

Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.

(НТУУ «КПІ», м. Київ)

## ОКАЛИНОСТІЙКІСТЬ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ВМІСТУ ВУГЛЕЦЮ, ТИТАНУ ТА РЗМ

На довговічність литих деталей, що працюють в умовах високих температур, вирішальний вплив справляють процеси їх взаємодії з робочим середовищем. Найпоширенішим видом взаємодії є окиснення. Роль процесів окиснення з точки зору жаростійкості для сплавів на основі заліза величезна.

Авторами встановлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в жаростійких сталях їх окалиностійкість знижується, оскільки зменшується концентрація хрому в легованому фериті внаслідок витрат його на утворення карбідів, а отже скорочується кількість іонів хрому, які дифундують до поверхні виробу та утворюють захисну оксидну плівку  $Cr_2O_3$ . Унаслідок цього послаблюються загальні захисні властивості оксидної плівки навіть за умови відносно високої (1,5...2,0%) концентрації алюмінію в сталі.

З іншого боку необхідно брати до уваги, що підвищення вмісту вуглецю в сталях підвищує основну їх ливарну характеристику – практичну рідкотекучість – та дещо покращує механічні властивості, що для високолегованих сталей з крупнозерниною структурою дуже важливо.

Досліджено спільний вплив вуглецю в діапазоні концентрацій від 0,08 до 0,81% та титану – до 0,63% – на окалиностійкість хромоалюмінієвої сталі з вмістом 30% хрому та 2% алюмінію. Сприятливу дію титану на окалиностійкість можна пояснити тим, що окрім вивільнення частини хрому, який мав би утворювати карбіди, здійснюється утворення окалини за участю оксидів титану. Така оксидна плівка має високі захисні властивості. Крім того, легування сталі титаном, знижує дифузійну рухомість заліза в фериті й зменшує кількість його оксидів в окалині, яка утворюється на поверхні виробу. Це підтверджено мікροхімічним аналізом оксидних плівок: за вмісту 0,25% титану в сталі виявлено 0,5...0,6% його оксидів, а вміст оксидів заліза, в порівнянні з окалиною, яка утворюється на зразках із сталі без титану, зменшився з 2,35...2,60 до 1,60...1,75%.

Для хромоалюмінієвої сталі з середнім вмістом вуглецю (0,30...0,40%) оптимальною добавкою титану можна вважати 0,25...0,45%.

Досліджено окалиностійкість сталей, в яких вміст вуглецю змінювали від 0,08 до 0,88%. Дослідження виконували за температур 1200 та 1300 °С протягом 100 та 500 годин.

Установлено, що із збільшенням вмісту вуглецю в сталі її окалиностійкість знижується – утрати маси підвищуються. Це пов'язано з тим, що вуглець сприяє утворенню більшої кількості карбідів хрому, а твердий розчин – легований ферит – збіднюється хромом. Структура сталі стає неоднорідною, змінюється склад окалини, в ній зменшується кількість  $Cr_2O_3$  та знижуються її захисні властивості.

Разом з тим слід відзначити, що за вмісту вуглецю 0,25...0,30% окалиностійкість сталі практично не змінюється, оскільки витрати хрому на утворення карбідів невеликі, а склад захисної оксидної плівки залишається майже без змін. З підвищенням вуглецю до 0,35...0,45% на поверхні зразка утворюється менш щільна окалина, яка легко відшаровується, особливо в місцях виходу на поверхню карбідних груп, які порушують однорідність окалини, зменшують міцність її зчеплення з поверхнею металу та знижують рівень захисних властивостей окалини.

Такі ж залежності щодо окалиностійкості сталей з високим вмістом хрому та алюмінію, тільки з вищими утратами маси зразків, одержано після випробовувань за температури 1300 °С.

На підставі аналізу результатів проведених досліджень встановлено, що з підвищенням температури випробовувань окалиностійкість хромоалюмінієвої сталі дещо знижується, але вона залишається досить високою. З таких сталей можна виготовляти литі деталі, які бу-

дуть надійно працювати тривалий час за температур до 1300 °С за умови, що вміст титану буде знаходитися в межах 0,2...0,4%, а вуглецю – в межах 0,25...0,30%.

