

Гринь О. Г.
Трембач І. О.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАПЛАВОЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Аналіз літературних даних показав, що для умов експлуатації деталей машин при дії ударного навантаження основною системою легування є Fe-C-Cr-Mn, яка забезпечує високу стійкість до удару за рахунок утворення аустенітної мікроструктури з дисперсними карбідами. Перспективним є додаткове введенням рідкісноземельних металів та їх оксидів. Зроблено аналіз сучасних матеріалів та систем легування для наплавлення інструменту, що зазнає тертя металу об метал при наявності удару. Визначено оптимальну систему легування, що забезпечить підвищення зносостійкості при відновленні та зміцненні деталей, які зазнають удару з тертям металевих робочих поверхонь. На основі аналізу літературних даних обґрунтовано вибір системи легування з метою підвищення зносостійкості при відновленні та зміцненні поверхонь деталей, які зазнають ударно-абразивного зносу. Визначення оптимальної системи легування для наплавлення деталей машин з високоманганової сталі, що працюють в умовах ударно-абразивного зносу, значно спрощує завдання з розробки економічно легованих наплавочних матеріалів. На основі аналізу літературних даних показано, що для умов експлуатації втомного зношування, а також при коченні/ковзанні й ударах, термічного впливу рекомендуються сплави зі структурою мартенситу та мартенситу з карбідами. Показано, що для умов експлуатації при дії ударного навантаження основною системою легування є система Fe-C-Cr-Mn, що додатково легована Mo, V, Si, B, а для наплавленої поверхні, що зазнає тертя металу об метал при наявності удару доцільно використовувати систему Fe-C-W-Mo-V. В обох випадках підвищення експлуатаційних властивостей металу можна досягти додатковим введенням рідкісноземельних металів та їх оксидів.

Ключові слова: деталі машин, ударно-абразивний знос, система легування, наплавлення, рідкісноземельні метали, самозахисний порошковий дріт.

Процес зношування деталей штампового оснащення та машин охоплює сукупність складних явищ, що відбуваються при взаємодії поверхневих шарів металу з середовищем, що зношує в певних конкретних, специфічних умовах експлуатації. Всі компоненти цього процесу, що включають і метал, і зношуюче середовище, і зовнішні умови, за яких відбувається зношування, взаємопов'язані і кожен з них окремо і у взаємодії з іншими факторами надає певний вплив на кінцевий результат - процес зношування і величину зношування [1].

Тому важливим питанням є пошук шляхів оптимізації параметрів зношування, тобто врахування найбільш впливових, врахування котрих при дослідженні зношування забезпечить спрощення задачі зниження зносу деталей а, отже, збільшення терміну їх служби.

На даний час у вітчизняній та зарубіжній науковій літературі [2–6] з точки зору зношування накопичено вже досить великий експериментальний матеріал, цікаві та оригінальні наукові розробки, які можуть бути корисними для фахівців, які займаються як практичними, так і теоретичними проблемами підвищення зносостійкості матеріалів.

У світовій і вітчизняній практиці накопичений значний досвід використання як зносостійких матеріалів економічно легованих сплавів системи легування Fe-C-Mn-Cr, які додатково леговані такими легуючими елементами, як Ti, V, Nb, а також Mo, Si, B.

Відомо [7–9], що використання рідкоземельних металів і їх оксидів в електродних матеріалах впливає на очищення границь зерен металу, підвищенню міжкристалічних зв'язків, сприяє збільшенню кількості карбідної фази та її подрібненню. Все це забезпечує підвищення зносостійкості наплавленого металу.

Однією з основних причин, що ускладнюють вибір з існуючих або розробку нового сплаву для роботи в абразивних середовищах є велика різноманітність конкретних умов експлуатації з широким спектром параметрів зношування (твердість, температура абразивного середовища, наявність корозійного фактора, твердість абразиву, характер навантаження, швидкість, тиск та інше), які значною мірою визначають зносостійкість матеріалу.

