

## **СПЕЦІАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИВАРНИХ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ**

**М.М. Ямшинський, аспірант Г.Є. Федоров, кандидат технічних наук**

**Є.О. Платонов, старший науковий співробітник**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”**

Ливарні середньовуглецеві хромоалюмінієві сталі відносять до нових матеріалів, з яких виготовляють литі деталі, що працюють в умовах високих температур і агресивних середовищ. Технологічні властивості цих сталей (ливарні і механічні властивості, оброблюваність, зварюваність, прокатуваність) вивчені досить досконало, а спеціальні, тобто такі, що проявляють себе під час експлуатації виробів (окалиностійкість, термостійкість, електроопір та ін.) практично не вивчені. Знання цих характеристик дозволить обґрунтовано вибрати відповідні галузі використання цього матеріалу як з урахуванням умов експлуатації так і з урахуванням ливарних властивостей на підставі визначення співвідношення основних компонентів, що входить до складу сталей.

В роботі поставлені такі задачі:

- вивчити окалиностійкість сталей в різних середовищах: в атмосфері повітря, при наявності в газовому середовищі вуглекислого газу та водяної пари;
- визначити характер зміни теплопровідності та електропровідності в залежності від хімічного складу хромоалюмінієвих сталей.

Хром і алюміній є основними легувальними елементами, які забезпечують високу окалиностійкість сталей, тобто надають металу властивості протистояти при високих температурах хімічній дії – окисленню в різних газових середовищах [1]. Роль цих елементів полягає насамперед у тому, що вони змінюють склад, структуру і властивості окалини, яка утворюється на

поверхні виробу, а, отже, і швидкість окислення. Проте до цих пір не встановлене оптимальне співвідношення цих елементів, при якому утворюється стабільна, міцна і щільна захисна плівка, яка забезпечувала б максимальну окалиностійкість виробів.

Для визначення оптимальних концентрацій хрому і алюмінію вивчена окалиностійкість сталей з середнім вмістом вуглецю (0,25...0,35%), хрому – від 17 до 37% та алюмінію – від 1 до 7%. Випробування зразків діаметром 10 мм та довжиною 20 мм здійснювали у трубчастій печі при температурі 1200°C протягом 100 год. Окалиностійкість визначали в атмосфері повітря та інших газових середовищах, в яких працюють жаростійкі вироби.

На рис.1 наведена зміна маси зразків в залежності від вмісту алюмінію в хромистих сталях. Аналіз результатів показує, що збільшення вмісту алюмінію різко підвищує окалиностійкість всіх досліджених сталей (зменшує приріст маси). Для забезпечення достатньо високої окалиностійкості (збільшення маси на 4...6 мг/см<sup>2</sup> за 100 год.) сталь повинна вмістити 25...27% хрому і 2...4% алюмінію. Подальше підвищення алюмінію не сприяє помітному покращанню окалиностійкості в наведених умовах, знижує ливарні та механічні властивості сталей. Збільшення концентрації алюмінію можна рекомендувати тільки для підвищення робочої температури та при виготовленні виливків простої конфігурації.

Мінімальна кількість хрому в сталі для утворення захисної оксидної плівки Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на поверхні виробу, повинна бути не менше 18...20%.

Рентгенографічним і мікрохімічним аналізами оксидів, які утворюються на поверхні виробу, встановлено, що сталь, легована 17% Cr і 2...4% алюмінію не може бути використана для виготовлення литих деталей, які працюють при температурах вищих 1000°C, оскільки окалина, утворена на поверхні виробів із такої сталі, вмістить велику кількість заліза у складі шпінелі FeO·Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, окрім краплин оксидів Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Захисні властивості такої плівки значно гірші, ніж плівки на основі α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> або шпінелі CrO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

