

УДК 621.785

М.Ю. Федоренко, Ю.В. Ключников, О.Т. Сердітов

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### Дифузійне насичення поверхні сплавів двома елементами

Насичення сплавів карбідоутворюючими елементами дозволяє збільшити їх твердість, зносостійкість, надати поверхневому шару особливі фізичні властивості. Через те, що більшість карбідів розчинні один в одному у твердому стані [1], доцільно в дифузійному шарі на поверхні сталі отримувати складні карбідні фази, котрі є розчином карбідів двох і більше перехідних металів. Їх твердість, зносостійкість і особливі фізичні властивості у відповідності до правила Курнакова повинні бути екстремальними.

Задачею дослідження є підбір подвійних композицій і виявлення закономірності процесу. Дифузійній металізації двома карбідоутворювачами піддавали сталі з різним вмістом вуглецю і сірий чавун.

У роботі досліджений фазовий склад, розподіл легуючих елементів і мікротвердість по товщині дифузійних шарів на сталі 45, отриманих при спільному насиченні хромом і титаном та для порівняння тільки титаном (рис. 1). Експериментальні графіки показують значну перевагу хромотитанування шару. У покритті переважає карбідна зона, котра є карбідом титану, у якому розчинений хром. Твердість цієї зони приблизно  $4000 \text{ кгс/мм}^2$ , що перевищує твердість зони карбіда титану, отриманого при титануванні сталі.

Мікроструктура хромотитанованої сталі відрізняються від структури титанованої. Під карбідним шаром спостерігається менша за протяжністю безвуглецева зона, як при титануванні. Перехідна зона хромотитанованого шару, подібна перехідній зоні хромованої сталі.

Отримані дані про фазовий склад хромотитанованого сплаву відповідає результатам досліджень систем сплавів Ti-Cr-C [2], в яких показано, що карбід титану розчиняє значну кількість хрому і те, що тверді розчини на основі монокарбіду титану в цій системі знаходяться у рівновазі з карбідами хрому і фазою  $\text{C}_2\text{Ti}$ .

