

Гринь О. Г.
Трембач І. О.
Жаріков С. В.

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ПРЕСОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ КОМБІНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

Аналіз літературних даних показав, що для відновлення пресового інструменту використовуються теплостійкі сталі системи легування Cr-W-Mo з карбідним зміцненням (3X3M3Ф, 30X2B8Ф, 40X12B4K2Ф) та сталі з інтерметалідним зміцненням (03Н15К9М5ТЮ, 04Н18М4К11, 10Х9К3В2МФБР). Під дією змінного температурно-циклічного впливу в поверхневому шарі наплавленого металу з карбідним зміцненням відбувається розпад мартенситу і коагуляція карбідів, що зменшує твердість, та, відповідно, прискорює знос. Сталі з інтерметалідним зміцненням перспективні за своїми властивостями, але водночас дефіцитність та висока вартість основних легуючих елементів обмежує їх застосування. Тому актуальним питанням є розробка економічно легваної сталі та технології відновлення пресового інструменту. Встановлено, що максимальна температура поверхні пуансону досягає 650-750 °С при встановленому режимі роботи і напруженому стані. Аналіз експлуатації пресового інструменту показав, що матеріал для їх виготовлення повинен відповідати комплексу вимог: висока міцність (не менше 1000 МПа), висока теплостійкість, достатня в'язкість, високий опір термічної втоми (розгаростійкість), хороша окалиностійкість та висока прогартуваність. З метою підвищення надійності і довговічності пресового інструменту для деформування сплавів на основі міді запропонована комбінована технологія відновлення, що полягає в наплавленні металу на попередньо алітовану поверхню. При поєднанні технологій хіміко-термічної обробки (алітування) та наплавлення з використанням самозахисного порошкового дроту відбувається насичення наплавленого металу алюмінієм і його сполуками в результаті розчинення в ньому багатьох алюмінієм фаз, що сприяє зменшенню окалиноутворення та має забезпечувати високу жаростійкість наплавленого шару.

Ключові слова: пресовий інструмент, алітування, наплавлення, жаростійкість, самозахисний порошковий дріт.

Одним з важливих завдань при обробці металів тиском є підвищення надійності і довговічності інструменту [1–5]. Впровадження у виробництво прогресивних процесів відновлення інструменту обробки металів тиском, що максимально наближають форми заготовок до форм готових виробів, дозволяє значно скоротити втрати оброблюваного матеріалу та знизити витрати на подальшу механічну обробку. Ресурс працюючих в умовах змінного температурно-силового впливу прошивних пуансонів, матриць для гарячого пресування труб, пресових штампів та інших важко навантажених інструментів, що деформують нагріті мідні заготовки, коли температура поверхні інструменту досягає 500-700 °С при циклічній зміні нагрівання та охолодження, визначається переважно зносостійкістю приконттактних шарів металу [1–3, 6]. В результаті експлуатації в перетині штампового інструменту формуються значні залишкові та робочі напруги. Застосування нових конструкційних матеріалів потребує розширення робочого діапазону температури експлуатації штампових сталей до 700–800 °С.

В даний час для виготовлення інструменту гарячого деформування застосовують матеріали, які можна розділити на дві групи.

До першої групи, що набула широкого поширення, відносяться сплави з карбідним зміцненням: 7X3M, 25X5ФМС, 30X2B8Ф, 40X12B4K2Ф, 4X4MB3Ф, 5X2BMHФ, 30X2ГСМФ, 4X4M2BФС, 3X3M3Ф, 4X5MФС та ін. [1, 2, 6, 7, 9]. При наплавленні на такий інструмент теплостійких хром-вольфрам-молібденових сплавів, що мають структуру легваного мартенситу з розподіленими карбідами, під дією змінного температурно-циклічного впливу в поверхневому шарі наплавленого металу утворюється дифузійна зона, де відбувається розпад мартенситу і коагуляція карбідів, що зменшує твердість та прискорює знос [10].

Друга група включає сплави, для яких характерне утворення твердих розчинів високої міцності з інтерметалідним зміцненням: 03Н15К9М5ТЮ, 04Н18М4К11, 10Х28К64В4Г2С, 10Х9К3В2МФБР, 02Х9К3В2МВФБР [1, 11]. Виготовлений із цих сплавів інструмент спочатку має відносно низьку твердість, що дає можливість механічно обробляти їх у вихідному стані, а подальший відпуск забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик. Сплави цієї

групи досить перспективні за своїми властивостями. Водночас дефіцитність та висока вартість основних легуючих елементів обмежує їхнє застосування [1, 10].

Застосування хрому в інструментальних сталях ґрунтується на здатності цього елемента добре розчинятися, утворюючи міцні карбіди, підвищувати міцність феритної складової сталі, втомну міцність та прогартування, помітно впливати на дисперсність одержуваних структур [10, 11, 13]. Наявність у структурі карбідів хрому сприяє збільшенню червоностійкості, зносостійкості та підвищенню міцності сталей за високих температур. Легування сталі хромом перешкоджає зростанню зерна. У разі зростання вмісту хрому понад 3 % спостерігається підвищена стійкість проти зниження твердості при відпусканні, що можна пояснити збільшенням кількості спеціальних карбідів [2, 3, 12].

