

РОМАНЕЦЬ В.М., ФЕДОРОВ Г.Є.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

ПІДВИЩЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИВАРНИХ
ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ МІКРОЛЕГУВАННЯМ І
МОДИФІКУВАННЯМ

E-mail: romanec1994@mail.ru

АНОТАЦІЯ. У роботі представлено методи підвищення спеціальних властивостей хромоалюмінієвих сталей з високим вмістом хрому мікролегуванням і модифікуванням, вдосконалено методики визначення ливарних і механічних властивостей сплавів на основі заліза, які забезпечують високі відтворюваність і достовірність результатів. Установлено оптимальні режими виплавлення хромоалюмінієвих сталей та визначено доцільність використання ітрію, кальцію та ванадію для покращання якості виливків.

Для забезпечення високої окалиностійкості виробів, які працюють за високих температур в агресивних середовищах, визначено оптимальні концентрації хрому та алюмінію залежно від робочої температури виробу.

Установлено оптимальний вміст ітрію в сталі, за якого сталь набуває кращих експлуатаційних властивостей із мінімальним збільшенням маси.

Досліджено окалиностійкість сталі, яка в своєму складі вміщує такі модифікувальні елементи як ітрій, кальцій та ванадій. Установлено їх концентрації в сплаві, вироби з якого набувають найкращих експлуатаційних властивостей.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сталь, технологічний процес, хром, мікролегування, модифікування, ливарні та спеціальні властивості, жаростійка сталь, температура

Ливарні середньовуглецеві хромоалюмінієві сталі відносять до матеріалів, з яких виготовляють литі деталі, що працюють в умовах високих температур та агресивних середовищ. Технологічні властивості цих сталей (ливарні й механічні, оброблюваність, зварюваність) вивчено досить досконало [1,2]. Щодо спеціальних властивостей, тобто таких, що проявляють себе під час експлуатації виробів (окалиностійкості, термостійкості, ростостійкості) в літературі даних дуже мало. Знання цих характеристик дасть змогу обґрунтовано вибрати сталі для використання цього матеріалу в конкретних галузях як з урахуванням умов експлуатації деталей, так і з урахуванням ливарних властивостей на підставі визначення співвідношення основних елементів, які входять до складу сталей.

Хром та алюміній є основними легувальними елементами, які забезпечують високу окалиностійкість сталей, тобто надають металу властивості протистояти за високих температур хімічній дії – окисненню в різних газових середовищах [3]. Роль цих елементів полягає насамперед у тому, що вони змінюють склад, структу-

ру та властивості окалини, яка утворюється на поверхні виробу, а отже, й швидкість окиснення. Проте дотепер не встановлено оптимальне співвідношення цих елементів, за якого утворювалась би стабільна, міцна та щільна захисна плівка, що забезпечувала б максимальну окалиностійкість і тривалу роботу виробів.

Для визначення оптимальних концентрацій хрому та алюмінію вивчено окалиностійкість сталей з вмістом вуглецю (0,25...0,35%), хрому – від 17 до 37% та алюмінію – від 2 до 4%. Зразки діаметром 10 мм і довжиною 20 мм випробовували в трубчастій печі за температури 1200 °С протягом 100 год. Окалиностійкість визначали в атмосфері перегрітого повітря та інших газових середовищах, в яких працюють жаростійкі вироби.

Установлено, що збільшення вмісту алюмінію суттєво підвищує окалиностійкість усіх досліджених сталей, тобто зменшує приріст маси зразка. Для забезпечення високої окалиностійкості (4...6 мг/см² за 100 год) сталь має вміщувати 28...32% хрому та 2...4% алюмінію. Подальше підвищення алюмінію не сприяє помітному покращанню окалиностійкості в наведених

умовах, але знижує ливарні та механічні властивості сталей. Збільшення концентрації алюмінію до 5% можна рекомендувати тільки для підвищених робочих температур (до 1300 °С) і для виготовлення виливків простої конфігурації, які працюють без навантажень.