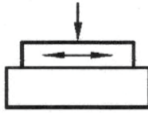
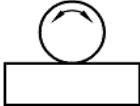
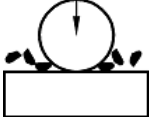
Метою даної роботи є аналіз та оптимізація параметрів зношування, які найбільш суттєво впливають на хімічний склад наплавленого металу, що забезпечує максимальну зносостійкість в конкретних умовах зношування.

Розглянемо сплави для наплавлення, що пропонуються стандартом ДСТУ EN 14700 «Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення» [10].

В таблиці 1 наведені приклади застосування сплавів для наплавлення залежно від виду контактної взаємодії та виду зношування [10].

Таблиця 1

Приклади застосування сплавів для наплавлення залежно від виду зношування

| Вид контактної взаємодії | Вид зношування | Приклади наплавлених деталей | Сплави для наплавлення |
|--|--|--|------------------------|
| Тверде тіло – тверде тіло Тертя твердих тіл   | Втомне зношування, зношування при ударах | Ковальський молот Коромисло клапана | Fe3, Fe9, Fe10 |
| | Зношення при коченні й ударах | Ролики рольгангів | Fe3, Fe6, Fe7, Fe8 |
| | | Ковальські та пресові штампи | Fe3, Fe4, Fe6, Fe8 |
| | Зношення при терті ковзання з ударами | Штампи, штампове оснащення | Fe3, Fe4 |
| Тверде тіло – тверде тіло з прошарком абразиву  | Зношування при терті ковзання з ударами | Била молоткових дробарок | Fe6, Fe8, Fe9 |
| | | Лопати мішалок | Fe6, Fe8, Fe9 |
| | | Деталі дробарок | Fe6, Fe8, Fe9, Fe14 |
| | | Деталі млинів | Fe6, Fe8, Fe14, Fe15 |
| | | Молотки млинів | Fe8, Fe14, Fe15 |
| Тверді частки, високий поверхневий тиск, удари | Зношування при терті ковзання з ударами | Лемехи плугів | Fe15 |
| | | Бункери | Fe14, Fe15 |
| Тверде тіло – тверде тіло із абразивом, високий тиск | Зношування різанням з поверхневим тиском | Деталі ковшів | Fe15 |
| | | Деталі млинів | Fe14 |

З таблиці 1 видно, що для умов втомного зношування, зношення при коченні/ковзання й ударах (ковальські та пресові штампи, штампове оснащення, ролики рольгангів) найбільше поширення знаходять сплави Fe3 та Fe4, що містять велику кількість вольфраму та молібдену, а також сплави Fe7, Fe8, Fe9, які мають підвищений вміст хрому.

В умовах ударного навантаження використовують всі сплави Fe6, Fe8, Fe9, Fe14 та Fe15 (за винятком Fe10, який в своєму складі має мінімальний вміст вуглецю і максимальний нікелю, що сприяє утворенню аустенітної структури з високими пластичними властивостями, наявність же хрому сприяє утворенню карбідної фази, але її кількість не значна, що обумовлено низьким вмістом вуглецю (0,25%) в даному сплаві).

Деталі, що працюють в умовах зношення кочення (ковзання) та ударів (штампи, штампове оснащення, ковальські та пресові штампи) застосовують сплави Fe3, Fe4 та Fe7 (система Cr-Ni-Mo-W), які мають мікроструктуру ферит / мартенсит + карбіди та максимальну твердість 450 HB для сплавів Fe3 і Fe7 (не висока твердість пояснюється низьким вмістом вуглецю), та твердість 55-65 HRC для сплаву Fe4, що пов'язано з утворенням великої кількості карбідів вольфраму в мартенситній матриці.

При експлуатації деталей в умовах тертя з ударами (щоква дробарка, біла молоткових дробарок, молотки млинів) найбільше поширення знаходять сплави Fe6 та Fe8 (система

Cr-Mn-Mo), які мають мікроструктуру мартенсит + карбіди та максимальну твердість 48-65 HRC, що пов'язано з розчинністю Mo, Cr, V в цементиті.

В таблиці 2 наведено хімічний склад сплавів для наплавлення [10].