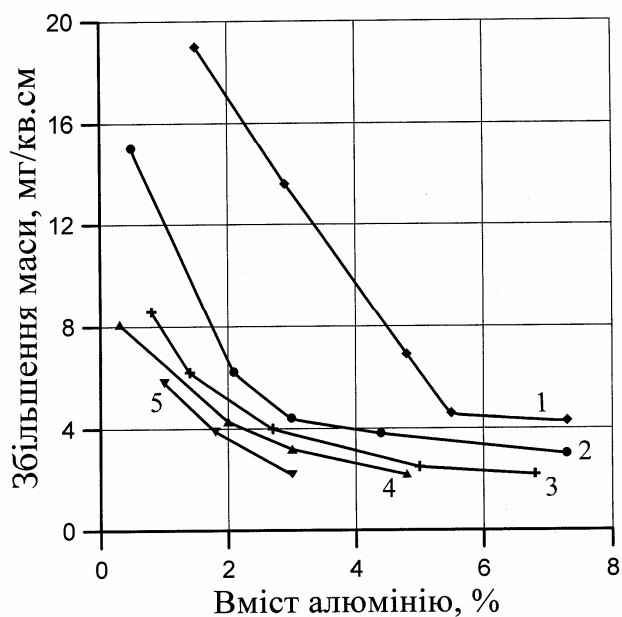


Рис. 1. Окалиностійкість хром-алюмінієвих сталей (умови випробування: 1200°C, повітря, 100 год): 1 – 17% Cr; 2 – 22% Cr; 3 – 25% Cr; 4 – 29% Cr; 5 – 37% Cr

Збільшення вмісту алюмінію в сталях до 3% призводить до різкого зниження швидкості окислення металу, при цьому суттєво змінюється час „інкубаційного” періоду окислення: 2,5 год. – для сталі без алюмінію; 1,5 год. – для сталі з 1% алюмінію і 0,4 год. – для сталі з 3% алюмінію. Змінюється і закономірність окислення. Якщо для сталі 30X25Л окислення здійснюється за законом, що наближається до параболічного, то для сталі 30X25Ю3Л більш справедливим є логарифмічний закон.

Вивчення кінетики окислення сталі, структури і властивостей оксидних плівок показали, що у сплавів системи Fe-Cr-Al на початку окислення (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 утворилася на початку окислення, починає змі-

Дослідження оксидів, утворених на поверхні виробів із сталей з 25...30% Cr і 2...3% Al, показують, що захисна плівка складається на 95...97% з оксидів  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. На внутрішній поверхні плівки, тобто на межі розділу „метал-оксид”, виявлено підвищений вміст оксиду Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та до 1,0...1,5% оксидів заліза. Така оксидна плівка має високі захисні властивості і вироби тривалий час можуть працювати при температурах до 1250°C.

Дослідженнями кінетики окислення встановлено, що під-

нюватися у бік збільшення кількості оксидів  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Остаточне співвідношення цих оксидів в окалині після завершення „інкубаційного” періоду залежить від вмісту хрому і алюмінію в сталі та температури середовища.

Найкраще захищає поверхню виробу від окислення при високих температурах плівка, яка складається:

- з  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  з внутрішніми оксидними часточками  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - при високому вмісті хрому ( $> 24\%$ ) і низькому – алюмінію (не більше  $1,5\%$ );
- з шпінелі  $(\text{Al}, \text{Cr})_3\text{O}_4$  з часточками оксидів заліза і хрому та їх розчинів – при високому вмісті в сталі хрому ( $> 25\%$ ) і алюмінію – від  $1,5$  до  $3,0\%$ ;
- з  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  – при високому вмісті хрому ( $> 27\%$ ) та алюмінію ( $> 3\%$ ).

Сталі, які утворюють на поверхні виробу захисний оксидний шар  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , мають найвищу окалиностійкість, їх можна використовувати для виготовлення литих деталей, які працюють при температурах до  $1300\text{...}1350^\circ\text{C}$ .