Теплостійкість і червоностійкість сталі можуть бути значно підвищені легуванням вольфрамом. Вольфрам є основним елементом, що надає сталі червоностійкість [1, 2, 10, 12]. Це пояснюється здатністю вольфраму утворювати стійкі і складні карбіди.

Вольфрам підвищує теплостійкість сталі, причому це дуже позначається при вмісті його до 8 %. Збільшення його вмісту позитивно позначається на збереженні твердості за високих температур [12]. Поєднання хрому з вольфрамом позитивно впливає на властивості сталей, призначених для пресового інструменту щодо зниження чутливості до утворення сітки тріщин розпалу.

У сталі, що містить вольфрам та хром, часто вводиться ванадій. Промислове значення ванадію, як легуючого елемента, пов'язане з його впливом на гартування та стійкість сталі проти відпускання. З інших елементів, які застосовуються для легування штампових сталей та сталей для пресового інструменту, слід відзначити манган, кремній, нікель, молібден і кобальт.

В результаті значних температурно-силових впливів у поверхневих шарах інструменту відбуваються структурні зміни, що призводять до нерівномірного розподілу твердості по його перетину і крихкості металу.

Так само важливим фактором є стійкість проти зниження міцності (знеміцнення) в результаті нагрівання (стійкість проти високого відпуску), оцінити яку можна за твердістю матеріалу. Зміцнення визначається швидкістю укрупнення карбідів та збереженням властивостей легованого фериту за рахунок уповільнення дифузії вуглецю з основної матриці металу інструменту.

Для сталей з карбідним зміцненням мала пластичність при твердості більше 50 HRC сприяє зростанню втомних тріщин та пояснює найбільший спад терміну експлуатації інструменту. Твердість 44-46 HRC забезпечила найкращі значення обмеженої довговічності. Зниження довговічності зразків із твердістю 40-42 HRC пов'язане із загальним зниженням рівня механічних властивостей сталі, і пояснюється процесами коагуляції карбідів та супутнім зниженням міцності [9, 13].

Рівень температури в поверхневих шарах ($0,7 \cdot 10^{-3}$ м від поверхні) вище, ніж у тілі пуансону ($11,5 \cdot 10^{-3}$ м від контактної поверхні). Крім того, амплітуда коливання температур максимальна в поверхневих шарах штампового інструменту. Максимальна температура циклу в точках розташованих на відстані $0,7 \cdot 10^{-3}$ м від поверхні пуансона в період квазістаціонарного теплового режиму пуансона становить 650 °С, мінімальна – 425 °С. У зоні максимального нагрівання металу пуансона спостерігаються найбільші сумарні напруги штампового інструменту [1, 3, 5].

Таким чином, максимальна температура поверхні пуансону досягає 650 – 750 °С при встановленому режимі роботи і напруженому стані, що важливо знати при виборі марки штампової сталі та електродних матеріалів при реновації робочої поверхні інструменту та призначенні режимів її термічної обробки.

Матеріал для гарячих штампів повинен відповідати комплексу вимог. До них, в першу чергу, відносяться висока міцність (не менше 1000 МПа), потрібна для збереження форми штампів при високих питомих тисках під час деформування, і висока теплостійкість, що дозволяє зберегти високі твердість і міцність при тривалому температурному впливі. Сталі повинні

мати достатню в'язкість для попередження поломок при ударному навантаженні. Вони повинні володіти високим опором термічної втоми (розгаростійкості), зберігаючи здатність витримувати багаторазові нагріву та охолодження без утворення сітки тріщин. Сталі повинні мати хорошу окалинотійкість та високу прогартовуваність для забезпечення необхідних механічних властивостей по всьому перетину.

Для підвищення окалинотійкості сталь легують хромом, алюмінієм, кремнієм. Ці елементи мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо, і утворюють на поверхні сталі щільні плівки оксидів Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 . Наявність цих плівок призводить до гальмування процесів подальшого окиснення.

Окалинотійкість залежить від складу сталі і визначається, насамперед, вмістом хрому. Мінімальний вміст хрому, який забезпечує окалинотійкість при різних температурах становить: для $700\text{ }^\circ\text{C}$ – 5 %; для $900\text{ }^\circ\text{C}$ – 12 %; для $1000\text{ }^\circ\text{C}$ – 18 % [13].

Метою даної роботи є визначення оптимального способу відновлення та підвищення довговічності інструменту гарячого деформування мідних сплавів, на основі аналізу причин виходу його з ладу.

Основними причинами виходу з ладу інструменту деформування типу прес-втулка, прес-шайба, пуансон для видавлювання, є: зношування, руйнування та змінання.

Ілюстративним прикладом причин виходу з ладу інструменту деформування є поверхня прошивного пуансону виготовлення труби з мідного сплаву та зовнішній вигляд поверхні зношеної прес-втулки з боку матриці після пресування 60 т сплаву МНЖМц-30-1-1 (рис. 1).