Таблиця 2

Хімічний склад сплавів Fe3, Fe4, Fe6, Fe7, Fe8, Fe9, Fe10, Fe14 та Fe15 [10]

| Сплави для наплавлення | Хімічний склад, % (мас. доля) | | | | | | |
|------------------------|-------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | C | Cr | Ni | Mn | Mo | W | V |
| Fe3 | 0,2-0,5 | 1-8 | ≤ 5,0 | ≤ 3,0 | ≤ 4,5 | ≤ 10,0 | ≤ 1,5 |
| Fe4 | 0,2-1,5 | 2-6 | ≤ 4,0 | ≤ 3,0 | ≤ 10,0 | ≤ 19,0 | ≤ 4,0 |
| Fe6 | ≤ 2,5 | ≤ 10,0 | - | ≤ 3,0 | ≤ 3,0 | - | - |
| Fe7 | ≤ 0,2 | 4-30 | ≤ 6,0 | ≤ 3,0 | ≤ 2,0 | - | ≤ 1,0 |
| Fe8 | 0,2-2,0 | 5-20 | - | ≤ 3,0 | ≤ 5,0 | - | ≤ 2,0 |
| Fe9 | ≤ 1,2 | ≤ 20,0 | ≤ 5,0 | 9-20 | ≤ 2,0 | - | ≤ 1,0 |
| Fe10 | ≤ 0,25 | 17-22 | 7-11 | 3-8 | ≤ 1,5 | - | - |
| Fe14 | 1,5-4,5 | 25-40 | ≤ 4,0 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | - | - |
| Fe15 | 3,0-7,0 | 20-40 | ≤ 4,0 | ≤ 3,0 | ≤ 2,0 | - | - |

В умовах зношення при коченні та терті (стрілочні переводи, залізничні рейки) найбільше поширення знаходять сплави Fe9 (система Cr-Mn) та Fe10 (система Cr-Mn-Ni), які мають аустенітну мікроструктуру та твердість 180-250 HB.

У випадку зношення різанням (лемехи плугів, бункери) та при терті ковзання з ударами (молотки млинів, деталі ковшів) найбільше поширення знаходять сплави Fe14 та Fe15 (система Cr-Mn-Mo з високим вмістом вуглецю), які мають мікроструктуру мартенсит + аустеніт + карбіди та твердість 40-65 HRC.

Таким чином, для умов експлуатації при дії ударного навантаження основною є система легування Fe-C-Cr-Mn, що додатково легована Mo, Ni, V та Al, а в умовах тертя металу по металу з ударами додавання до цієї системи легування, в обмеженій кількості, Mo, W, V.

В таблиці 3 наведені властивості сплавів Fe3, Fe4, Fe6, Fe7, Fe8, Fe9, Fe10, Fe14 та Fe15 (їх структура та твердість), які мають відмінну стійкість в умовах ударного навантаження [10].

Таблиця 3

Властивості сплавів Fe3, Fe4, Fe6, Fe7, Fe8, Fe9, Fe10, Fe14 та Fe15, їх структура та твердість [10]

| Символ сплаву | Опір тертю | Опір ударам | Корозійна стійкість | Тріщино-стійкість | Оброблюваність | Мікроструктура | Твердість | |
|---------------|------------|-------------|---------------------|-------------------|----------------|--------------------------------|-----------|--------------------|
| | | | | | | | HB | HRC |
| Fe3 | 3 і 4 | 2 і 3 | 4 | 1 | 1 | Мартенсит (карбіди) | 150-450 | - |
| Fe4 | 2 | 2 і 3 | 3 | 2 і 3 | 3 і 4 | Мартенсит + карбіди | - | 55-65 |
| Fe7 | 2 | 2 | 1 і 2 | 1 | 1 і 2 | Феритна/мартенситна | 250-450 | - |
| Fe6 | 1 | 1 | 4 | 2 і 3 | 3 і 4 | Мартенсит + карбіди | - | 48-55 ^a |
| Fe8 | 1 і 2 | 1 і 2 | 3 | 2 і 3 | 3 і 4 | | - | 50-65 |
| Fe9 | 4 | 1 | 2 і 3 | 1 і 2 | 3 | Аустенітна | 200-250 | 40-50 ^b |
| Fe10 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | | 180-200 | 38-42 ^b |
| Fe14 | 1 | 3 і 4 | 2 | 4 | 4 | Мартенсит + аустеніт + карбіди | - | 40-60 |
| Fe15 | 1 | 4 | 3 | 4 | 4 | | - | 55-65 |

Критерії властивостей: 1 – відмінно, 2 – добре, 3 – прийнятно, 4 – не прийнятно, а – після штучного старіння за температури 480 °C 3-4 год., б – після зміцнення в процесі експлуатації.