Під час спалювання палива (наприклад, на теплових електростанціях) утворюється суміш газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (пара) і  $\text{N}_2$ . На металеві матеріали кожний із цих газів (або їх суміші) діє більш агресивно, ніж перегріте повітря.

З метою вивчення окалиностійкості в атмосфері  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  (пари) випробувані зразки хромистої середньовуглецевої сталі легованої алюмінієм до  $5\%$ .

Результати досліджень наведені на рис.2.

Із збільшенням вмісту алюмінію окалиностійкість хромистої сталі зростає в усіх досліджених середовищах.

Незважаючи на те, що процеси взаємодії елементів сталі з окислювальними середовищами різні, склад і структура оксидних плівок практично однакові. Вміст оксидів заліза в окалині збільшується тільки на  $1,0\text{...}1,5\%$ . Окалина складається на  $90\text{...}95\%$  з  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Отже хромоалюмінієві сталі з вмістом  $1,5\text{...}3,5\%$  алюмінію мають високотемпературну корозійну стійкість в середовищах, які вмістять вуглекислий газ і водяну пару. Вироби, виготов-

лені із таких сталей, можуть працювати в наведених умовах при температурах до 1250°C.

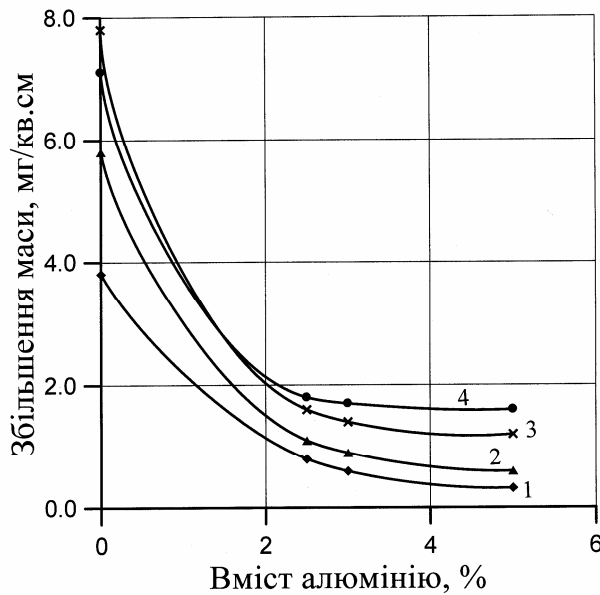


Рис. 2 Окалиностійкість сталі 30Х25Л в різних середовищах (умови випробовування: 1200°C, 100 год.): 1 – повітря; 2 – повітря + 25% Н<sub>2</sub>О; 3 – повітря + 45% СО<sub>2</sub>; 4 – повітря + 45% Н<sub>2</sub>О

ковий корозії, наявність якої стає особливо помітною після тривалих випробовувань. Проте в умовах теплосмін окалина, що утворюється на виробках, виготовлених із сталі з РЗМ, має краще зчеплення з поверхнею металу, що гальмує її сколювання.

Розшифровування хімічного і фазового складу оксидних плівок на сталях, оброблених рідкоземельними металами, утруднене через невелику кількість оксидів РЗМ і складність їх ідентифікації. Можна відзначити тільки непряму дію РЗМ у формуванні оксидного шару – деяке зниження оксидів заліза в окалині.

Оскільки рідкоземельні метали (РЗМ) суттєво покращують ливарні і механічні властивості хромоалюмінієвих сталей і враховуючи різні тлумачення в технічній літературі щодо впливу РЗМ на жаростійкість сталей вивчено їх вплив на окалиностійкість сталі 30Х30Ю2ТЛ.

Установлено, що присадка до 0,2...0,25% РЗМ практично не впливає на окалиностійкість хромоалюмінієвої сталі, рис.3.

Оброблення сталі більшою кількістю РЗМ знижує окалиностійкість сталі внаслідок збільшення місць розташування точкової корозії, наявність якої стає особливо помітною після тривалих випробовувань.