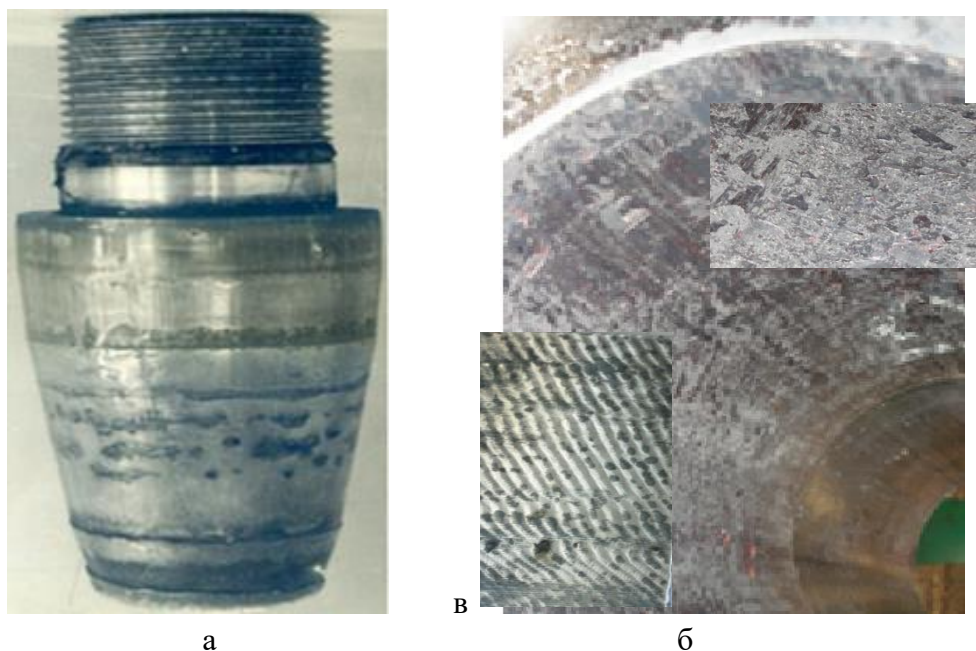


Рис. 1. Прошивний пуансон виготовлення труби із мідного сплаву (а) та панорама поверхні зношеної прес-втулки з окаленою (б) та після її видалення (в)

Зношування можна розділити на загальне, що передбачає зміну розмірів деформуючого інструменту за рахунок процесу фізичного стирання, яке полягає в усуненні з робочої поверхні дрібних частинок *матеріалу інструменту деформованим металом* і змінання робочих крайок інструменту за рахунок анізотропії властивостей його матеріалу та порушень технологічного процесу виготовлення та експлуатації.

Руйнування інструменту, насамперед, пов'язане з наявністю тріщин на робочій поверхні внаслідок розпаду, котрому сприяє термоциклічне навантаження. Найнебезпечнішим видом зносу є розгарна сітка тріщин, тому що при контакті інструменту з нагрітою заготівлею напруга в поверхневому шарі досягає межі плинності, викликаючи пластичну деформацію. У міру досягнення максимальних температур, величини напруг в пружно деформованому шарі

зростають, а при охолодженні спочатку падають до нуля, а потім приймають протилежний знак.

Змінання поверхні інструменту деформування проявляється в пластичному деформуванні робочих елементів через температурний і силовий вплив, що є характерною причиною виходу з ладу при гарячому деформуванні. Зношування змінанням викликає зміну геометричних форм інструменту і збільшується в міру підвищення числа пресувань. При переміщенні поверхонь, що труться, в результаті пластичного зсуву окремих обсягів, утворюються ділянки зміцненого металу, у ряді випадків з утворенням наростів.

Локальне руйнування пов'язане з анізотропією структури і механічних властивостей металу інструменту під впливом циклічного впливу температури і напруг.

При обстеженні прес-шайб, матриць, втулок, пуансонів встановлено, що на робочій поверхні інструменту має місце:

знос окисненням, що представляє послідовне утворення, руйнування та винесення оксидів із контактної зони, що є початком абразивного зносу, що визначається впливом твердих частинок деяких продуктів зносу

змінання металу, як наслідок силового впливу деформованого металу за температури 700–800 °С;

сліди осповидного зносу з розвитком сітки тріщин. Розгарні тріщини сприяють зносу стиранням, а в багатьох випадках самі стають причиною виходу з ладу пресового інструменту. При значній швидкості переміщення деформованого металу по площині інструменту і невеликій глибині розгарних тріщин, за кожен цикл пресування розгарні тріщини можуть «заліковуватися» металом, що деформується, переміщуючись на ділянки, де має місце скупчення розгарних тріщин, викликаючи «заліпання» і подальше активне зношування;

знос схоплюванням, що відбувається за рахунок зварювання пар металу, що труться, по мікронерівностям з наступним виривом або мікрорізом по зварених ділянках.

Таким чином, інструмент для гарячого деформування металів працює в умовах значних теплових та силових навантажень і піддається різним видам зношування. Початковою причиною скорочення довговічності прошивних пуансонів та прес-втулок є: знос окисненням та абразивний знос, розтріскування поверхневого шару, після чого розвиваються процеси зношування, руйнування і змінання.

