

**Ямшинський М.М., Федоров Г.Є., Радченко К.С.**

*(НТУУ «КПІ», м. Київ)*

## **ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ**

Основною характеристикою жаростійких сплавів для роботи в екстремальних умовах є їх окалинотійкість, тобто здатність матеріалу чинити опір утворенню окалини на поверхні виробу в умовах високих температур та агресивних середовищ. Проте, практикою експлуатації жаростійких деталей установлено, що вибір сплаву з високою окалинотійкістю є необхідним, але недостатнім для забезпечення тривалої роботи виробів, оскільки більшість деталей в умовах високих температур працюють з періодичними нагріваннями та охолодженнями, тобто піддаються теплостіям. Такі деталі виходять із ладу переважно через появу тріщин, які виникають внаслідок зміни температури виробу й накопичення термічних напружин, що перевищують допустимі для даних умов. Крім того, тривала експлуатація жаростійких деталей супроводжується зміною розмірів останніх.

Отже за сучасними уявленнями жаростійкість необхідно розглядати як три властивості металу: окалинотійкість, термостійкість і ростотійкість, а тому розроблення нових жаростійких сталей і сплавів слід виконувати з урахуванням цих характеристик.

Жаростійкі сплави вміщують у своєму складі багато хімічних елементів, кожний із яких по-своєму впливає на процес окиснення. Такі фактори, як геометрія деталі, напружини в умовах експлуатації, фазові зміни сплаву, спричинені витримками за різних температур, ще більше ускладнюють процеси пошуку нових матеріалів. Процеси окиснення сплавів визначаються складністю як самих сплавів, так і робочого середовища. Ці ж фактори справляють суттєвий вплив і на термостійкість.

Термостійкість сплавів, в основному, залежить від розмірів зерен [1]. Сплави, для яких характерне руйнування межами зерен, менш термостійкі, ніж сплави, в яких тріщини термічної втоми розвиваються в об'ємі зерен.

Характер руйнування деталей від термічної втоми дуже різноманітний і залежить від властивостей матеріалу та умов експлуатації.

Численні теоретичні та експериментальні роботи щодо термостійкості металів і сплавів, в яких наведено спроби зв'язати кількість циклів теплостійкості до руйнування деталі з фізичними та механічними властивостями сплавів і параметрами теплового циклу, не дають однозначної відповіді на питання щодо закономірностей розроблення термостійких сплавів.

Типовим характером руйнування від термічної втоми є розтріскування. Він притаманний для деталей теплоенергетичного устаткування, особливо жаростійким вузлам котельних установок, що пов'язано з різким коливанням температур деталей під час зміни теплового режиму роботи котельного агрегату, планових та аварійних зупинок теплоенергетичних блоків.

Таким чином під час розроблення нових жаростійких сплавів особливу увагу необхідно приділити забезпеченню матеріалу достатнього опору металу розвитку термічній втомі.

У роботі досліджено вплив хрому, алюмінію та титану на термостійкість хромистих сталей.

Хром підвищує термостійкість жаростійкої сталі внаслідок збільшення в її структурі феритної складової та зниження коефіцієнта лінійного розширення фериту. Крім того, феритна структура сталей, які леговані хромом, зменшує негативний вплив на термостійкість напружин II-го роду, які виникають під час  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  перетворення [2]. Стабілізуванням фериту під час нагрівання-охолодження та низьким коефіцієнтом лінійного розширення і пояснюється краща термостійкість феритної хромистої сталі в порівнянні з хромонікелевими сплавами на нікелевій та кобальтовій основах.

Залежність термостійкості (кількість циклів до руйнування зразка) сплавів від концентрації хрому можна описати фактично прямолінійною залежністю:

$$N_p = 20 + 1,5(Cr, \%)$$

Погіршення технологічності сталі та економічні розрахунки обмежують використання хрому на рівні 30...32%. Необхідно зауважити, що такий вміст хрому повною мірою забезпечує найважливішу характеристику сталі – окалиностійкість.

Установлено, що вміст алюмінію до 1,0% покращує термостійкість сталі внаслідок глибокого розкиснення сталі, збільшення стабільної феритної складової, очищення металу від газів і неметалевих включень. Такий вміст алюмінію дещо покращує відносно подовження, що в свою чергу призводить до покращання термостійкості. Подальше підвищення вмісту алюмінію в сталі сприяє зниженню термостійкості приблизно на 10...12% на кожний відсоток алюмінію через збільшення зерен фериту і послаблення міжзеренного зв'язку.

Порівнянням характеристик зміни термостійкості сталі та коефіцієнта лінійного розширення установлено, що термостійкість хромистої сталі з вмістом алюмінію понад 1,0% майже повною мірою визначається величиною коефіцієнта лінійного розширення. Отже для забезпечення високої термостійкості хромоалюмінієвої сталі з 30...32% хрому, вміст алюмінію необхідно обмежувати на рівні 1,0...1,5%, але для виробів, які працюють за температур вищих 1200 °С вміст алюмінію необхідно підвищувати до 2% з метою покращання її окалиностійкості.

Подрібнення структури та покращання термостійкості хромоалюмінієвої сталі можна досягти додатковим легуванням її титаном. Установлено, що за малих добавок титану (0,1...0,2%) спостерігається погіршення термостійкості сталі ( $\approx 10\%$ ) внаслідок забруднення металу продуктами розкиснення і послаблення міжзеренних зв'язків. Високі стабільні властивості хромоалюмінієва сталь набуває за вмісту титану в межах 0,3...0,5%, зберігаючи високу окалиностійкість металу.

#### Література:

1. Лютый В.А. Хромоалюминиевая сталь для отливок, работающих при переменных температурах до 1200 °С. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К.: КПИ, 1969. – 320 с.
2. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1964. – 672 с.