Дослідженням кінетики окиснення сталі, структури та складу оксидних плівок установлено, що в сплавах системи Fe-Cr-Al на початку окиснення (перші 10...15 хв) на поверхні виробу утворюється шар оксидів, вміст металів в яких приблизно відповідає хімічному складу сталі. Під час «інкубаційного» періоду (20...10 хв) із металу в окалину дифундують алюміній, який має високу дифузійну здатність і термодинамічну активність, і меншою мірою хром. Відносна кількість фаз, яка утворюється на початку окиснення, починає змінюватися в бік збільшення кількості оксидів Al_2O_3 та Cr_2O_3 . Остаточне співвідношення цих оксидів в окалині після завершення «інкубаційного» періоду залежить від вмісту хрому й алюмінію в сталі та температури робочого середовища.

Сталі, які утворюють на поверхні виробу захисний оксидний шар переважно з Al_2O_3 , мають найвищу окалиностійкість, їх можна використовувати для виготовлення литих деталей, які працюють за температур до 1300 °С.

З метою вивчення окалиностійкості сталей в газових середовищах із вмістом 45% CO_2 і 45% H_2O (у вигляді пари), досліджено зразки високохромистої середньовуглецевої сталі, легованої алюмінієм до 3,5%.

Установлено, що із збільшенням вмісту алюмінію окалиностійкість сталі зростає в усіх досліджених середовищах. Проте найменшу окалиностійкість має сталь в атмосфері вологого повітря, найвищу – в атмосфері вуглекислого газу. Окалиностійкість такої сталі в перегрітому повітрі посідає проміжне значення.

Незважаючи на те, що процеси взаємодії елементів сталі з окиснювальними середовищами різні, склад і структура оксидних плівок практично однакові, хоча вміст оксидів заліза в окалині збільшується тільки на 1,0...1,5%. Окалина здебільшого складається до 90% з Al_2O_3 .

Отже, хромоалюмінієві сталі з вмістом 25...30% хрому та 2,0...3,5% алюмінію мають високотемпературну корозійну стійкість у середовищах, які вміщують вуглекислий газ і водяну пару. Вироби, виготовлені із таких сталей, можуть працювати в наведених умовах за температур до 1200 °С тривалий час.

Підвищити спеціальні властивості хромоалюмінієвих сталей можна мікролегуванням і модифікуванням.

Мікролегування – це процес додавання в металевий розплав невеликих (до 0,1%) присадок легувальних елементів для зміни властивостей металу в рідкому стані та у виробі, оскільки вони ефективно впливають, перш за все, на чистоту меж зерен і зменшують шкідливий вплив легкоплавких домішок на властивості жаростійких сталей.

Модифікування в сучасному сталеливарному виробництві відіграє надзвичайну роль, оскільки значною мірою визначає характер кристалізації сталі, ступінь її гранулярності, що дуже важливо для високолегованих сплавів, підвищує комплекс їх механічних і спеціальних властивостей.

Як мікролегувальні присадки та модифікатори досліджено ітрію – до 0,06%; кальцій – до 0,08% і ванадій – до 0,45%.

Установлено, що добавки ітрію до 0,04% суттєво підвищують окалиностійкість сталі (рис. 1). Подальше підвищення ітрію мало справляє позитивний вплив на цю експлуатаційну характеристику. Вплив ітрію на механічні властивості сталей за високих температур показано на рис. 2.

Максимального значення тимчасового опору розриванню – до 120 МПа – за температури 800 °С сталь набуває після присадки 0,04% ітрію, а за температури 1000 °С – до 65 МПа – після присадки 0,06% ітрію. Максимальне значення –12% – відносного подовження сталь набуває за температури 800 °С після присадки ітрію 0,04%, а за температури 1000 °С – 28% – за вмісту ітрію 0,06%.

