Выводы

1. Разработанная сталь 03Х22Ю5ФБч в сопоставлении со сталью 03Х23Ю5Т в отожженном состоянии имеет пониженную прочность и повышенную пластичность, что обеспечивает преимущества ее показателей в технологической пластичности.

2. Для повышения технологической пластичности проволок из обеих сталей рекомендована термическая обработка: нагрев до 760…775 °С с выдержкой 1 час, охлаждение в воде. Она позволяет завершить рекристаллизацию и предотвратить образование σ - фазы при охлаждении.

3. В производстве проволоки для нагревателей из фехралей безусловным является соблюдение технологической дисциплины при горячей и холодной пластической деформации и обязательного удаления технологической смазки. Как показали результаты наших исследований, любое нарушение технологического процесса негативно отражается на технологических и эксплуатационных показателях этих материалов.

Перечень ссылок

1. Электротермическое оборудование: справочник / под ред. А. П. Альтгаузена. – М. : Энергия, 1980. – 416 с.
2. Пат. 005068 Евразия, МКИ С 22С38/26. Жаростойкий сплав на основе железа / В. Г. Мищенко, В. В. Телин, С. В. Твердохлеб ; заявитель и патентообладатель ЧП «Миллениум». № 200200167 ; заявл. 27.09.2001 ; опубл. 24.04.2003, Бюл. № 4.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник в 3 т. Т. 2 / под ред. Н. П. Лякишева. – М . : Машиностроение, 1977. – 1024 с.
4. Баркая Д. С. Влияние некоторых факторов на склонность проволоки из сплавов системы Fe-Cr-Al к «язвенной» коррозии / Д. С. Баркая, К. П. Бикезин, Н. А. Горохова и др. // Сталь. – 1975. № 11. – С. 1032–1033.

Одержано 22.06.2010

V. G. Mishenko, I. N. Lazechniy, V. Yu. Lyakishev

ECONOMICALLY ALLOYED HIGH-TEMPERATURE STEELS FOR HEAT-TREATMENT FURNACE HEATERS

Досліджено вплив хімічного складу та технології металургійного перероблення на структуру та механічні властивості жаростійких сталей 03Х23Ю5Т та 03Х22Ю5ФБч. Виявлені причини пониженої технологічної пластичності дроту та незадовільної довговічності нагрівачів із цих сталей. Розроблені і перевірені заходи з усунення цих недоліків.

Ключові слова: *термічні печі, нагрівачі, довговічність, жаростійкість, технологічність, ніхром, фехраль.*

The influence of chemical composition and metallurgical reprocessing methods on high-temperature steels structure and mechanical properties is studied. The reasons of wire decreased technological plasticity and heaters poor service life made of these steels are also established. Measures concerning removal of disadvantages are worked out and proofed.

Key words: *heat-treatment furnace, heaters, service life, high-temperature strength, manufacturability, nichrome, fechral (high-temperature alloy of iron, chrome and aluminum).*

УДК 669.14.018.8

Канд. техн. наук О. В. Нестеров, канд. техн. наук О. В. Климов,
канд. техн. наук В. Л. Грешта

Національний технічний університет, м. Запоріжжя

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗШИРЕННЯ МАРОЧНОГО СКЛАДУ ФЕРИТНИХ КОРОЗО-ЖАРОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Наведено аналіз експериментальних даних по дослідженню показників жаростійкості і корозійної стійкості зразків з низькохромистих сталей феритного класу та встановлено рівень експлуатаційної стійкості реальних виробів зі сталей даного типу в умовах впливу агресивних середовищ і високих температур. Також запропоновані перспективи по розширенню марочного складу сталей феритного класу для вирішення більш широкого спектра матеріалознавчих завдань з урахуванням економічної доцільності.

© О. В. Нестеров, О. В. Климов, В. Л. Грешта, 2010

Ключові слова: *жаростійкість, корозійна стійкість, високохромистий ферит, оксидні плівки, феритостабілізатори.*

Процес окислення є одним із небажаних визначальних процесів, що відбувається під час експлуатації виробів і може викликати зниження працездатності (а в деяких випадках і аварії) відповідальних деталей машин та агрегатів. Особливо це має значення при експлуатації виробів в умовах комплексного впливу агресивного середовища і підвищених температур (550–1100 °С).

В роботі були проведені порівнювальні дослідження жаростійкості та корозійної стійкості економнолегованої сталі 08Х8СЮТч, сталі 08Х18Т1, корозійностійкої сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т та феритної сталі японського виробництва YUS409.