Рідкісноземельні метали (РЗМ) відомі як активні розкиснювачі, дегазатори, дефосфатори та десульфуратори сталі. Крім того, вони можуть зміцнювати й ущільнювати оксидну плівку, роблячи її стійкішою до процесів відшаровування під час теплових змін поверхні виробу. Оскільки РЗМ суттєво покращують ливарні та механічні властивості хромоалюмінієвих сталей й враховуючи різні тлумачення в технічній літературі щодо їх впливу на жаростійкість сталей, нами вивчено їх дію на основну експлуатаційну характеристику – окалинотійкість – сталі 30Х30Ю2ТЛ з невеликою різницею вмісту хрому. Присадку РЗМ здійснювали додаванням фероцерію до 1,0% за розрахунком.

Установлено, що присадки РЗМ до 0,30...0,35% дещо покращують окалинотійкість сталей, причому для сталі з вищим вмістом хрому таке покращання зберігається до присадки РЗМ 0,45%. Подальше підвищення вмісту РЗМ призводить до різкого погіршення окалинотійкості й за вмісту 1,0% РЗМ ця характеристика майже вдвічі гірша, ніж сталі без РЗМ.

Візуальним аналізом поверхні зразків, які вміщують різну кількість РЗМ, установлено, що в середовищі перегрітого повітря за температури 1200 °С утворюється щільна світла плівка на зразках з невисоким вмістом (до 0,25%) РЗМ.

З підвищенням вмісту РЗМ плівка темнішає внаслідок збіднення її оксидами алюмінію та утворення дрібних (для сталей з вмістом РЗМ 0,3...0,6%) й крупних і малих виразок.

Такий вплив РЗМ можна пояснити великим об'ємом їх атомів, а також утвореними фазами за участю РЗМ, які різко гальмують, а в деяких місцях блокують окремі ділянки поверхні, на яких можливе утворення дрібних виразок.

Результати досліджень дають можливість зробити висновок, що збільшення присадки РЗМ понад 0,3% зменшує вміст  $Al_2O_3$  в оксиді, а це, в свою чергу, впливає на зниження захисних властивостей оксидної плівки й призводить до зниження окалинотійкості. Такий вплив РЗМ можна пояснити більшим об'ємом атомів, які заповнюють порожнечі кристалічної ґратки оксидів і протидіють таким чином дифузії алюмінію до поверхні зразка. За вмісту РЗМ понад 0,6% на межі метал-оксид утворюється оксид  $SeO_2$ , який ще більшою мірою протидіє дифузії алюмінію до поверхні розділу оксид-газове середовище.

Зміна кольору з підвищенням вмісту РЗМ дає змогу встановити зменшення кількості  $Al_2O_3$  в окалині й появі в ній оксидів хрому та навіть заліза.

Підвищення вмісту РЗМ з 0,25 до 1,0% сприяє укрупненню феритного зерна, а понад 0,5% погіршує механічні властивості.

Виокремлення на межах зерен сполук РЗМ призводить до різкого погіршення окалинотійкості внаслідок розвитку міжкристалічної корозії. Окиснення металу починається в тому місці зразка, де знаходиться межа зерен або дефекти ґратки. Подальше окиснення відбувається вглиб зразка межами зерен з утворенням численних крупних і дрібних виразок.

Виокремлення тонких часточок оксиду в металевій фазі під час внутрішнього окиснення призводить до поверхневого зміцнення сплаву, утруднює рекристалізацію й ріст кристалів металу. Надзразкова окалина підвищує зчеплення із сплавом і цим сприяє покращанню термостійкості сплаву під час теплових змін виробу. Особливо ефективно діють у цьому напрямку церій та ітрій після додавання їх до хромоалюмінієвих сталей.

Таким чином установлено, що хромоалюмінієві сталі з урахуванням ливарних та механічних властивостей доцільно оброблювати РЗМ у кількості 0,15...0,25%, оскільки подальше підвищення його вмісту помітно знижує окалинотійкість сталей.