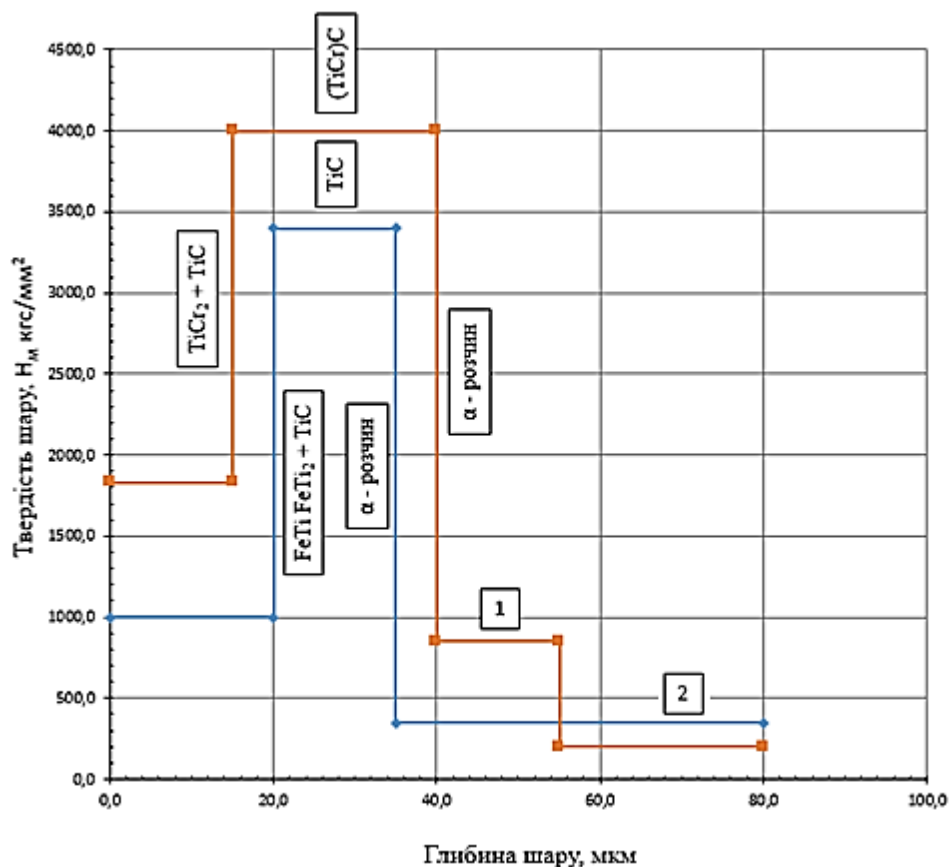


Рис. 1 Розподіл мікротвердості  $H_M$  по глибині дифузійних шарів на сталі 45, 1050 °C, 6 год.

1 – хромотитанування; 2 – титанування.

Результати хромотитанування сталі з різним вмістом вуглецю і сірого чавуну ідентичні з підвищенням вмісту вуглецю у насиченому сплаві (цементована сталь, сірий чавун) товщина зовнішньої (двофазної) зони шару зменшується, а карбідної – збільшується.

При хромотитануванні сталі з вмістом на поверхні більше 0.6 – 0.7 % вуглецю, а також сірого чавуну, утворюються однофазовий дифузійний шар, котрий являється монокарбідом титану, легованим хромом. Твердість по всій товщині шару складає біля 4000 кгс/мм<sup>2</sup>. Безвуглецева зона на границі з основою практично відсутня.

Таким чином, результати дослідження підтвердили припущення про те, що наявність хрому змінить взаємодію елементів: замість спостережених при титануванні сталі титанідів заліза, утворюється суміш титанідів хрому і карбідів титану або тільки карбідів титану при достатньому вмісті вуглецю. Ці

фази мають високі корозійну стійкість, твердість, зносостійкість та інші цінні властивості.

Випробування корозійної стійкості у морській воді титанованих і хромотитанованих зразків сталі 45 показали перевагу двокомпонентного насичення. Хромотитановані зразки кородують значно менше, ніж титановані.

Досліджена велика кількість подвійних композицій карбідоутворюючих елементів.

Одночасне насичення сталі ванадієм і хромом дозволяє збільшити твердість карбідного шару до 2440 кгс/мм<sup>2</sup>, а в результаті хромування і ванадіювання твердість на поверхні сталі складає 1831 і 2120 кгс/мм<sup>2</sup> відповідно.

За даними лабораторних досліджень хромованадіювання може збільшити довговічність різноманітних деталей із вуглецевої сталі у 1.8 рази, тоді як хромування збільшить у 1.3 рази.

Цікавою є також композиція цирконій–хром, аналогічна детально дослідженій композиції титан-хром. При одночасному насиченні цирконієм і хромом вдається позбутися утворення на поверхні цирконідів заліза. Утворений складний карбід, у якому розчинений хром [3], має більш високу твердість (3400 кгс/мм<sup>2</sup>), ніж твердість цирконію (2440 кгс/мм<sup>2</sup>).

Дослідження композицій молібден-хром і молібден-титан також показали можливість отримання складних карбідів, котрі містять ці елементи.

При насиченні вуглецевої сталі молібденом, відбувалося знеуглецювання поверхневого шару і утворення твердих розчинів з низькою концентрацією молібдену в залізі. Карбідні шари отримати не вдалося.

Після термодифузійного насичення сталі молібденом з хромом мікротвердість зросла порівняно з хромуванням від 1831 до 2440 кгс/мм<sup>2</sup>, внаслідок утворення твердого розчину карбідів хрому і молібдену, що відповідає результатам роботи [3].