Сталі марок 12Х18Н10Т та 08Х18Т1 відзначаються достатньо високими значеннями показників жаростійкості [1], зокрема через утворення на поверхні металу щільних захисних плівок, які складаються переважно з оксидів хрому Cr_2O_3 або шпінелей $FeO{\cdot}Cr_2O_3$, $FeO(NiCr_2O_3)$ і характеризуються високою якістю зчеплення з матрицею. Кількісні результати випробувань жаростійкості як у повітряному середовищі, так і в середовищі відпрацьованих газів автомобіля показані на рис. 1, 2, а зовнішній вигляд зразків представлено на рис. 3, 4.

Результати досліджень свідчать про те, що за жаростійкістю сталь 08Х8СЮТч та сталі 12Х18Н10Т, 08Х18Т1 близькі між собою, тоді як сталь YUS 409D більш схильна до окислення. Такі показники жаростійкості сталі 08Х8СЮТч, яка має у складі суттєво меншу кількість хрому, мають своє пояснення. При окисленні цієї сталі до складу плівок, що утворюються, надходять оксиди Al_2O_3, SiO_2, а також більш складні з'єднання $FeO{\cdot}Al_2O_3$, $FeO{\cdot}SiO_4$, які в поєднанні з Cr_2O_3 та $FeO{\cdot}Cr_2O_3$ дозволяють суттєво покращити захисні властивості цих оксидних плівок та підвищити жаростійкість сталі. Жаростійкість сталі YUS 409D помітно нижча, оскільки концентрація хрому в її складі є недостатньою для утворення таких високоефективних окисних плівок, як у сталі 12Х18Н10Т або 08Х18Т1, а також за умов наявності в її хімічному складі лише незначної кількості кремнію, практично виключається ймовірність формування комплексних, захисних шпінельних з'єднань.

Відносно гірші показники жаростійкості у всіх сталей після випробувань у середовищі відпрацьованих газів автомобіля пов'язані з більш високою його агресивністю.

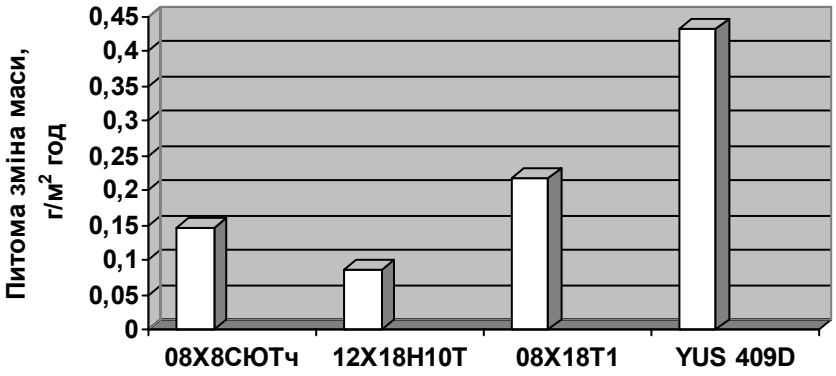

Рис. 1. Жаростійкість сталей, що досліджуються, в повітряній атмосфері при 700 °С, 200 годин

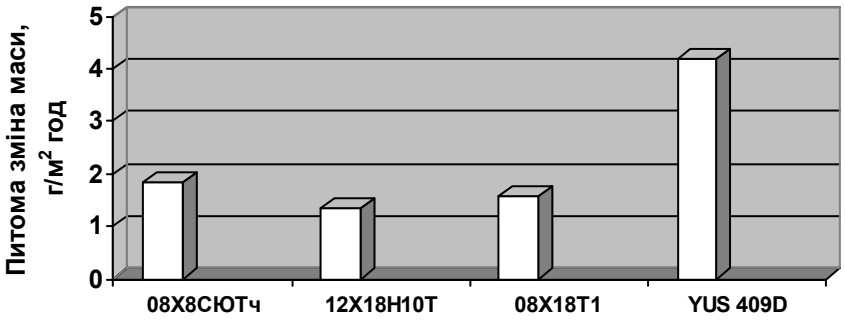

Рис. 2. Жаростійкість сталей, що досліджуються, в атмосфері відпрацьованих газів автомобіля при температурі 700 °С, 200 годин

Візуальний огляд поверхні зразків показав, що окалина на зразках жаростійкої сталі марки 08Х8СЮТч отримана рівною та щільною, як і на класичній аустенітній сталі 12Х18Н10Т. У той же час на зразках сталі YUS409 вона частково відшарувалась і сформувалася плямиста поверхня, незважаючи на більш високий вміст хрому (на 2–3 %) порівняно зі сталлю 08Х8СЮТч.

У свою чергу показники жаростійкості суттєво змінюються при коливаннях навіть у межах марочного складу, найкращі результати було зафіксовано у плавці, із вмістом Si = 1,23 %; Al = 0,96 %. Зменшення кремнію на величину порядку 0,2 % та алюмінію на 0,1 % вже збільшує питому зміну маси. У випадку збільшення кремнію вище 1,23 % на 0,3 % і подальшого зменшення алюмінію на 0,4 % проти 0,96 % втрата маси хоч і дещо зменшується, але не досягає такого рівня. Отже, оптимальним є вміст кремнію біля 1,2 % та алюмінію біля 1,0 %.