Найбільше підвищення довговічності штампів гарячого штампування досягається при правильному виборі режимів експлуатації, марки штампової сталі. Для опору на первинній стадії руйнування метал поверхневого шару інструменту повинен мати карбіди, інтерметаліди, а також хром і алюміній, що забезпечують опір шару металу окисненню при високих температурах.

На підставі проведеного аналізу можна сформулювати основні вимоги до наплавленого металу для пресового інструменту гарячого деформування. Цей метал повинен мати:

необхідну твердість за робочих температур;

високу міцність при достатньому рівні пластичності;

добре протистояти утворенню тріщин при високих термічних напругах;

добре чинити опір зносу при підвищених температурах.

Незалежно від типу металу його робоча поверхня зношується і в цьому випадку потрібна його реновація. На вітчизняних та зарубіжних підприємствах застосовують різні методи відновлення та підвищення довговічності інструменту, серед значної кількості яких особливої уваги заслуговують: наплавлення, напилення, хіміко термічна обробка (ХТО). Для розглянутих умов експлуатації штампового інструменту найменш придатним є напилення, з причини невисокої адгезійної міцності, підвищеної екологічної безпеки, низького коефіцієнту використання енергії.

Ефективним методом відновлення геометричних параметрів інструменту і його зміцнення є застосування електродугового наплавлення з використанням електродних матеріалів, що забезпечують достатню стійкість наплавленого металу враховуючи умови їх експлуатації. Перспективним, з точки зору забезпечення хімічного складу наплавленого металу, товщини

наплавленого шару, продуктивності процесу, зручності контролю процесу наплавлення є використання самозахисного порошкового дроту (СПД). Застосування електродугового наплавлення, в тому числі самозахисним порошковим дротом, дозволяє отримати зміцнювальний шар практично необмеженої товщини, але при цьому не завжди можливо досягти необхідних властивостей наплавленого металу [2, 10, 13].

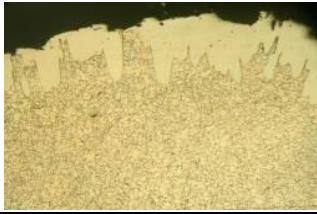

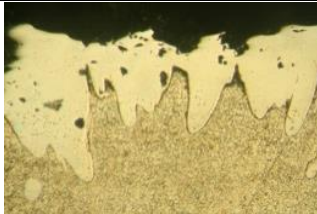



Застосування ХТО (алітування або хромоалітування) забезпечує підвищення жаростійкості, окислостійкості, корозійної стійкості, за рахунок утворення тонкої оксидної плівки Al_2O_3 товщиною до 0,6 мм, що не достатньо для підвищення довговічності штампового інструменту [8, 14-16].

Вказаним методам притаманні деякі недоліки, які можна компенсувати при їх комбінованому застосуванні. Тобто, покращити якість відновлення інструменту деформування в гарячому стані можливо шляхом удосконалення існуючої технології за допомогою створення комбінованої, яка складається з ХТО і подальшим наплавленням СПД.

Процес алітування досліджувався на зразках зі сталі 5ХНМ. У процесі хіміко-термічної обробки (алітування) в порошковій суміші, що складається з 49 % порошку алюмінію, 49 % Al_2O_3 і 2 % NH_4Cl , на режимах вказаних в табл. 1. Відбувається насичення поверхні металу рівномірним шаром алюмінію. Виконані дослідження показали, що проведення алітування в механічній суміші алюмінію при температурі 600 °С не утворює дифузійного шару, що підтверджується значенням мікротвердості на рівні 1300 МПа по перерізу заготівлі. Алітування при температурі вище 700 °С протягом 60 хв. (табл. 1) дозволяє отримати дифузійний шар завтовшки не менше 0,20 мм, збагачений алюмінієм та його сполуками із залізом. При цьому мікротвердість підвищується до 6500 МПа, причому після насичення поверхні зразка алюмінієм формуються шари, що містять алюмініди $FeAl$, $FeAl_2$ і Fe_2Al_5 . Ці фази забезпечують насичення металу достатньою кількістю алюмінію для отримання задовільної жаростійкості.

Таблиця 1

Структури алітованих зразків після теплового та хімічного травлення, отримані внаслідок алітування на різних режимах

№ з/п	T, °C (x1)	t, хв. (x2)	Глибина алітованого шару, мм	Структура після хімічного травлення, × 100	Структура після теплового травлення, × 100
1	700	60	0,20		
2	800	30	0,32		
3	800	120	0,55		

Дифузійне насичення поверхні металу алюмінієм забезпечує однорідність складу та механічних властивостей перерізу зразка на товщину 0,30-0,55 мм. Алюміній забезпечує формування покриттів із спеціальними властивостями за рахунок утворення інтерметалідних фаз з унікальним поєднанням твердості, корозійної стійкості та жаростійкості. Витримка зразка від 60 до 120 хв. забезпечує наявність стабільного дифузійного шару по перерізу зразка. Зі збільшенням параметрів алітування – температури та часу витримки – збільшується глибина алітованого шару (рис. 2).

