

УДК 621.771.06

Д. О. КРУГЛЯК

ПРОКАТКА МІДНИХ СПЛАВІВ З БАГАТОКОМПОНЕНТНИМИ СВС-ПОКРИТТЯМИ

У статті представлений спосіб одержання хромоалюмосиліційованих і титаноалюмосиліційованих захисних покриттів на мідних сплавах в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу з наступною прокаткою. У роботі проведені дослідження з визначення оптимальних умов обтиснення прокатки мідних сплавів з захисними покриттями. Особливістю процесу холодної прокатки заготівель мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями є істотна пошарова анізотропія механічних властивостей, а також висока міцність з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя до теоретичного максимуму.

Ключові слова: саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, прокатка, обтиснення, захисне покриття, деформація, низька пластичність, мідні сплави.

Вступ. Підвищення надійності сучасної техніки, зниження собівартості її обслуговування, забезпечення конкурентоздатності, 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].

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].

Розробка теорії зносостійких покриттів, а також удосконалення технологій і встаткування для їхнього нанесення дозволили значно підвищити тривалість роботи, ефективність і надійність черв'ячних вінців, дисків муфт зчеплення, втулок вихлопних клапанів авіаmotorів, поршнів і ін. Усі ці деталі виготовляються з мідних сплавів марок: БрОФ 10-1, БрОНС 11-4-3, БрАЖМц 10-3-1,5, БрАЖ 9-4-1, ЛАМцЖ66-6-3-2, ЛМцЖ 55-3-1.

Метою роботи є отримання багатокомпонентних хромованих захисних покриттів в умовах високотемпературного синтезу, що самопоширюється (СВС) на мідних сплавах і визначити оптимальні режими обтиснення цих матеріалів при обробці металів тиском.

Технологія отримання покриттів в умовах СВС забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики при мінімальному часі їх формування, тому є актуальною на сьогодні. Разом з цим актуальною також є проблема обробки тиском отриманих виробів з багатокомпонентними захисними покриттями, що дозволить отримати пористі шари, які забезпечать ще більш високі механічні властивості деталей.

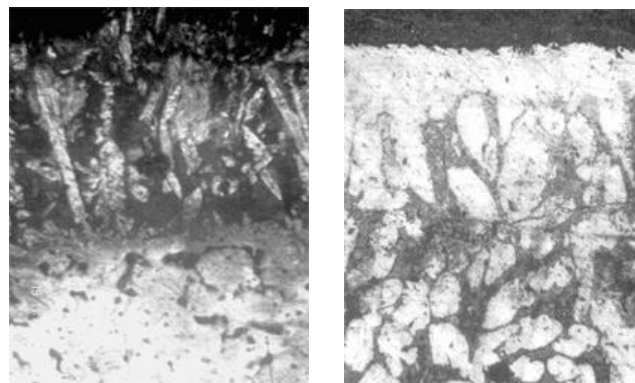
Була розроблена технологія отримання і подальша обробка тиском багатокомпонентних хромованих покриттів на основі алюмінію і нікелю, оскільки вказані покриття, згідно даним роботи, відрізняються високою стійкістю проти дії кисню, морської води і розчинів кислот, утворюючи при окисленні скловидні, поверхневі оксидні плівки, що міцно утримуються.

Хіміко-термічну обробку мідних сплавів в режимі теплового самозаймання проводили в

реакторі відкритого типу з продуванням інертним газом – аргоном. Як насичуюче середовище використовували суміш порошків наступних матеріалів: Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Ni, Al, NH_4Cl , J_2 . Дисперсність порошків складала 200...300 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 алюмохромонікелеві покриття на мідних сплавах. Товщина покриття складає від 160 до 220 мкм. Мікроструктури отриманих покриттів приведені на рис 1.



а – ЛМцЖ-55-4-1; б – БрАЖ-9-4

Рис. 1 – Мікроструктури багатокомпонентних хромованих покриттів на мідних сплавах, $\times 100$

Наступним етапом досліджень було визначення оптимальних режимів обжимання зразків з отриманими багатокомпонентними захисними покриттями. Виконання цього етапу дозволить отримати пористе хромоване покриття, що має сітку мікроскопічних тріщин.

