

**Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.**  
*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

**ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ В  
АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ В НИХ  
ХРОМУ ТА АЛЮМІНІЮ**

**E-mail:** yamshinskiy@ukr.net

До теперішнього часу ученим не вдавалося створити таку теорію окалинотворення, яку можна було б використати для багатьох випадків жаростійкого легування заліза різними елементами. За відносно низьких температур ступінь легування не справляє суттєвого впливу на окалинотійкість виробів. Проте за підвищених температур і достатньо інтенсивної дифузії деяких легувальних елементів у матричному металі на поверхні виробів може утворюватись захисний шар [1-3].

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 окалинотійкість його за сталих умов експлуатації знижується [2, 4].

Першопричиною такої інтенсивної корозії металів є їх термодинамічна нестійкість у різних середовищах за певних зовнішніх умов, тобто можливість спонтанного переходу металів у стійкіший (іонний) стан у результаті процесу окиснення. Під час окиснення твердих розчинів заліза, які вміщують елементи, що окиснюються інтенсивніше, ніж залізо, спостерігається збагачення окалини відповідними елементами за умови достатнього часу для здійснення дифузії. У результаті дифузії за відповідних умов окиснення може утворюватись захисний шар оксидів. Можливість збагачення окалини таким елементом у процесі її утворення визначається співвідношенням між швидкостями окиснення та дифузії. Для пояснення процесу окиснення металів і сплавів запропоновано декілька теорій [2].

Теорія Еванса [1] виходить із факту виникнення в оксидній плівці механічних дефектів. Ним неодноразово встановлено, що в оксидних плівках утворюються пори. Причиною утворення пор є дотичні, стискувальні напружини в оксидній плівці, які виникають у тому випадку, коли об'єм оксиду, що утворюється на металі, більший об'єму використаного на нього металу. Таким чином, у процесі окиснення потрійних твердих розчинів Fe-Cr-Al концентрація алюмінію в них зменшується, а окалинотійкість металу підвищується. При цьому, чим вища концентрація алюмінію в сплаві, тим менше відносне зниження його концентрації в процесі окиснення.

Окалинотійкість низьковуглецевих хромоалюмінієвих сплавів вивчено достатньо глибоко [2]. Проте вони не знайшли широкого використання в тех-

ніці високих температур, оскільки мають незадовільні технологічні властивості й малопродатні для виробництва фасонних жаростійких литих деталей. Крім того, ці сплави крихкі через крупнозернисту структуру, схильні до росту зерна за високих температур, мають низьку термостійкість.

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.

Автори робіт [1] стверджують, що окалиностійкість хромистих сталей можна підвищити додатковим легуванням їх алюмінієм. Для одержання максимальної інформації щодо зміни окалиностійкості цих сталей після додаткового легування їх алюмінієм досліджено його вплив в діапазоні концентрацій до 10% в сталях із вмістом 20% і 30% хрому та 0,28...0,32% вуглецю.

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°C 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 високоефективної 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.

Нами досліджено вплив різної концентрації водяної пари в перегрітому повітрі на окалиностійкість середньовуглецевої хромоалюмінієвої сталі з різним вмістом алюмінію (рис. 1). Кількість пари визначали за допомогою ротаметра.

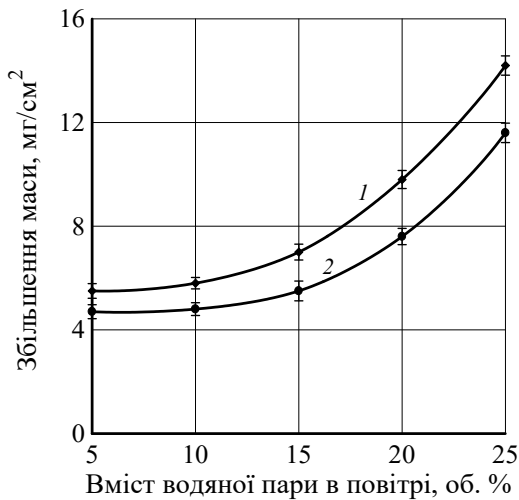


Рис. 1. Зміна окалиностійкості хромоалюмінієвої сталі (0,32% С; 30,2% Cr) залежно від вмісту водяної пари в перегрітому повітрі: 1 – 2,1% Al; 2 – 5,2% Al

сиду 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. Суттєве значення має й операція розливання розплаву у форми: необхідно експериментально визначати температуру розплаву залежно від складності литої деталі та товщини її стінок з урахуванням схильності сплавів до плівкоутворення.

#### Література:

1. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
2. Федоров Г.Е., Ямшинский М.М., Платонов Е.А., Лютый Р.В. Стальное литье: Монография / – К.: НТУУ «КПИ», ПАО «Випол», 2013. – 896 с.
3. Гудремон Э. Специальные стали. В 2-х томах, 2-е изд. – М.: Металлургия, 1966. Т.1. – 736 с.
4. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1965. – 315 с.