Отже, незважаючи на більш низький вміст хрому у зв'язку з легуванням сталі недефіцитним алюмінієм та кремнієм, а також мікролегуванням РЗМ та ЛЗМ, вдається різко підвищити окалиностійкість сталі навіть при 7–8 % хрому.

Порівняльні випробування корозійної стійкості дослідної сталі 08Х8СЮТч із відомими сталями як аустенітного (12Х18Н10Т), так і феритного (08Х18Т1, YUS409) класів, здійснювалися за різними методиками: в атмосферних умовах упродовж тривалого часу (до 5 років); стендові та експлуатаційні випробування глушників автомобілів (протягом 15 років); прискорені випробування зразків у камері сольового туману.

Отримані результати досліджень в атмосферних умовах та середовищі підвищеної агресивності засвідчують наявність лише окремих корозійних пошкоджень на зразках сталі 08Х8СЮТч, загальна площа яких завжди менша за 100 % загальної площі зразків (рис. 3).

Це можна вважати цілком достатнім для умов експлуатації виробів системи газовикиду автомобілів та інших деталей, таких як, наприклад, газоходи хлібопекарного обладнання.

Натурні випробування дослідних глушників автомобілів ЗАЗ-1102 та КРАЗ свідчать про практично необмежений ресурс працездатності. Це доводить, що сталь 08Х8СЮТч для виготовлення відповідних виробів є занадто легованою, у зв'язку з чим, перспективними можна було б вважати сталі, що містять 3–5 % хрому, а також Si та Al. Як відомо [2], сталь з 5,0 %Cr залишається окалиностійкою до 600–650 °С.

Таким чином, оптимізація базового складу(Fe-Cr-Si-Al) дозволить зменшити вартість матеріалу та збалансувати експлуатаційний ресурс корозійнонебезпечних вузлів автомобільної техніки з конструкцією в цілому, тобто розробка економнолегованого матеріалу, який містить 3–5 % Cr , є актуальною задачею.

В свою чергу, наявність задовільних показників жаростійкості сталі 08Х8СЮТч практично для всіх зазначених вище умов випробувань дозволяє припустити, що на базі даного матеріалу (при певній оптимізації хімічного складу) можуть бути створені сталі з більш високими температурами експлуатації на рівні (1000–1100) °С.

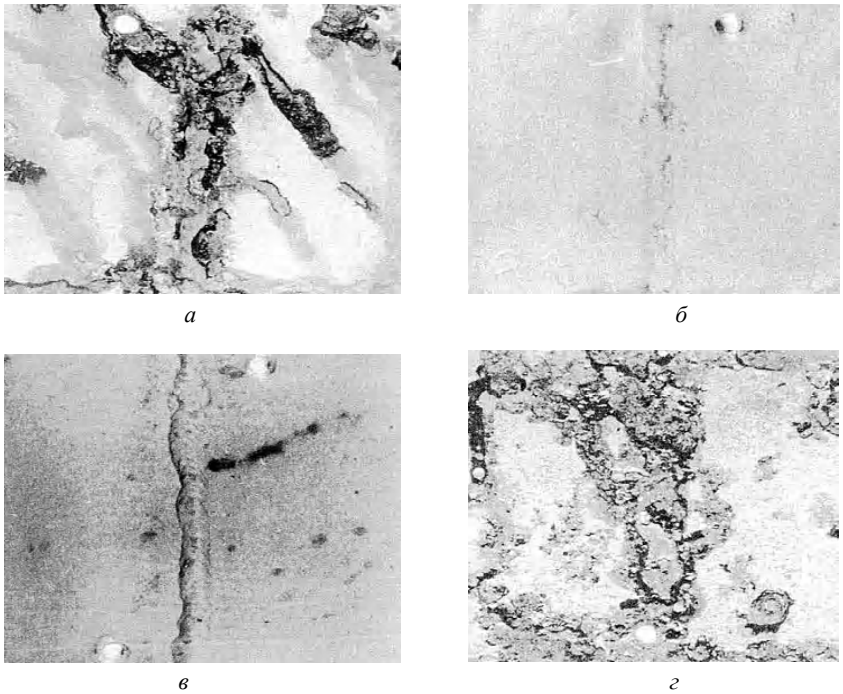

Рис. 3. Зовнішній вигляд зразків різних марок сталей після випробувань на корозійну стійкість в атмосферних умовах:

а – сталь марки 08Х8СЮТч; *б* – сталь марки 12Х18Н10Т; *в* – сталь марки 08Х18Т1; *г* – сталь марки YUS409