Молібден дифундує у сталь також спільно з титаном. Утворений при цьому дифузійний шар близький до титанованого, але має дещо більшу твердість як у поверхневій, так і в перехідній зоні, що пояснює розчинність молібдену в карбіді титану [3].

В даний час відома низка робіт по вивченню процесів хіміко-термічної обробки сплавів, на поверхню яких попередньо наносяться металеві покриття

[4, 5]. До таких процесів можна віднести двокомпонентне насичення. Ціллю якого – є отримання поверхневого шару, легованого одночасно двома елементами. Аналіз наявних даних, а також власні лабораторні дослідження, дозволяють розширити вивчення такого роду процесів і показують їх практичну доцільність і цінність.

Схема проведення процесу наступна. На поверхню оброблюваного сплаву наноситься шар чистого металу. Далі слідує дифузійне зміцнення сплаву з попереднім покриттям із чистого металу.

#### Висновки:

Попередньо нанесене покриття зумовлює створення наступних можливостей:

1. дифузійного насичення тоді, коли без попереднього покриття дифузійний зміцнювальний шар не виходить з причин будь-якої несумісності основного сплаву і дифузанта. У цьому випадку метал підшару вибирається таким чином, щоб він був сумісним і з оброблюваним сплавом і з дифузантом – елементом, яким виконується насичення. Так, наприклад, нікелювання мідних сплавів дозволяє отримати на них боровані шари, котрі не утворюються при прямому боруванні;
2. отримання абсолютно нових фаз, хімічних з'єднань, що мають специфічні властивості. У цьому випадку можливо провести суттєве дослідження таких властивостей, як твердість, зносостійкість, корозійна стійкість тощо;
3. суттєвого прискорення хіміко-термічної обробки. Це може бути зумовлено декількома причинами. По-перше, швидкість дифузії дифузанта в нанесеному покритті більша, ніж в оброблюваному сплаві. По-друге, нанесений елемент збільшує швидкість дифузії дифузанта в оброблюваному сплаві. По-третє, на певній глибині створюється шар складного складу, котрий при температурах проведення хіміко-термічної обробки переходить у рідкий стан, що у свою чергу значно пришвидшує весь процес насичення. Можна навести багато прикладів прискорення хіміко-термічної обробки. Так, при попередньому нікелюванні високолегованих сталей, швидкість борування збільшується у два рази;
4. значно покращити зв'язки (зчіплюваність) зміцненого поверхневого шару з оброблюваним сплавом.

Таким чином, попереднє покриття сплаву перед хіміко-термічною обробкою може призвести до: 1) різкого збільшення глибини шару; 2) утворення повних фаз, отримання яких, відомим способом хіміко-термічної обробки, досить складне; 3) покращення зчеплюваності шару з основним металом.

#### Список використаних джерел

1. О. М. Падун, О. Т. Сердітов, Ю. В. Ключников. Вплив ванадію і титану на кінетику росту і властивості зміцненої бором поверхні / Другий випуск збірки праць Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні» – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2020. – № 2. - с. 180-183.

2. Хижняк В. Г., Помарин Ю. М., Курило Н. А., Диффузионные покрытия на основе Ti, V и Cr на стали У8А11. Современная электрометаллургия. – 2007. – №4 – с. 30-33

3. Коломынцев П. Т., Самойленко В. М., Комбинированное покрытие для лопаток турбин высокотемпературных газотурбинных двигателей. Металловедение и термическая обработка – 2006. – №12(618). – с. 28-31.

4. Баландин Ю.А. Комплексное насыщение поверхности инструментальных сталей бором, медью и хромом в псевдоожиге. - Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. - №7. С. 50-52.

5. M.S. Stepanov, Yu.M. Dombrovskii. Thermodynamic Analysis of Carbide Layer Formation in Steel With Microarc Saturation by Molybdenum / Steel in Translation, 2016. Vol. 46, #. 2. pp. 79-82.