Сплави Fe3 та Fe7 мають відмінну тріщиностійкість та оброблюваність (обумовлено відносно низькою твердістю), а сплав Fe4 є менш технологічним.

Найвищий опір ударам забезпечують сплави Fe6, Fe8 та Fe9. Краща тріщиностійкість, оброблюваність та здатність до зміцнення характерна для сплавів Fe9 та Fe10, що обумовлено фазовим складом металу.

В таблиці 4, за рекомендацією Міжнародного інституту зварювання, наведена класифікація наплавленого металу за мікроструктурою [11].

Таблиця 4

Класифікація наплавлення за мікроструктурою [11]

| Група | Типовий склад | Мікроструктура | Характеристика | Призначення |
|---|---|---|---|--|
| Fe-M2 Инструментальна сталь | 0,7 % C, 3,75 % Cr, 6 % Mo, 1,8 % W, 1,1 % V | Високо легований мартенсит з карбідами | Достатня ударостійкість, хороша стійкість до тер- мічного удару та цикліч- ного перегріву, твердість 45-60 HRC | Гарячі та холо- дні ножиці штампів |
| Fe-M3 Корозійно- стійка сталь | 0,17 % C, 1,3 % Mn, 13,6 % Cr, 4,2 % Ni, 0,6 % Mo, 0,6 % Nb, 0,2 % V | Мартенситна | Хороша зносостійкість метал по металу, коро- зійна стійкість, твердість 45-60 HRC | Ролики МНЛЗ |
| Fe-MA Мартенси- тно-аустені- тна сталь | Типовий приклад: 1,0 % C, 9 % Cr, 3,0 % Si | Мартенсит та аустеніт | Хороша ударостійкість, хороша зносостійкість метал-метал, твердість 45-60 HRC | Сільськогоспо- дарські знаряддя |
| Fe-AM Аустенітна манганова сталь | 0,5-1,2 % C, до 30 % легування (Mn, ≤ 8% Cr, Ni, Mo) 1% C, 14% Mn | Аустенітна (з малою кількістю між- зеренними карбідами) | Відмінна стійкість до ударів, відмінна стій- кість до зносу метал-ме- тал, твердість 300 HB | Дробарки, молотки млинів, стрілочні переводи |
| Fe-AMC Аустенітна хромо-ман- ганова сталь | 0,3-0,5 % C, 25-40 % легуючих елементів (Cr, Mn) Типовий приклад: 0,4% C, 15% Mn, 15% Cr | Аустенітна | Відмінна стійкість до ударів, відмінна стій- кість до зносу метал-ме- тал, твердість після на- плавлення 300 HB, зміц- нення до 550 HB | Дробарки, молотки мли- нів, стрілочні переводи |
| Fe-AK Аустенітна манганова сталь, з карбідами | 1,0-2,0 % C, 15-25 % легуючих елементів (Mn, Ti) 2% C, 15% Mn, 3,5% Cr, 3,5% Ti | Аустенітна з дисперсними карбідами | Відмінна стійкість до ударів, відмінна стій- кість до зносу метал-ме- тал, твердість після на- плавлення 30-40 HRC | Дробарки, молотки млинів |
| Fe-PAE Первинний аустеніт з евтектикою | 2,0-3,0 % C, 15-35 % легуючих елементів (Cr, Mo) Типовий приклад: 2,5% C, 30% Cr | Первинний аустеніт з ау- стенитно-кар- бідною евтек- тикою, кар- біди M ₂₃ C ₆ | Прийнятна стійкість до ударів, добра стійкість до абразивного зносу, твердість після наплав- лення 40-50 HRC | Дробарки, молотки млинів |
| Fe-NE Евтектика | 3,0-4,0 % C, 20-35 % легуючих елементів (Cr, Mo) Типовий приклад: 3,5% C, 25% Cr | Евтектична суміш аусте- ніту та карбі- дів | Прийнятна стійкість до ударів, добра стійкість до абразивного зносу, твердість після наплав- лення 53-58 HRC | Зуби ковшів, лопатки земле- рійних машин |