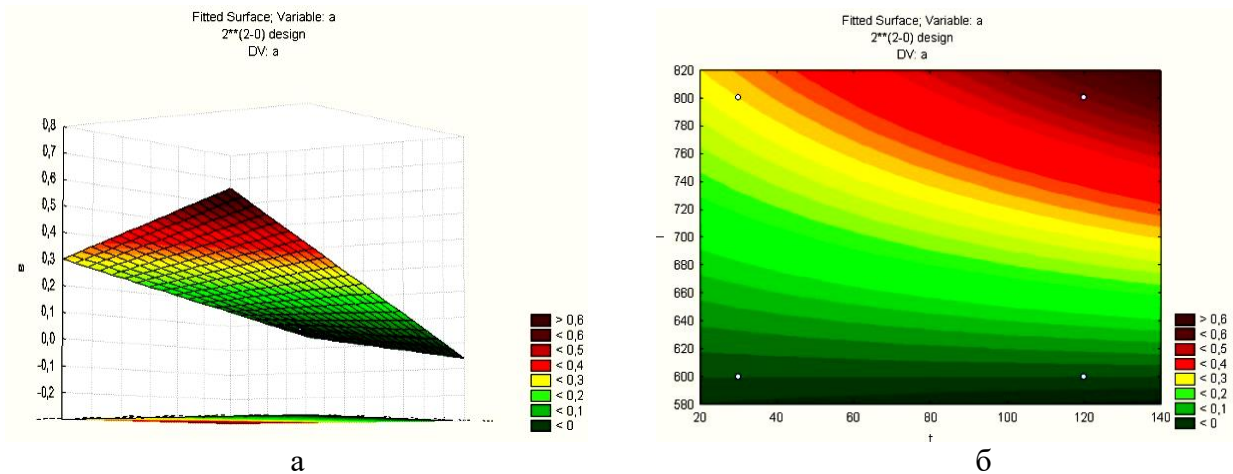


Рис. 2. Тривимірний (а) та контурний (б) графіки залежності глибини алітованого шару від режимів алітування

Отримано рівняння регресії, що адекватно відображає дані експерименту:

$$y = 0,25 + 0,1x_1 + 0,17x_2 + 0,03x_1x_2$$

З отриманого рівняння та наведених графіків (рис. 2, а та б) видно, що із збільшенням значень температури алітування та часу витримки зростає значення відгуку (глибина алітованого шару).

Наплавлення СПД на поверхню пластин зі сталі 5ХНМ виконувалось на режимах: діаметр дроту 3 мм, струм наплавлення 300-320 А, напруга на дузі 28-30 В, полярність зворотна, джерело живлення ВДУ-506. При напавленні на пластини з алітованою поверхнею (рис. 3, а) і без алітування (рис. 3, б) зафіксовано стабільність дуги, незначне розбризкування електродного металу, хороше формування напавленого валика, незначна лускатість напавлення, що характерно так само для напавлення на пластини, що не піддавалися ХТО. Поперечний переріз зразків після напавлення та їх мікротвердість представлені на рис. 3.

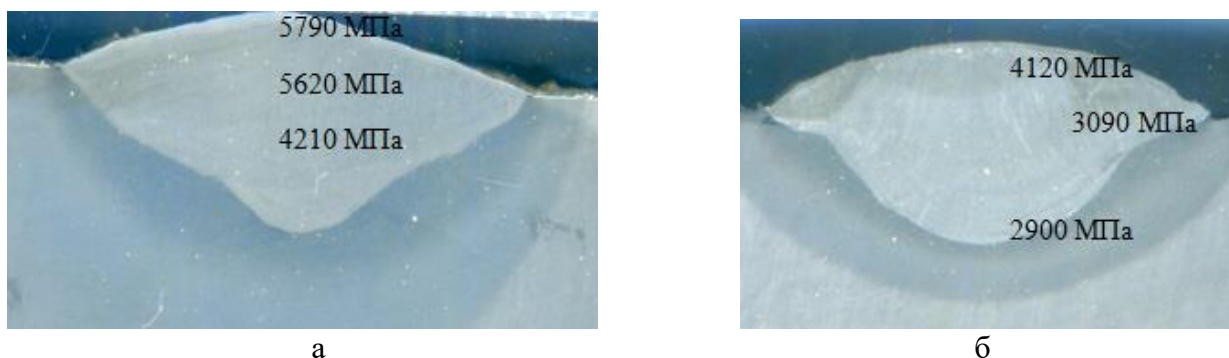


Рис. 3. Поперечний переріз напавлених валиків на пластину з ХТО (а) і без ХТО (б)

При напавленні на пластину з ХТО відбувається перемішування алітованого шару, основного металу та електродного. В результаті перемішування рідкого металу та металургійних

процесів на стадії зварювальної ванни, відбувається рівномірне насичення наплавленого шару розчином алюмінію та його сполуками. Порівняння мікрошліфів металу наплавленого самозахисним порошковим дротом (СПД) на алітовану поверхню і поверхню без алітування показало істотну різницю (рис. 3). Структура основного металу ферито-перлітна, мікротвердість якої становить до 2900 МПа. У перехідній зоні ферито-перлітна структура з мікротвердістю 3090 МПа у зразках без алітування. Для зразків з алітованим шаром характерна перехідна зона з мікротвердістю 3900-4200 МПа, що відповідає мікротвердості перліту, до складу якого входить насичений алюмінієм ферит. Структура поверхневого шару наплавленого валика складається з твердого розчину алюмінію Fea. Твердий розчин алюмінію в наплавленому металі має високу мікротвердість 5600-5790 МПа, що пов'язано з розчиненням алюмінію Fea.