Основна особливість процесу холодної прокатки заготівель 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 міжзеренне 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].

Так було встановлено, що при товщині багатокомпонентного хромованого шару вище 50 мкм не виникає зростання пор, але у цьому випадку хромове покриття не упорядковано розтріскується у всіх напрямках, переважно перпендикулярно основі.

Було встановлено, що пористе хромоване покриття у порівнянні з звичайним має наступні переваги:

1. добра приробка до іншої не хромованої поверхні;
2. велика здатність до змочування маслом та утриманню його у каналах та порах в період роботи пари тертя;
3. гарне зчеплення з основним металом у товстих шарах у наслідок значного зменшення в них внутрішніх напружень, завдяки чому виключається можливість зкалування та крихкості хрому при роботі деталей.
4. велика зносостійкість при високому тиску та температурі до 800° С в корозійних середовищах;
5. велика теплопровідність, що сприяє підтриманню невеликої температури поверхні робочої деталі та сприяє на якість змащення;
6. зменшення площі фактичного контакту пар тертя на 15-40%.

Сутність процесу хромування з отриманням «пористості» механічним методом полягає в наступному: якщо після хромування на поверхню деталі накатати невеликі, але відносно глибокі лунки, завдяки прокатки при невеликих обтисненнях. Це досягається завдяки м'якій структурі оброблюємої деталі, що дозволяє покриттю мати велике зчеплення з основою. Таким чином отримана хромована поверхня буде поцяткована поглибленнями (порами), що поліпшують властивості змащування деталі.

Обробці тиском підвергалась тільки опорна (несуча) частина хромованої поверхні деталі. Розподіл поглиблень на поверхні (їх число, величина та форма) при механічному методі отримання пористості визначаються в основному ступеню обтиску.

З метою оцінки антифрикційних властивостей звичайного хромового покриття та пористого, отриманого механічним методом, було проведено дослідження на зносостійкість мідних сплавів при терті по пористохромованій поверхні та звичайному покритті. В наслідок проведення досліджень було встановлено, що знос мідного сплаву в другому випадку був в 2,5 рази більшим, ніж в першому випадку.

Частіше пористе хромування механічним методом застосовується для покриття поверхні вкладишів дисків.

Встановлено, що фрагментація відбувається по різних механізмах: з утворенням тріщин 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: штаба з вкатаними 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 ЛМцЖ-55-4-1.

В ході експериментів варіювали ступінь сумарного обжимання (до 80%), дробову деформації і відношення товщини шарів. Пошарову нерівномірність деформації прокатних зразків досліджували на подовжніх мікросліфах. 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 (рис. 2) дозволяє припустити, що формозмінення захисного покриття, взагалі, відбувається не під дією стискаючих сил з боку валів, а під дією сил, що розтягують 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:

$$\varepsilon_h = h_0 - I_{h_0}^* \quad (1)$$

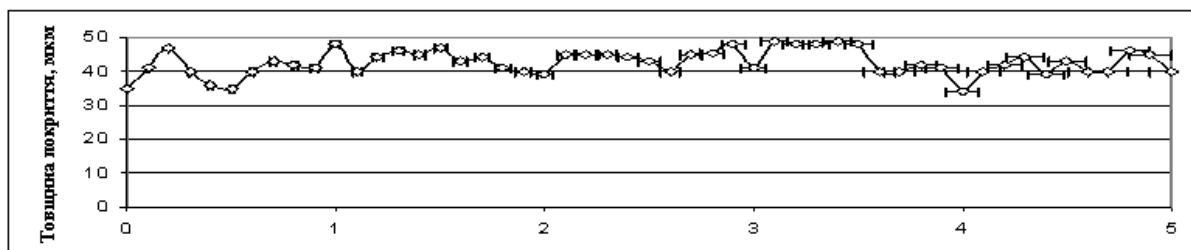
$$h_{h_0}^* = \frac{\sum_{i=1}^n h_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i^2}{n} \quad (2)$$

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.