Аналіз таблиці 4 показує, що в умовах втомного зношування, зношення при коченні/ковзання й ударах, термічного впливу рекомендуються сплави зі структурою мартенситу та мартенситу з карбідами.

Відмінну стійкість до удару мають сплави з аустенітною мікроструктурою (манганова та хромоманганова сталь) з дисперсними карбідами. З метою забезпечення високого опору при зношуванні з ударами треба забезпечити в наплавленому металі аустенітну структуру з дисперсними карбідами, яка здатна до динамічного деформаційного мартенситного перетворення. Відомо [12], що зносостійкість забезпечується наплавленням матеріалами, що мають гетерогенну структуру, яка складається з м'якою матриці (аустенітна, аустенітно-мартенситна) та значної (до 50%) кількості карбідної складової (карбіди та карбідна евтектики).

Наплавочні матеріали (порошкові дроти самозахисні та з додатковим захистом в захисних газах), які представлені на ринку провідними виробниками (ESAB, Lincoln Electric, UTP) згідно з їх каталогами, наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Марки наплавочних порошкових дротів згідно з каталогами виробників

| Символ сплаву | Марка наплавочного матеріалу згідно з каталогом виробника | | |
|---------------|---|------------------|--------------------|
| | ESAB | Lincoln Electric | UTP |
| Fe3 | OK Tubrodur 35 O M | - | UTP A 73 G 3 |
| Fe4 | - | - | UTP 690* |
| Fe6 | OK Tubrodur 58 O/G M | - | UTP AF ROBOTIC 606 |
| Fe7 | OK Tubrodur 13Cr G | - | UTP A 661 |
| Fe8 | - | Lincore 50 | - |
| Fe9 | OK Tubrodur 15CrMn O/G | Lincore M | - |
| Fe10 | OK Tubrodur 200 O D | - | - |
| Fe14 | OK Tubrodur 55 O A | - | - |
| Fe15 | - | Lincore 60-O | - |

Примітка: * - наведена марка покритого електроду для ручного дугового зварювання.

В таблиці 6 наведено хімічний склад матеріалів для наплавлення.

Для наплавлення деталей, що працюють в умовах втомного зношування, зношення при коченні/ковзання й ударах знаходять системи на основі Fe-C-W-Mo-V леговані Ni, Al.

Найбільш поширеною системою легування матеріалів для наплавлення деталей, що працюють в умовах ударно-абразивного зносу, є Fe-C-Mn-Cr легованої Ni, Mo, V, Al.

Для підвищення зносостійкості застосовують комплексно леговані сплави, армовані дисперсними карбідами високої твердості (NbC, VC, TiC), що мають в складі металевої матриці метастабільний аустеніт. При цьому відзначається позитивний вплив підвищеної твердості карбідів, а також близькості їх кристалічної будови та аустеніту, що забезпечує краще їх утримування металевою матрицею.

При зміцненні робочої поверхні деталей, що працюють в умовах втомного зношування, зношування при ударах, зношення при терті з ударами застосовують систему легування яка забезпечує структуру металу типу мартенсит + аустеніт + карбіди або мартенсит + карбіди (ковальський молот, ковальські та пресові штампи, штампове оснащення).

Таким чином, перспективним напрямком є розробка економно-легованого складу самозахисного порошкового дроту (СПД) для підвищення зносостійкості деталей, що зазнають ударно-абразивного впливу, на основі системи Fe-C-Mn-Cr з додатковим введенням активних матеріалів, в тому числі рідкоземельних металів та їх оксидів.