Для визначення місця розташування фаз у структурі зміцненого шару застосовували теплове травлення шляхом нагрівання полірованого мікрошліфа в камерній печі при 400 °С протягом 30 хв. та охолодження на повітрі. Наплавлений метал та зона сплавлення у першому випадку мають характерне забарвлення після теплового травлення (рис. 4).

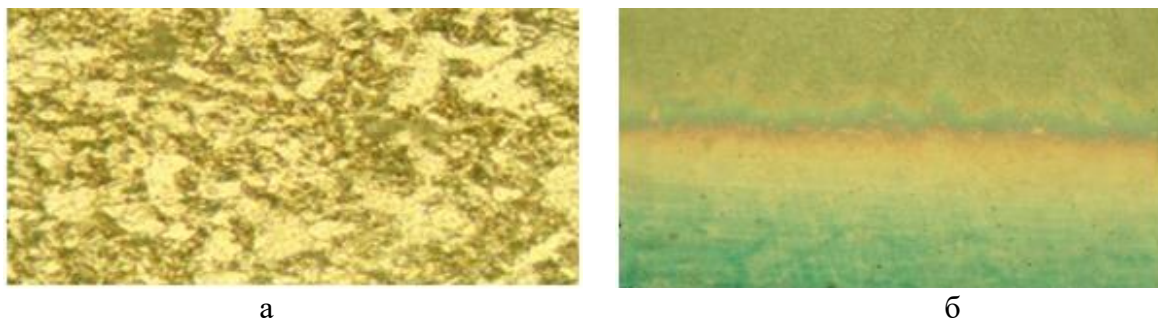


Рис. 4. Мікроструктура зразків «наплавлений метал – перехідна зона» після хімічного (а) та теплового (б) травлення

Аналіз наплавленого металу після теплового травлення показав, що у разі алітування пластин з витримкою 30 хв. алітований шар невеликої товщини у процесі розплавлення змішався з основним металом. В результаті сформувалася неоднорідна структура. Можна припустити, що такий шар повинен мати знижену жаростійкість через недостатню концентрацію в ньому алюмінію.

Після алітування протягом двох годин у поверхневому шарі присутні структури, вміст алюмінію в яких перевищує 30 %. Можна припустити, що така кількість алюмінію у процесі наплавлення має забезпечувати отримання сплаву, який містить частку алюмінію, достатню для забезпечення високої жаростійкості. Алітуванні пластин за режимами 1, 2, 3 (табл. 1) забезпечує надійний захист наплавленого металу від окиснення. Завдяки цьому при наплавленні на поверхні утворюється оксидна плівка Al_2O_3 , що перешкоджає утворенню оксидів заліза.

Дослідження показують, що у всіх випадках після наплавлення на пластини, що алітовані за режимами, вказаними в табл. 1, структура поверхневого шару наплавленого валика складається з твердого розчину алюмінію Fea. Це має забезпечувати високу жаростійкість наплавленого шару (рис. 4).

Між основним металом і наплавленим шаром існує перехідна зона, структурою якої є перліт, до складу якого входить ферит, збагачений алюмінієм (рис. 4, б).

Окалиностійкість наплавленого металу оцінювали по зміні маси зразків, які нагрівали до температури 900 °С, робили витримку протягом двох годин, після чого охолоджували разом з піччю. Аналіз результатів дослідження показав збільшення маси зразків на початковій стадії термоцикування (2–3 цикли), що пояснюється меншим насиченням поверхні наплавленого металу алюмінієм по причині активного перемішування зварювальної ванни і виходу на поверхню продуктів металургійних реакцій, в той час коли розкислювальна активність алюмінію знизилась.

При подальшому збільшенні числа циклів випробувань маса зразків залишилась незмінною. Такий характер залежності, маси зразків від числа циклів, підтверджує явище легування наплавленого металу алюмінієм з алітованого шару.

Таким чином, можна стверджувати, що процес наплавлення СПД по алітованому шару являє собою потрійну систему: плавкий електрод - алітований шар - основний метал. При наплавленні утворюється зварювальна ванна, де відбувається розчинення значної кількості алюмінію та його сполук, їх рівномірний розподіл у розплавленому вигляді по перетину наплавлення за рахунок активного перемішування рідкого металу. Як показали експерименти, незалежно від режиму ХТО зразків, відбувається насичення їхньої поверхні алюмінієм, що позитивно позначається на розподілі сполук алюмінію в наплавленому металі. У досліджуваних межах вмісту алюмінію, у наплавлених валиках дефекти у вигляді тріщин або пір відсутні.