Для виготовлення малонавантажених виробів, що експлуатуються при температурах 700–1000 °С із одночасним впливом агресивного середовища може бути запропоновано сталь, що містить Cr 14–16 % та є додатково легованою Si, Al, V та Nb. Загальний принцип вибору комплексу легувальних елементів полягає у вирішенні задачі забезпечення захисту поверхні від високотемпературного окислення шляхом створення кремнієвих і алюмінієвих оксидних плівок та формування однофазної структури високохромистого фериту (ВХФ) завдяки присутності феритостабілізаторів V та Nb, що у свою чергу повинно сприяти зменшенню швидкості розвитку електрохімічної корозії. Введення карбідоутворювальників V та Nb також здійснено з метою зменшення ймовірності розвитку $\alpha' \to \gamma$ перетворення в зерномежових об'ємах структури через зв'язування аустенітостабілізувальних елементів C та N у стійкі карбідні сполуки дисперсного розміру.

Водночас, в енергомашинобудуванні існує потреба у створенні однофазних корозо-жаростійких матеріалів із певним запасом жароміцності для виготовлення виробів, що експлуатуються при температурах 800–1000 °С із одночасною дією статичних і динамічних навантажень. У цьому випадку при розробленні нового матеріалу може бути використано композицію Fe-Cr-Si-Al із додатковим введенням тугоплавких феритостабілізаторів W, Mo, V та Nb у розрахунковій кількості відповідно до вдосконаленої діаграми Шеффлера [3] на рівні 0,6–0,8 %W; 0,6–0,8 % Mo; 0,7–1,0 % V; 0,5 % Nb. Введення ванадію в більшій кількості (порівняно з вольфрамом та молібденом) обумовлено його більш сильною феритоутворювальною дією (коефіцієнт стабілізації фериту ванадію $Кф = 5$) порівняно з вольфрамом та молібденом із відповідними значеннями коефіцієнта стабілізації фериту ($Кф$(W) = 0,75 та $Кф$(Mo) = 1,5) та меншою різницею в радіусах атомів відносно заліза, що є важливим при розгляді питань технологічності матеріалу при формозмінювальних операціях. При відповідній схемі легування феритоутворювальними елементами вміст хрому може бути зменшений до Cr 8 % при відсутності поліморфізму навіть в зерномежових зонах.

Подальше вдосконалення системи легування може надати можливість використовувати сталі феритного класу і при більш високих температурах. Оптимістичні прогнози можна вважати цілком коректними, оскільки відомо про величезний практичний досвід використання фехралів (типу Х25Ю5) до температур близьких 1350 °С. Проте при виборі схеми легування слід виходити з позицій забезпечення необхідного рівня технологічності як при виготовленні самих матеріалів так і виробів із них.

Перелік посилань

1. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей, сплавов и чистых метал лов : справочник / Д. Г. Туфанов. – М. : Металлургия, 1990. – 319 с.
2. Талов Н. П. Экономлегированные коррозионностойкие хромистые стали для глушителей автомобилей / Н. П. Талов, Н. В Андрушова., В. В Михеєва // Материалы 4 Всесоюзной науч.-техн. конф. «Новые конструкционные стали и сплавы методы их обработки для повышения надежностии долговечности изделий». – Запорожье, ЗМИ. – 1989. – С. 149–150.
3. Пикеринг Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей [пер. с англ.] / Ф. Б. Пикеринг. – М. : Металлургия, 1982. – 183 с.

Одержано 01.07.2010

O. V. Nesterov, O. V. Klimov, V. L. Greshta

PROSPECTS OF FERRITE CORROSION- AND HEAT-RESISTANT STEELS GRADE COMPOSITION WIDENING FOR THE DECISION OF POWER MACHINE BUILDING PRACTICAL TASKS

Приведен анализ экспериментальных данных по исследованию показателей жаростойкости и коррозионной стойкости образцов из низкохромистых сталей ферритного класса, а также установлен уровень эксплуатационной стойкости реальных изделий из сталей данного типа при одновременном влиянии высоких температур и агрессивной среды. Также предложены перспективы по расширению марочного состава сталей ферритного класса для решения более широкого спектра материаловедческих задач с учетом экономической целесообразности.

Ключевые слова: *жаростойкость, коррозионная стойкость, высокохромистый феррит, оксидные пленки, ферритостабилизаторы.*

The research experimental data analysis of heat-resistance indices and the corrosion resistance samples with low-chrome ferrite steels is given. The level of real product service durability made from the given steel type in the conditions of the corrosive medium influence and high temperatures is determined. The prospects of ferrite grade composition widening for wider ranged material science subject's tasks decision taking into consideration economical advisiability are proposed.

Key words: *heat-resistance, corrosion resistance, high-chrome ferrite, oxide film, ferrite stabilizer.*