Таблиця 6

Хімічний склад матеріалів для наплавлення

| Матеріал для наплавлення | Хімічний склад, % (мас. доля) | | | | | | | |
|---|-------------------------------|------|------|------|------|--------|--------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mo | Al | V | Fe |
| <i>Символ сплаву Fe3 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 35 O M | 0,15 | 0,3 | 1,1 | 1,0 | 0,5 | 1,6 | 2,2 Ni | решта |
| UTP A 73 G 3 | 0,25 | 0,5 | 0,7 | 5,0 | 4,0 | - | 0,6 Ti | решта |
| <i>Символ сплаву Fe4 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| UTP 690 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 4,5 | 8,0 | 2,0 W | 1,2 | решта |
| <i>Символ сплаву Fe6 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 58 O/G M | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 5,0 | 1,2 | 0,6 | - | решта |
| UTP AF ROBOTIC 606 | 0,5 | 0,6 | 1,4 | 6,0 | 0,5 | - | - | решта |
| <i>Символ сплаву Fe7 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 13Cr G | 0,2 | 0,4 | 1,2 | 13,0 | 1,5 | 2,5 Ni | 0,23 | решта |
| UTP A 661 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 17,5 | 1,2 | - | - | решта |
| <i>Символ сплаву Fe8 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| Lincore 50 | 2,2 | 1,0 | 1,2 | 11,0 | 0,5 | 0,6 | - | решта |
| <i>Символ сплаву Fe9 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 15CrMn O/G | 0,3 | 0,6 | 13,5 | 15,5 | 1,20 | 1,8 Ni | 0,6 | решта |
| Lincore M | 0,6 | 0,4 | 13,0 | 4,9 | - | - | 0,5 Ni | решта |
| <i>Символ сплаву Fe10 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 200 O D | ≤0,15 | ≤1,0 | 5,5 | 19,0 | - | - | 9,0 Ni | решта |
| <i>Символ сплаву Fe14 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| OK Tubrodur 55 O A | 3,5 | 0,5 | 0,9 | 21,0 | 3,50 | - | 0,4 | решта |
| <i>Символ сплаву Fe15 згідно EN 14700</i> | | | | | | | | |
| Lincore 60-O | 4,2 | 1,3 | 1,6 | 25,4 | - | 0,6 | - | решта |

ВИСНОВКИ

Згідно з EN 14700 для умов експлуатації при дії ударного навантаження основною системою легування є система Fe-C-Cr-Mn, що додатково легована Mo, Ni, V та Al. При наявності тертя металу по металу з ударами кращі результати забезпечить додавання до цієї системи легування, в обмеженій кількості, Mo, W, V.

Високу стійкість до удару мають сплави з аустенітною мікроструктурою (манганова та хромоманганова сталь) з дисперсними карбідами, на основі системи Fe-C-Mn-Cr, з додатковим введенням активних металів та їх оксидів, що є передумовою розроблення економно-легованого складу СПД для підвищення зносостійкості деталей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Домаш Е. В., Мельников Д. В., Спиридонов Н. В. Изучение технологических параметров формирования антифрикционных плазменных покрытий на основе ni и cu на примере подшипников скольжения. *Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 12-й Международной научно-технической конференции, 04–08 июня 2012.* Ялта – Киев: АТМ України. 2012. С. 90–91.
2. Del Río López B., García Díez A., Mier Buenhombre J.L., Camba Fabal C., Filgueira Vizoso A. Microstructural analysis and tribology behavior of a medium-Mn steel with Mo. *Metals*. 2018. 8, pp.745.
3. Малинов В. Л. Износостойкость наплавленного металла с метастабильным аустенитом при абразивном и ударно-абразивном воздействии. *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наукових праць.* ПДТУ. Маріуполь. 2012. Вип. 25. С. 146–157.

