

УДК 621.771.06

Середа Б. П.
Кругляк І. В.
Святодух А. М.
Кругляк Д. О.

ПРОКАТКА МІДНИХ СПЛАВІВ З БАГАТОКОМПОНЕНТНИМИ СИЛІЦІЙОВАНИМИ ПОКРИТТЯМИ, ОТРИМАНИМИ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

Підвищення надійності сучасної техніки, зниження собівартості її обслуговування, забезпечення конкурентноздатності, продовження ресурсу експлуатації, а також її реновація шляхом застосування сучасних технологій для відновлення працездатності вузлів до рівня нових виробів – найбільш пріоритетні напрямки розвитку техніки [1].

Вироби з мідних сплавів, у тому числі веслових гвинтів і їх лопат, володіючи високими механічними, ливарними і антикорозійними властивостями, які йдуть на виготовлення різних деталей, що працюють в умовах тертя ковзання. У судновому машинобудуванні із цих деталей конструюються кінематичні вузли з обертальним рухом. Антифрикційний матеріал повинен мати низький коефіцієнт тертя в кінематичному вузлі, гарною припрацьовуваністю, високою зносостійкістю, малою схильністю до заїдання (схоплювання), здатністю забезпечити рівномірне змащення. Перераховані властивості антифрикційного матеріалу повинні ним забезпечуватися при певних питомих контактних навантаженнях і різних конструктивних рішеннях вузлів тертя.

Поверхні деталей, що перебувають у безпосередньому контакті з газоподібними й рідкими агресивними середовищами різного состава, при різних температурі й швидкості відносного руху, і корозійною активністю зношуються досить інтенсивно [2, 3].

Метою роботи є отримання багатокомпонентних силіційованих захисних покриттів в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС) на БраЖ-9-4, БраЖМц-10-3-1,5, ЛАМцЖ66-6-3-2, ЛМцЖ-55-4-1 і визначити оптимальні режими обтиснення цих матеріалів при обробці металів тиском.

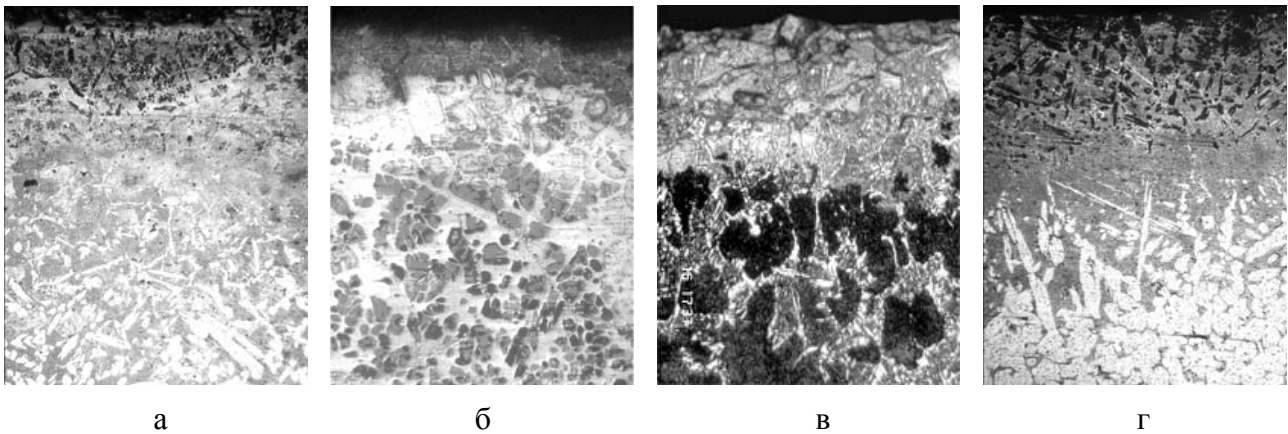
В цьому зв'язку актуальному є розробка нових технологій отримання покриттів, що забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики при мінімальному часі їх формування. Такими технологіями можуть служити способи отримання покриттів в умовах СВС. Разом з цим актуальною також є проблема обробки тиском отриманих виробів з багатокомпонентними захисними покриттями.