ВИСНОВКИ

Інструмент для гарячого деформування металів працює в умовах значних теплових та силових навантажень і піддається різним видам зношування, тому необхідність збільшення ресурсу інструменту внаслідок застосування нових конструкційних матеріалів вимагає розширення робочого діапазону температури експлуатації штампових сталей до 700–800 °С, що неможливе без впровадження прогресивних технологій відновлення. Проведена систематизація способів зміцнення робочої поверхні інструменту вказує на можливість їх комбінування.

Алітування пластин при температурі вище 700 °С сприяє збільшенню алітованого шару за рахунок дифузії алюмінію в глибину зразка, розширенню зони проникнення та різновиду алюмінідів. У процесі наплавлення по алітованому шару структура наплавленого металу складається з твердого розчину алюмінію Fe_α, що в наплавленому металі має високу мікротвердість 5600–5790 МПа.

Запропонований метод підвищення зносостійкості полягає в напавленні самозахисним порошковим дротом поверхні інструменту після хіміко-термічного оброблення (алітування), в результаті чого відбувається насичення наплавленого металу алюмінієм і його сполуками, що сприяє зменшенню окалиноутворення і збільшенню терміну експлуатації інструменту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гогаєв К. О., Сидорчук О. М., Радченко О. К. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування. *Металознавство та обробка металів*. 2016. 3. С. 18–21.
2. Сидорчук О. М. Властивості штампової сталі 4Х4Н5М4Ф2 для гарячого деформування кольорових металів та сплавів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. 1. С. 108–111.
3. Гринь А. Г., Пресняков В. А., Бойко І. А., Волков С. М. Анализ причин износа рабочих втулок при прессовании заготовок из медно-никелевых сплавов. *Мир техники и технологий*. 2013. 3. С. 34–37.
4. Алиев И. С., Алиева Л. И., Лобанов А. И., Савчинский И. Г. Обеспечение стойкости штамповой оснастки. *Металлообработка*. 2007. 5. С. 22–28.
5. Карпенко В. М., Кошевой А. Д., Катренко В. Т. и др. Оптимизация состава наплавленного металла для прессового инструмента. В кн.: Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка деталей и оборудования металлургии и энергетики. Киев, ИЭС им. Е.О.Патона АН УССР, 1980. С. 42–48.
6. Карпенко В. М., Кошевой А. Д., Гаврилов А. В. Повышение стойкости прессового инструмента путем механизированной наплавки самозащитной порошковой проволокой. В сб.: Пути повышения эффективности сварочного производства и улучшения качества сварных конструкций. Минск, 1978. С. 64–65.
7. Бармин Л. Н., Королев Н. В., Пряхин А. В. Свойства мартенситно стареющих сплавов для наплавки инструмента горячего и холодного деформирования. [В кн.: Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла]. Киев: издво ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1979. С. 55–61.
8. Гринь А. Г., Жариков С. В., Дудинский А. Д. Способ повышения долговечности прошивных штампов. Сварка и родственные технологии, перспективы развития. *Материалы IV международной научно-технической конференции*. 04-07 октября 2016г.: Под общ. ред. д-ра техн. наук Н.А. Макаренко. Краматорск: ДГМА, 2016. 140 с
9. Тишаев С. И., Конрад Ю. Г., Позняк Л. А. Новая сталь 5Х2ВМНФ (Дн-32) для штампового инструмента горячего деформирования. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1973. 6. С. 14–18.
10. Фрумин И. И. Современные типы наплавленного металла и их классификация. *Теоритические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл* / Под ред. И.И. Фрумина. Киев ИЭС имю Е.О. Патона. 1977. С. 3–11.

11. Козлов П. А., Скоробогатых В. Н., Щенкова И. А. Структура, механические свойства и жаропрочные характеристики сталей 10Х9К3В2МФБР и 02Х9К3В2МФБР. *Научные ведомости БелГУ. Серия: Математика. Физика.* 2011. 11. С. 134–141.
12. Кондратьев И. А., Рябцев И. А., Черняк Я. П. Порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали. *Автоматическая сварка.* 2006. 4 (636). С. 50–53.
13. Лейначук Е. И., Подгаецкий В. В., Парфессо Г. И. Влияние хрома на стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин. *Автоматическая сварка.* 1978. 1. С. 20–23.
14. Заблоцкий В. К., Шимко А. И. Особенности влияния алитирования на структуру и свойства стали 10. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* Харьков. 2005. 6. С. 33–36.
15. Столбов В. О., Могиленец М. В., Думенко К. О., Кривчик Л. С., Хохлова Т. С., Пінчук В. Л. Використання хіміко-термічної обробки з метою зміцнення трубного інструменту для виробництва нержавіючих труб. *Металургійна та гірничорудна промисловість.* 2020. 4. С. 52–71.
16. Bartkowska Aneta, Popławski Mikołaj, Przestacki Damian. Heat and Thermochemical Treatment of Structural and Tool Steels. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering.* 2015. Vol. 60(2) [Електронний ресурс] - http://www.pimr.poznan.pl/biul/2015_2_BPP.pdf