4. Плюта В. Л., Нестеренко А. М., Бобырь С. В. Экономнолегированные износостойкие сплавы: проблемы и перспективы. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр.* Днепропетровськ: ІСМ НАН України. 2008. Вип. 17. С. 231–239.
5. Антонюк Д. А., Редька М. О. Зносостійкість матеріалів в умовах зношування напівзакріпленим абразивом з локальними ударними навантаженнями та защемленням часток. *Проблеми трибології.* 2012. 3. С. 87–93.
6. Малинов В. Л. Экономнолегированные электродные материалы, обеспечивающие в наплавленном металле деформационное упрочнение при эксплуатации. *Автоматическая сварка.* 2006. 8 (640). С. 29–32.
7. Ефименко Н. Г., Балан Л. Н. и др. Влияние иттрия на структуру металла шва при сварке плавлением. *Сварочное производство.* 1985. 4. С. 6–8.
8. Карпенко В. М., Гринь А. Г. Сталь для наплавки рабочих частей разделительных штампов. *Кузнечно-штамповое производство.* 1989. 4. С. 26–27.
9. Гринь А. Г. Условие восстановления редкоземельных металлов из оксидов при наплавке порошковой проволокой [Электронный ресурс]. *Научный вестник ДГМА.* Краматорск. 2015. 3 (18Е). С. 86–91.
10. DSTU EN 14700:2019. Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення.
11. ISO/TR 13393. Welding consumables – Hardfacing classification – Microstructures.
12. Панфилов А. Н., Копошко А. В., Кусков Ю. М. Перспективы использования биметаллических износостойких листов SWIP в угольной промышленности. *Физико-технические проблемы горного производства: сб. научн. тр.* 2011. 14. С. 181–187.

REFERENCES

1. Domash E.V., Melnikov D.V., Spiridonov N.V. Study of technological parameters of formation of antifriction plasma coatings based on ni and su using the example of sliding bearings. *Surface engineering and product renovation: Materials of the 12th International Scientific and Technical Conference, June 04–08, 2012.* Yalta – Kyiv: ATM of Ukraine. 2012, pp. 90–91. (in Russian).
2. Del Río López B., García Díez A., Mier Buenhombre J.L., Camba Fabal C., Filgueira Vizoso A. Microstructural analysis and tribological behavior of a medium-Mn steel with Mo. *Metals.* 2018. 8, pp. 745.
3. Malinov V.L. Wear resistance of deposited metal with metastable austenite under abrasive and shock-abrasive impact. *Bulletin of the Pryazovsky State Technical University: coll. scientific works.* PDTU Mariupol. 2012. 25, pp. 146–157. (in Russian).
4. Plyuta V.L., Nesterenko A.M., Bobyr S.V. Economically alloyed wear-resistant alloys: problems and prospects *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: Sat. scientific tr. Dnipropetrovsk: IChM NAS of Ukraine.* 2008. 17, pp. 231–239. (in Russian).
5. Antonyuk D.A., Redka M.O. Wear resistance of materials in the conditions of wear by semi-fixed abrasive with local shock loads and pinching of particles. *Problems of tribology.* 2012. 3, pp. 87–93. (in Ukrainian).
6. Malinov V.L. Sparingly alloyed electrode materials that provide strain hardening in the deposited metal during operation. *Automatic welding.* 2006. 8, pp. 29–32. (in Russian).
7. Efimenko N.G., Balan L.N. et al. Influence of yttrium on the structure of the weld metal in fusion welding. *Welding production.* 4, 1985, pp. 6–8. (in Russian).
8. Karpenko V.M., Grin A.G., Steel for surfacing of working parts of dividing dies. *Forging and stamping production.* 1989. 4, pp. 26–27. (in Russian).
9. Grin' A. Conditions for the reduction of rare earth metals from oxides during surfacing with flux-cored wire. *Scientific Bulletin of the Donbass State Engineering Academy.* Kramatorsk. 2015. 3 (18E), pp. 86–91.
10. DSTU EN 14700:2019. Welding materials. Welding materials for surfacing.
11. ISO/TR 13393. Welding consumables - Hardfacing classification - Microstructures.
12. Panfilov A.N., Koposhko A.V., Kuskov Yu.M. Prospects for the use of SWIP bimetallic wear-resistant sheets in the coal industry. *Physical and technical problems of mining.* 2011. 14, pp. 181–187. (in Russian).