Нами розробляється технологія отримання і подальша обробка тиском багатокомпонентних силіційованих покриттів на основі хрому, титана і молібдену, оскільки вказані покриття, згідно даним роботи, відрізняються високою стійкістю проти дії кисню, морської води і розчинів кислот, утворюючи при окисленні скловидні, поверхневі оксидні плівки, що міцно утримуються.

Хіміко-термічну обробку мідних сплавів в режимі теплового самозаймання проводили в реакторі відкритого типу з продуванням інертним газом - аргонном. Як насичуюче середовище використовували суміш порошків наступних матеріалів: Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Ti, Al, Si, J₂. Дисперсність порошків складала 150...250 мкм.

Насичення зразків проводили в режимі теплового самозаймання, який полягає в поєднанні хімічних транспортних реакцій [4] з процесом теплового самозаймання порошкових сумішей [3]. Мікроструктуру зміцнених шарів досліджували на мікроскопі «Neophot-2».

В результаті хіміко-термічної обробки були отримані алюмохромосиліційовані і титаноалюмосиліційовані покриття на мідних сплавах. Товщина покриття складає від 30 до 100 мкм. Мікроструктури отриманих покриттів приведені на рис. 1.



а

б

в

г

Рис. 1. Мікроструктури багатокомпонентних покриттів, отриманих методом СВС на сплавах міді ($\times 100$):

а – ЛАМцЖ66-6-3-2; б – БрАЖМц-10-3-1,5; в – ЛМцЖ-55-4-1; г – БрАЖ-9-4

Наступним етапом досліджень було визначення оптимальних режимів обжимання зразків з отриманими багатокомпонентними захисними покриттями.

Основна особливість процесу холодної прокатки заготовель мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями полягає в істотній пошаровій анізотропії механічних властивостей, а також високої міцності з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя до теоретичного максимуму (по суті, в даному випадку міжшарового тертя є міжзереренне тертя). Спочатку міцність з'єднання покриття і основи виключає розшарування заготовки в процесі деформації і незалежну (виборчу) деформацію шарів при будь-яких ступенях обжимання. Проте значна відмінність в механічних властивостях шарів обумовлює нерівномірну деформацію двошарової заготовки. Нерівномірна деформація призводить до фрагментації малопластичного покриття при певному обжиманні [5].

Встановлено, що фрагментація відбувається по різних механізмах: з тріщиноутворенням і без такого. В першому випадку при деякому обжиманні в покритті з'являються поперечні тріщини, при продовженні деформації тріщини розвиваються і проходять крізь все покриття, що після чого утворилися в покритті розриви починають заповнюватися більш пластичним металом основи. В другому випадку поверхня прокатаного зразка на всьому протязі деформації залишається гладкою (тріщини не утворюються), але в ньому нерівномірно утворюються локальні зменшення товщини захисного шару, по якому при продовженні деформації утворюються розриви. Зрештою, зразки з по різних механізмах покриттями, що дробляться, набувають аналогічний вигляд: смуга з вкратаними фрагментами багатокомпонентних захисних шарів. Слід зазначити, що, навіть роздроблюючись, покриття не втрачають прикладної цінності, оскільки за рахунок багатокомпонентних захисних шарів фрагментів зносостійкість композиту залишається більш високою, ніж у незахищеної основи [6]. Проте задачею даної роботи було отримання зміцненого (наклепаного) композиту з суцільним покриттям. Тріщини в покритті починають з'являтися вже після перших проходів (обжимання 12...18 %), тому подальші дослідження проводили на більш пластичних матеріалах підкладки ЛАМцЖ66-6-3-2.

В ході експериментів варіювали ступінь сумарного обжимання (до 80 %), дробову деформації і відношення товщини шарів. Пошарову нерівномірність деформації прокатних зразків досліджували на подовжніх мікрошліфах. На базі в 6...10 мм з кроком 0,1 мм заміряли товщину захисного шару, таким чином для зразків, що прокотили з різними обжиманнями, одержували профілі міжшарової межі. Вид останніх дозволяє припустити, що формозмінення захисного покриття, взагалі, відбувається не під дією стискаючих сил з боку валів, а під дією розтягуючих сил з боку основи, що подовжується.

