальшим підвищенням його концентрації змінюється мало.

Окалиностійкість середньовуглецевих (0,25...0,35% С) хромоалюмінієвих жаростійких сплавів на основі заліза визначається оптимальним для конкретних умов експлуатації виробів вмістом основних легувальних елементів – хрому й алюмінію. Крім того, окалиностійкість цих сплавів залежить від технологічних процесів їх виплавляння: дугова чи індукційна піч, основна чи кисла футеровка тощо.

### Література

1. Федоров Г.Е., Ямшинский М.М., Платонов Е.А., Лютый Р.В.. Стальное литье: Монография / – К.: НТУУ «КПИ», ПАО «Випол», 2013. – 896 с.
2. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1965. – 315 с.