Grin O., Trembach I. Criteria for the selection of hard-facing materials for the restoration of parts

The analysis of literature data showed that for the operating conditions of machine parts under shock loading, the main alloying system is Fe-C-Cr-Mn, which provides high shock resistance due to the formation of an austenite microstructure with dispersed carbides. The additional introduction of rare earth metals and their oxides is promising. An analysis of modern materials and alloying systems for surfacing a tool subjected to metal-to-metal friction in the presence of an impact was made. The optimal alloying system has been determined, which will ensure increased wear resistance during the restoration and strengthening of parts that are subjected to shock with the friction of metal working surfaces. Based on the analysis of literature data, the choice of the alloying system is substantiated in order to increase the wear resistance during restoration and strengthening of the surfaces of parts that are subject to shock-abrasive wear. Determining the optimal alloying system for surfacing machine parts made of high-manganese steel operating under conditions of shock-abrasive wear significantly simplifies the task of developing economically alloyed surfacing materials. Based on the analysis of literature data, it is shown that alloys with a structure of martensite and martensite with carbides are recommended for conditions of fatigue wear, as well as during rolling/sliding and impact, thermal impact. It is shown that for the conditions of operation under shock loading, the main alloying system is the Fe-C-Cr-Mn system, which is additionally alloyed with Mo, V, Cu, B, and for the deposited surface, which undergoes metal-to-metal

friction at in the presence of a shock it is advisable to use the Fe-C-W-Mo-V system. In both cases, an increase in the operational properties of the metal can be achieved by the additional introduction of rare earth metals and their oxides.

Key words: machine parts, shock-abrasive wear, alloying system, surfacing, rare-earth metals, self-shielded flux-cored wire.

Гринь А. Г., Трембач И. А. Критерии выбора наплавочных материалов для восстановления деталей

Анализ литературных данных показал, что для условий эксплуатации деталей машин при действии ударной нагрузки основной системой легирования является Fe-C-Cr-Mn, которая обеспечивает высокую устойчивость к удару за счет образования аустенитной микроструктуры с дисперсными карбидами. Перспективным является дополнительное введение редкоземельных металлов и их оксидов. Проведен анализ современных материалов и систем легирования для наплавки инструмента, подвергающегося трению металла о металл при наличии удара. Определена оптимальная система легирования, обеспечивающая повышение износостойкости при восстановлении и упрочнении деталей, подвергающихся удару с трением металлических рабочих поверхностей. На основе анализа литературных данных обоснован выбор системы легирования с целью повышения износостойкости при восстановлении и упрочнении поверхностей деталей, подвергающихся ударно-абразивному износу. Определение оптимальной системы легирования для наплавки деталей машин из высокомарганцевой стали, работающих в условиях ударно-абразивного износа, значительно упрощает задачи по разработке экономно легированных наплавочных материалов. На основе анализа литературных данных показано, что для условий эксплуатации усталостного износа, а также при качении/скольжении и ушибах, термическом воздействии рекомендуются сплавы со структурой мартенсита и мартенсита с карбидами. Показано, что для условий эксплуатации при действии ударной нагрузки основной системой легирования является система Fe-C-Cr-Mn, дополнительно легированная Mo, V, Si, B, а для наплавленной поверхности, подвергающейся трению металла о металл при наличии удара целесообразно использовать систему Fe-C-W-Mo-V. В обоих случаях повышение эксплуатационных свойств металла можно достичь дополнительным введением редкоземельных металлов и их оксидов.

Ключевые слова: детали машин, ударно-абразивный износ, система легирования, наплавка, редкоземельные металлы, самозащитная порошковая проволока.

Гринь Олександр Григорович – канд. техн. наук, доц., декан ДДМА

Grin Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean DSEA

Гринь Александр Григорьевич – канд. техн. наук, доц., декан ДГМА

E-mail: mf@dgma.donetsk.ua

ORCID: <https://orcid.org/%200000-0002-3432-8149>

Трембач Ілля Олександрович – аспірант ДДМА

Trembach Illia – Graduate student DSEA

Трембач Илья Александрович – аспирант ДГМА

E-mail: i_trembach@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/%200000-0002-3932-2520>

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

DSEA – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Стаття надійшла до редакції 21.05.22 р.