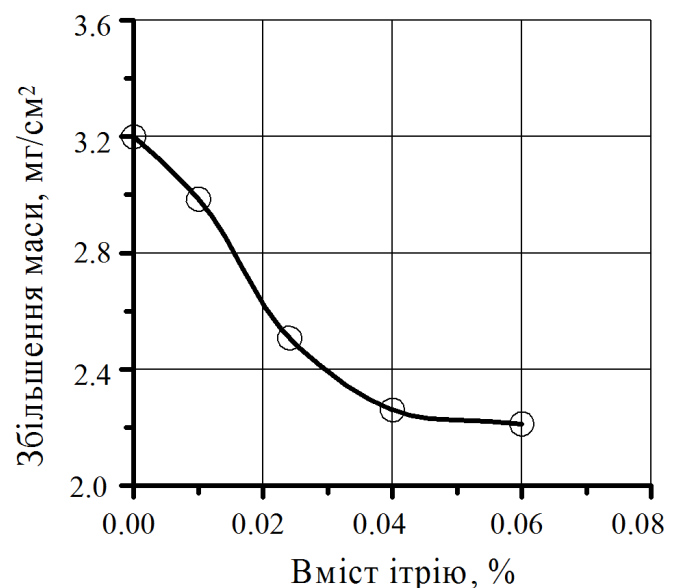


Рис. 1. Окалиностійкість сталі 30Х30Ю2ТЛ залежно від вмісту ітрію

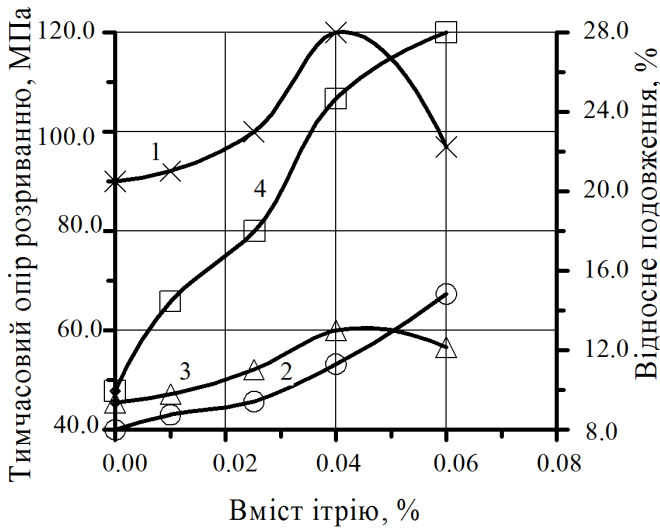


Рис. 2. Зміна тимчасового опору розриванню та відносного подовження залежно від вмісту ітрію в сталі 30X30Ю2ТЛ: 1 - σ_B за 800 °C; 2 - σ_B за 1000 °C; 3 - δ за 800 °C; 4 - δ за 1000 °C

Кальцій у кількості до 0,01% майже на 50% підвищує окалиностійкість сталі (рис. 3) внаслідок подрібнення структури металу, зменшення кількості та зміни форми й морфології неметалевих вкраплин через високу спорідненість до кисню, сірки й азоту. Така дія кальцію підвищує також міцність сталей за високих температур (рис. 4).

Так, підвищення тимчасового опору розриванню за температури 800 °C з 70 до 195 МПа має місце за вмісту кальцію 0,06%, а за температури 1000 °C від 35 до 60 МПа – за вмісту кальцію 0,05...0,08%. Відносне подовження за температури 800 °C досягає максимального значення за вмісту кальцію 0,08% і дорівнює 13%, а за темпе-