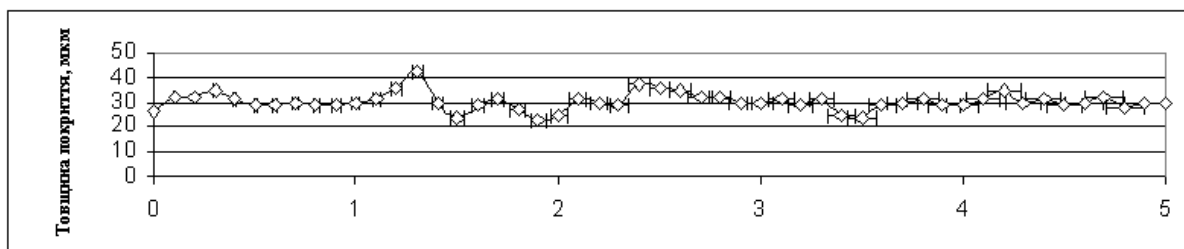
$$S = \frac{\varepsilon_h^T}{\varepsilon_h^M} \quad (3)$$

де ε_h^T – обтиснення твердого (захисного) шару;
 ε_h^M – обтиснення м'якого шару підкладки.

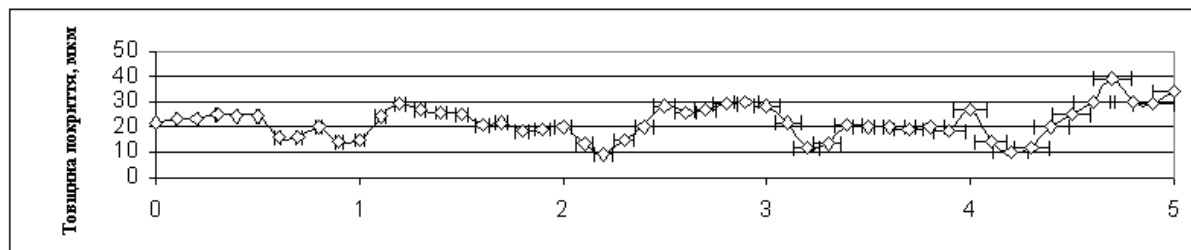
Чим ближче значення S до одиниці, тим більш
рівномірно розподіляються висотні деформації між
шарами.



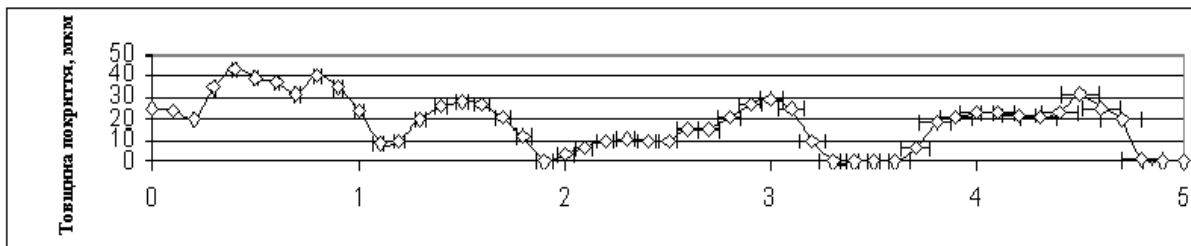
а



б



в



г

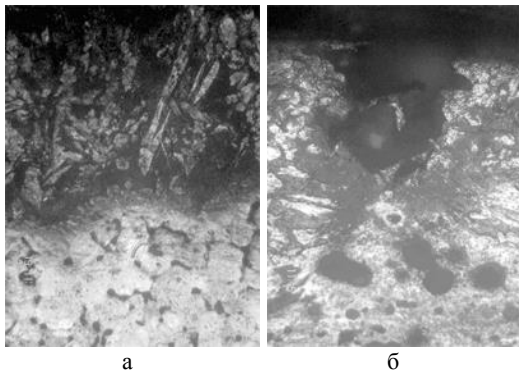
а – $\varepsilon = 0,2$; б – $\varepsilon = 0,4$; в – $\varepsilon = 0,6$; г – $\varepsilon = 0,8$.