Низька пластичність захисного шару, що розтягується, приводить до появи вже згаданих локальних стоншувань, аналогічних по своїй природі «шийкам», що з'являються на останній стадії розтягування циліндрових зразків при класичних випробуваннях на розривній машині.

Середню висотну деформацію інтерметалідного шару, згідно авторам роботи [7], оцінювали з урахуванням часток окремого тертя товщини шару:

$$\varepsilon_h = h_0 - h_{cp}^* ; \quad (1)$$

$$h_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^n h_t w_t}{\sum_{i=1}^n w_t} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{h_i^2}{h_{cp}}}{n}, \quad (2)$$

де h_0 – товщина захисного шару до деформації;

h_i – товщина захисного шару після деформації в i -том вимірюванні;

h_{cp} – середнє арифметичне вимірювань товщини захисного шару;

h_{cp}^* – середня скоректована товщина захисного шару;

n – кількість вимірювань.

$$S = \frac{\varepsilon_h^T}{\varepsilon_h^M}, \quad (3)$$

де ε_h^T – обтиснення твердого (захисного) шару;

ε_h^M – обтиснення м'якого шару підкладки.

Чим ближче значення S до одиниці, тим більш рівномірно розподіляються висотні деформації між шарами. В нашому випадку S завжди менше одиниці (порядку 0,7...0,8), тобто обжимання захисного шару менше обжимання основи; при цьому зв'язок на межі «покриття-основа виключає істотну різницю в подовженнях шарів [8]. Невідповідність висотних і подовжніх деформацій частково компенсується тим, що розширення зразка відбувається майже повністю за рахунок компоненти основи. До фрагментації покриття при виході з валів зразки згинаються (покриттям всередину), із зростанням сумарного обжимання радіус вигину зразків зменшується і після фрагментації, з черговим проходом, зразки вирівнюються (рис. 2).

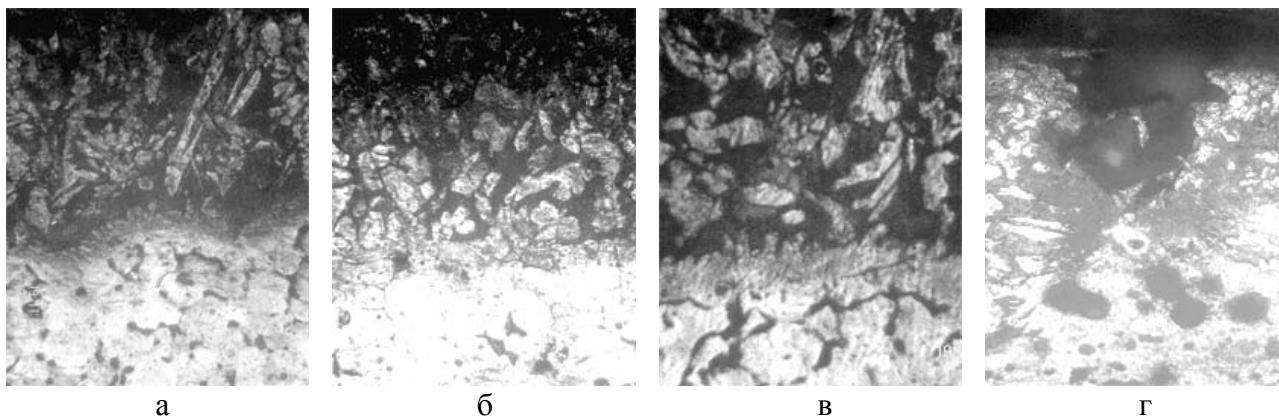


Рис. 2. Мікроструктури захисних покриттів на латуні ЛАМЦЖ66-6-3-2, отримані після площення з різними обтисненнями ($\times 200$):