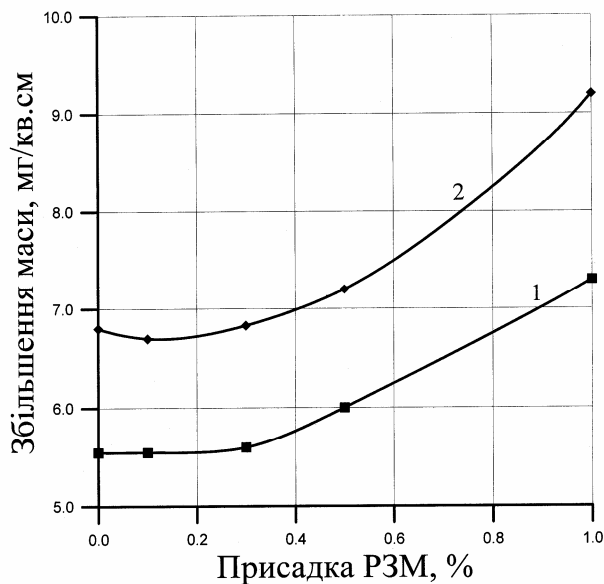


Рис. 3. Вплив РЗМ на окалиностійкість сталі 30Х30Ю2ТЛ (умови випробовування: 1200°С, 100 год.): 1 – повітря; 2 – повітря + 45% Н<sub>2</sub>О (пара)

алюмінію на теплопровідність та електропровідність хромоалюмінієвих сталей в діапазоні концентрацій хрому від 13 до 27% та алюмінію – до 1,42%. Вивчення характеристик здійснювали за методикою [2] в інтервалі температур 20...1000°С. Результати досліджень наведені на рис.4.

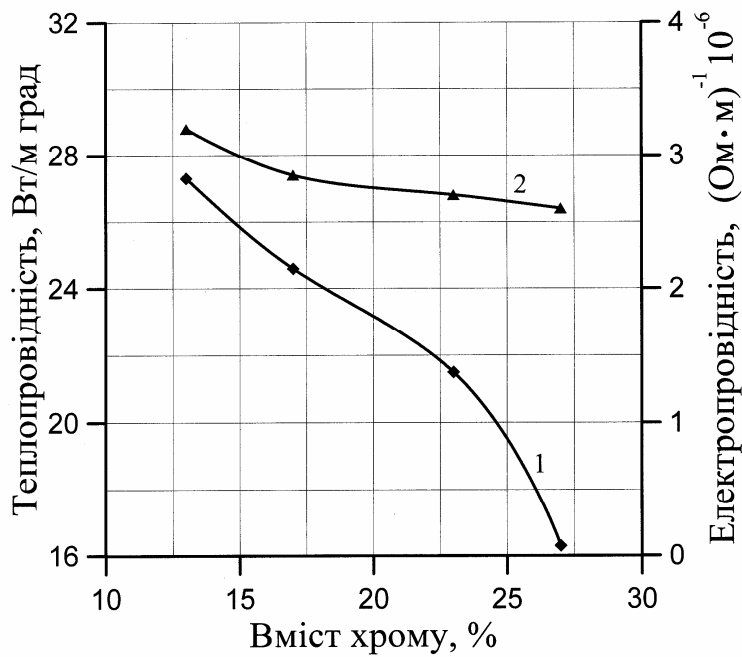
Теплопровідність здійснюється електронами і коливаннями атомів кристалевої ґратки [3], а оскільки легування заліза хромом та алюмінієм призводить до спотворення кристалевої ґратки, зміни структурних складових, порушення однорідності металу, що призводить до розсіювання електронів, то підвищення концентрації легувальних елементів супроводжуються зниженням цих фізичних характеристик.