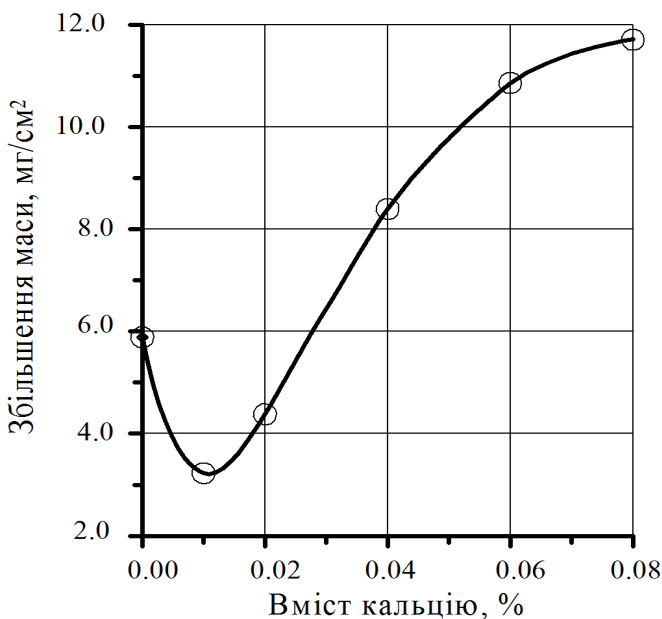


Рис. 3. Окалиностійкість сталі 30X30Ю2ТЛ залежно від вмісту кальцію

ратури 1000 °C і вмісту кальцію 0,06% – становить 32%.

Присадки ванадію до 0,2% дещо підвищують окалиностійкість сталі (рис. 5), тимчасовий опір розриванню та відносне подовження (рис. 6). Подальше збільшення вмісту ванадію в сталі призводить до погіршення її окалиностійкості.

ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення високої окалиностійкості виробів, які працюють за високих температур в агресивних середовищах, концентрація хрому в металі має бути не менше 28%, а вміст алюмінію – від 2,0 до 3,5% залежно від робочої температури виробу.

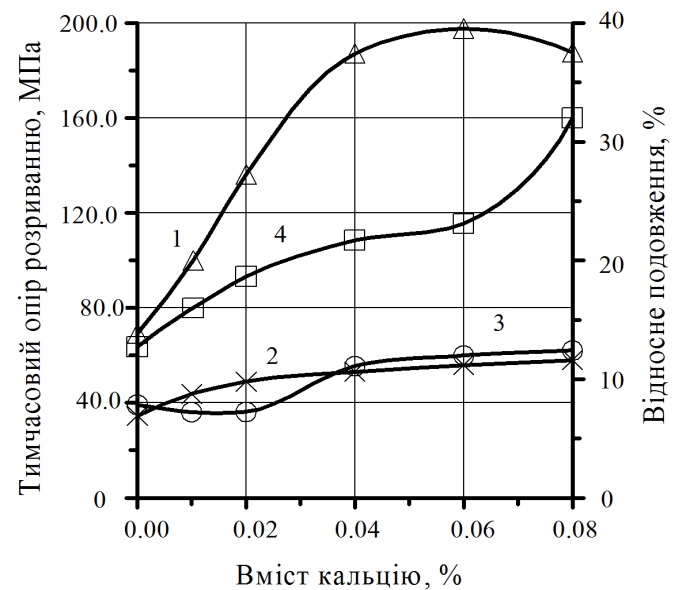


Рис. 4. Зміна тимчасового опору розриванню та відносного подовження залежно від вмісту кальцію в сталі 30X30Ю2ТЛ: 1 - σ_B за 800 °C; 2 - σ_B за 1000 °C; 3 - δ за 800 °C; 4 - δ за 1000 °C