а – $\varepsilon = 0,2$; б – $\varepsilon = 0,5$; в – $\varepsilon = 0,8$; г – $\varepsilon = 1,0$

Відомо, що одним з найважливіших показників прокатки є максимальний ступінь обжимання, що не супроводиться фрагментацією покриття. З'ясовано, що ця величина сильно залежить від початкового співвідношення товщини шарів в заготовці і від дробової деформації. Фрагментація покриття з'являється від кромки смуги і починається тим раніше (при меншому обжиманні), чим тонше покриття (при постійній товщині заготовки) і чим більше обжимання за один прохід (чим менше дробова деформація). Для заготовок з покриттями товщиною від 40 мкм і вище (при постійній товщині заготовки 5 мм) були підбрані режими холодної деформації, що дозволяє уникнути фрагментації покриття при сумарних обжиманнях аж до 80 % (подальша холодна деформація заготовок не призводить до значного зміцнення основи і тому недоцільна).

ВИСНОВКИ

Обробка сплавів на основі міді титаном, алюмінієм, кремнієм та хромом в режимі саморозповсюджувального високотемпературного синтезу сприяє зміцненню їх поверхневого шару. Запропонований метод зміцнення сприяє значному підвищенню зносостійкості мідних сплавів в умовах сухого тертя. В зміцненому шарі утворюються залишкові напруження стиснення. При цьому поверхнева твердість мідних сплавів збільшується до 12000–15000 МПа.

Режим зміцнення поверхневого шару зразків з бронзи та латуні має невелику тривалість та є найбільш економічним серед аналогів, рекомендується використовувати замість традиційних способів хіміко-термічної обробки мідних сплавів.

Проводити деформацію заготовок з покриттями без ризику розшарування можливо завдяки пластичності матеріалу основи та високій міцності зчеплення дифузійних покриттів з основою.

Нерівномірність деформації в анізотропних заготовках в певних межах управляється режимом деформації і конфігурацією самої заготовки. Відповідно, підбором режимів можна локалізувати негативні наслідки нерівномірної деформації, у тому числі і уникнути фрагментації покриття навіть при великих ступенях деформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах : монографія / Б. П. Середа, І. В. Кругляк, О. А. Жеребцов, Ю. О. Белоконь. – Запоріжжя : ЗДІА, 2009 – 252 с.
2. Середа Б. П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів : підручник з грифом МОНУ / Б. П. Середа. – Запоріжжя : ЗДІА, 2008. – 302 с.
3. Середа Б. П. Поверхнєве зміцнення матеріалів : монографія / Б. П. Середа, Н. Є. Калініна, І. В. Кругляк. – Запоріжжя : ЗДІА, 2004. – 230 с.
4. Шефер Г. Химические транспортные реакции / Г. Шефер. – М. : Мир, 1964. – 248 с.
5. Титлянов А. Е. Создание износостойких слоев на медных изделиях / А. Е. Титлянов, А. Т. Радюк., В. Е. Кузнецов и др. // *Материаловедение*. – 1998. – № 12. С. 42–44.
6. Еременко В. Н. Многокомпонентные сплавы титана / В. Н. Еременко. – Киев, Изд-во АН СССР, 1962. – 250 с.
7. Кобелев А. Г. Особенности холодной прокатки композиционных материалов с резкой послойной анизотропией механических свойств / А. Г. Кобелев, А. Е. Титлянов, В. Е. Кузнецов // *Труды III конгресса прокатчиков*. – М., 2000. – 150 с.
8. Середа Б. П. Прокатка заготовок медных сплавов с покрытиями, полученными в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) / Б. П. Середа, І. В. Кругляк, А. Н. Святодух // *Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні : темат. сб. научн. праць*. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 480–484.

Середа Б. П. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрою ЗДІА;

Кругляк І. В. – канд. техн. наук, доц. ЗДІА;

Святодух А. М. – асистент ЗДІА;

Кругляк Д. О. – аспірант ЗДІА.

ЗДІА – Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя.

E-mail: krugly@ukr.net