Підвищення температури легованого металу збільшує амплітуду коливання атомів, що також сприяє розсіюванню електронів і зменшенню теплопровідності та електропровідності.

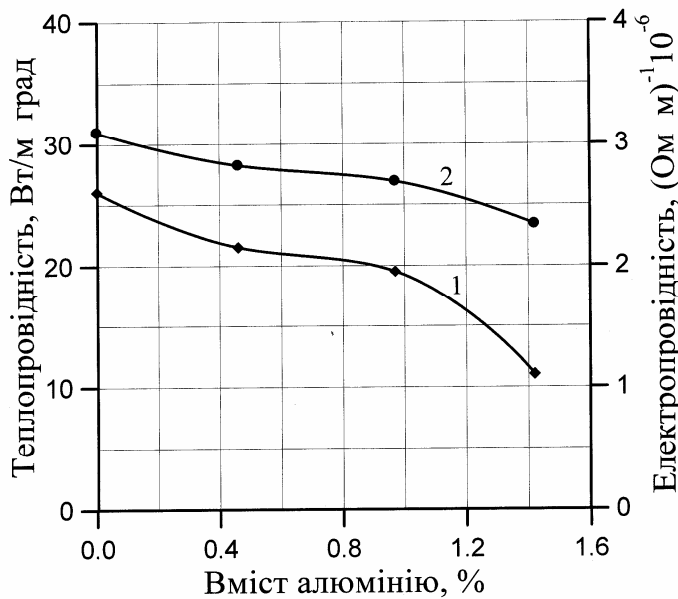
Теплові властивості сталі, перш за все теплопровідність, справляють вирішальний вплив на умови одержання якісних виливків, режими термічного оброблення та відіграють велику роль під час експлуатації литих деталей в умовах високих температур та теплозмін.

Електричні властивості дуже важливі під час експлуатації литих елементів як нагрівачів та при електроплавленні сталі.

Досліджено вплив хрому і



а



б

Рис. 4. Залежність теплопровідності (1) і електропровідності (2) хромоалюмінієвих сталей від вмісту в них хрому (а) та алюмінію (б)

виробів такі сталі повинні вмістити 25...30% хрому та 3...5% алюмінію.

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

Зниження теплопровідності високолегованих хромоалюмінієвих сталей сприяє росту первинного зерна під час кристалізації металу у виливку і розвитку дефектів усадкового характеру.

Електропровідність металу характеризується процесом переносу електричного заряду електронами і визначається щільністю електронів провідності та швидкістю їх дрейфу в металі, а тому суттєво впливає на технологічні показники роботи плавильних агрегатів.

Практика підтверджує, що феритні сталі, до яких відносяться сплави системи Fe-Cr-Al, характеризуються найвищими електроопором, отже для виготовлення нагрівачів литих реостатів та інших

- для забезпечення високої окалиностійкості виробів, які працюють при температурах до 1250°C та в агресивних середовищах, концентрація хрому в металі повинна бути не менше 25%, а вміст алюмінію – від 1,5 до 3,5%;
- хромоалюмінієві сталі з високим вмістом хрому та алюмінію можна використовувати для виготовлення литих деталей, які працюють в умовах різних агресивних середовищ;
- для підвищення адгезійних властивостей оксидних плівок доцільно хромоалюмінієві сталі додатково обробляти 0,20...0,25% РЗМ (за присадкою);
- зміна концентрації хрому та алюмінію в жаростійких сталях суттєво впливає на теплопровідність та електропровідність легованого металу. Ці характеристики треба враховувати в технологічних процесах виготовлення виливків.

## **Література**

1. Щедров К.П., Гакман Э.П. Жаростойкие материалы. – М. – Л.: Машиностроение, 1965. – 166 с.
2. Микрюков В.Е. Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов. – М.: Metallurgizdat, 1959. – 260 с.
3. Гудремон Э. Специальные стали. Т.1. – М.: Metallurgiya, 1966. – 736 с.