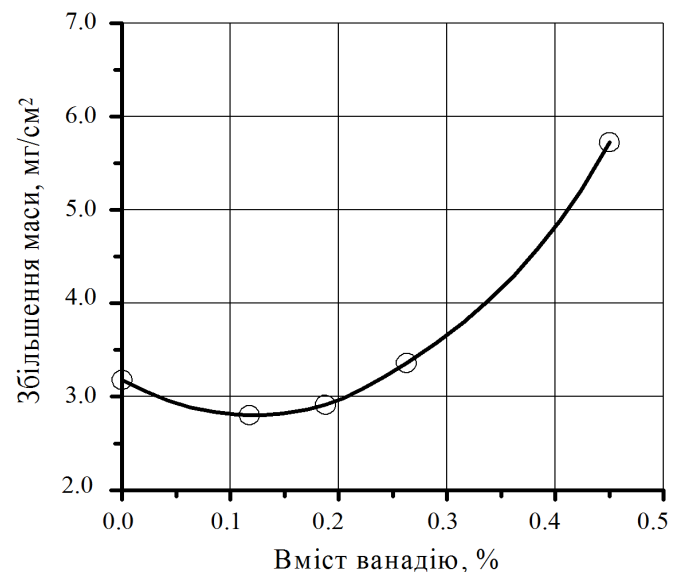


Рис. 5. Зміна окалиностійкості сталі 30X30Ю2ТЛ залежно від вмісту ванадію

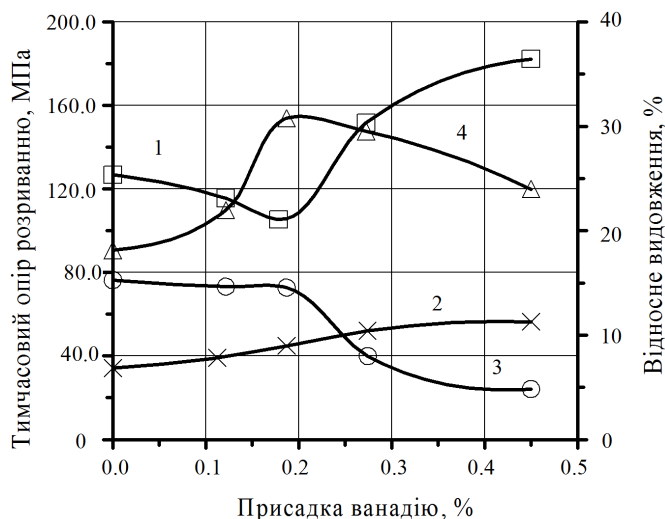


Рис. 6. Залежність тимчасового опору розриванню та відносного подовження від вмісту ванадію в сталі 30Х30Ю2ТЛ: 1 – σ_B за 800 °С; 2 – σ_B за 1000 °С; 3 – δ за 800 °С; 4 – δ за 1000 °С

2. Оптимальний вміст ітрію в сталі має складати 0,04...0,06%. За такого вмісту ітрію сталь набуває кращих експлуатаційних властивостей із мінімальним збільшенням маси.

3. Для високої окалиностійкості сталь має вміщувати біля 0,01% кальцію, при цьому підвищуються механічні властивості за високих температур.

4. Присадки ванадію до 0,2% справляють позитивний вплив на властивості сталі, а саме: підвищують її окалиностійкість, тимчасовий опір розриванню та відносне подовження. Подальше збільшення вмісту ванадію в сталі призводить до погіршення її окалиностійкості та відносного подовження.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Федоров Г. Е. Технологические свойства литейных жаростойких хромоалюминиевых сталей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – К., 1977. – 208 с.
2. Ямшинський М. М. Вдосконалення технології виплавлення жаростійких хромоалюмінієвих сталей / М. М. Ямшинський // Металознавство та обробка металів. – 2003, №1. – С. 42...43.
3. Хромоалюминиевые стали для изготовления жаростойких деталей теплоэнергостроения. / Лютый В.А., Платонов Е.А., Федоров Г.С., Кузьменко А.Е. // Литейное производство. – 2001, № 4. С. 13...15.
4. Акимов П. В. Учение о коррозии и защита металлов / П. В. Акимов. – М.: Металлургиздат, 1949. – 170 с.
5. Францевич И. Н. Высокотемпературное окисление металлов и сплавов / И. Н. Францевич, Р. Ф. Войтович, В. А. Лаврененко – К.: Гостехиздат, 1963. – 102 с.
6. Корнилов И. И. Железные сплавы. – Т.1. / И. И. Корнилов – М.: Изд-во АН СССР, 1945. – 192 с.
7. Бенар Ж. Окисление металлов. Теоретические основы / Ж. Бенар – М.: Металлургия, 1968. – 499 с.
8. Никитин В. Н. Расчет жаростойкости металлов / В. Н. Никитин – М.: Металлургия, 1976. – 208 с.
9. Повышение специальных свойств жаростойких хромоалюминиевых сталей микролегированием и модифицированием / М.М. Ямшинский, Г.Е. Федоров, Е.А. Платонов, А.Е. Кузьменко, В.С. Назаренко // Вісник ДДМА. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – №1 (15). – С. 220...225.
10. Гудремон Э. Специальные стали. – Т.1. – М.: Металлургия, 1966. – 736 с.