Рис. 2 – Профіль міжшарової границі зразка з багатокомпонентним покриттям товщиною 50 мкм після прокатки з обтисненням

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. 3).

Відомо, що одним з найважливіших показників прокатки є максимальний ступінь обжимання, що не супроводжується фрагментацією покриття.



а – $\varepsilon = 0,4$; б – $\varepsilon = 0,8$.
Рис. 3 – Мікроструктури захисних покриттів на латуні
ЛМцЖ–55–4–1, отримані після плющення з різними
обтисненнями, $\times 200$

З'ясовано, що ця величина сильно залежить від початкового співвідношення товщини шарів в заготівлі і від дробової деформації. Фрагментація покриття з'являється від кромки смуги і починається тим раніше (при меншому обжиманні), чим тонше покриття (при постійній товщині заготівки) і чим більше обжимання за один прохід (чим менше дробова деформація). Для заготовок з покриттями товщиною від 40 мкм і вище (при постійній товщині заготівки 5 мм) були підібрані 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. 1. Обробка сплавів на основі міді алюмінієм, нікелем та хромом в режимі саморозповсюджувального високотемпературного синтезу сприяє зміцненню їх поверхневого шару. Запропонований метод зміцнення сприяє значному підвищенню зносостійкості мідних сплавів в умовах тертя. В зміцненому шарі утворюються залишкові напруження стиснення. При цьому поверхнева твердість мідних сплавів збільшується до 12000÷15000 МПа.

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

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

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

Список літератури: 1. Серєда Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконов Ю.О. Обработка металлов тиском при нестационарных температурных условиях. Монография. Запорожье: ЗДИА, 2009 – 252 с. 2. Серєда Б.П. Металлознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів. Підручник – Запорожье: ЗДИА, 2008. – 302 с. 3. Шефер Г. Химические транспортные реакции. – М.: Мир, 1964. – 248 с. 4. Еременко В. Н. Многокомпонентные сплавы титана. – Киев, Изд-во АН СССР, 1962. 5. Кобелев А. Г. Особенности холодной прокатки композиционных материалов с резкой послышной анизотропией механических свойств / Кобелев А. Г., Титлянов А.Е., Кузнецов В.Е. // Труды III конгресса прокатчиков. М.; 2000. 6. Серєда Б.П. Прокатка заготовок медных сплавов с покрытиями, полученными в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) / Серєда Б.П., Кругляк И.В., Святодух А.Н. // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні: тематичний сб. научн. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. С. 480-484.

Bibliography (transliterated): 1. B. Sereda, I. Kruglyak, A. Zherebtsov, Y. Belokon' Processing of metals by pressure in not stationary temperature conditions. The monography. Zaporozhye: ZGIA, 2009 – 252 p. 2. B. Sereda Metallurgical science and thermal processing black and nonferrous metals. – Zaporozhye: ZGIA, 2008. – 302 p. 3. Shefer G. Chemical transport reactions. – Moscow: Mir, 1964. – 248 p. 4. Eremenko V. N. Multicomponent alloys of the titan. – Kiev, Publishing house AN of the USSR, 1962. 5. Kobelev A.G. Feature cold proskating rinks of composite materials with sharp level-by-level anisotropy mechanical properties / Kobelev A.G., Titljanov A.E, Kuznetsov V. E. //Works III of the congress. Moscow: 2000. 6. B. Sereda Proskating rink of preparations of copper alloys with the coverings received in the conditions of self-extending high-temperature syntheses (SHS) / by Sereda B. P, Krugljak I.V., Svjatoduh A.N.// Improvement of processes and the equipment of processing of metals pressure in metallurgy and Mechanical engineering – Kramatorsk: DDMA. – 2007. p. 480-484.

Надійшла (received) 04.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Кругляк Дмитро Олегович – кандидат технічних наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри «Обробки металів тиском»; тел.: (095) 74-332-47; e-mail: krugly@ukr.net.

Kruglyak Dmytro Olehovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Metal Forming; tel.: (095) 74-332-47; e-mail: krugly@ukr.net.