REFERENCES

1. Gogaev K. O., Sydoruk O. M., Radchenko O. K. Tool stamping steels for hot deformation. *Metallurgy and metal processing.* 2016, 3, pp. 18–21. (in Ukrainian).
2. Sydoruk O. M. Properties of stamping steel 4X4H5M4Ф2 for hot deformation of non-ferrous metals and alloys. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute.* 2021, 1, pp. 108–111. (in Ukrainian).
3. Grin O. G., Presnyakov V. A., Boyko I. A., Volkov S. M. Analysis of the causes of wear of working bushings when pressing workpieces from copper-nickel alloys. *World of technology and technology.* 2013. 3, pp. 34–37. (in Russian).
4. Aliyev I. S., Aliyeva L. I., Lobanov A. I., Savchinsky I. G. Ensuring the durability of stamping equipment. *Metal processing.* 2007, 5, pp. 22–28. (in Russian).
5. Karpenko V. M., Koshovyi O. D., Katrenko V. T. Optimization of the composition of deposited metal for a press tool. In the book: *Theoretical and technological foundations of surfacing. Surfacing of parts and equipment of metallurgy and energy.* Kyiv, IEW named E.O. Paton, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 1980, pp. 42–48. (in Russian).
6. Karpenko V.M., Koshovyi A.D., Gavrilov A.V. Increasing the stability of a press tool by means of mechanized surfacing with self-protecting flux-cored wire. In *Sat.: Ways of increasing the efficiency of welding production and improving the quality of welded structures.* Minsk. 1978, pp. 64–65 (in Russian).
7. Barmin L. M., Korolev N. V., Pryakhin A. V. Properties of martensitic aging alloys for surfacing of hot and cold deformation tools. In the book: *Theoretical and technological foundations of surfacing. Properties and tests of deposited metal.* Kyiv; type of IEW named E. O. Paton, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 1979, pp. 55–61. (in Russian).
8. Gryn O. G., Zharikov S. V., Dudynskyi A. D. A method of increasing the durability of stitching stamps. *Welding and related technologies, development prospects. Materials of the 4th international scientific and technical conference.* October 4-7, 2016: In general ed. Dr. Tech. Sciences N. O. Makarenko. Kramatorsk: DDMA. 2016. 140 p. (in Russian).
9. Tyshaev S. I. New steel 5Kh2VMNF (Dn-32) for hot deformation stamping tools. *Forging and stamping production.* 1973. 6, pp. 14–18. (in Russian).
10. Frumin I. I. Modern types of deposited metal and its classification. *Theoretical and technological foundations of surfacing. Welded metal.* Ed. I. I. Frumin. Kyiv. IEW named E. O. Paton. 1977, pp. 3–11. (in Russian).
11. Kozlov P.A., Skorobogatykh V.N., Shchenkova I.A. Structure, mechanical properties and heat-resistant characteristics of 10Kh9K3V2MFBR and 02Kh9K3V2MFBR steels. *Scientific information of BelSU. Series: Mathematics. Physics.* 2011. 11, pp. 134-141. (in Russian).
12. Kondratiev I.A., Ryabtsev I.A., Chernyak Y.P. Powdered wire for surfacing a layer of martensitic aging steel. *Automatic welding.* 2006. 4, pp. 50–53 (in Russian).
13. Leynachuk E.I., Pidgaetskyi V.V., Parfeso G.I. The influence of chromium on the resistance of weld metal against the formation of crystallization cracks. *Automatic welding.* 1978. 1, pp. 20–23 (in Russian).
14. Zablotskyi V.K., Shimko O.I. Peculiarities of the impact of alitization on the structure and properties of steel 10. *East European Journal of Advanced Technologies.* Kharkiv. 2005, 6, pp. 33–36. (in Russian).
15. Stolbov V. O., Mogilenets M. V., Dumenko K. O., Kryvchyk L. S., Khokhlova T. S., Pinchuk V. L. Use of chemical and thermal treatment for the purpose of strengthening pipe tools for the production of stainless pipes. *Metallurgical and mining industry.* 2020, 4, pp. 52–71.
16. BARTKOWSKA Aneta, POPLAWSKI Mikołaj, PRZESTACKI Damian. Heat and Thermochemical Treatment of Structural and Tool Steels. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering.* 2015. Vol. 60(2). [Electronic resource] - http://www.pimr.poznan.pl/biul/2015_2_BPP.pdf

Grin O., Trembach I., Zharikov S. Increasing extrusion tool life through combined recovery technology.

The analysis of literature data showed that heat-resistant steels of Cr-W-Mo alloy systems with carbide strengthening (3X3M3Φ, 30X2B8Φ, 40X12B4K2Φ) and steel with intermetallic strengthening (03H15K9M5TЮ, 04H18M4K11, 10X9K3B2MΦБР) are used to recovery the press tool. Under the influence of variable temperature-cyclic influence in the surface layer of the deposited metal with carbide strengthening, martensite disintegration and coagulation of carbides occur, which reduces hardness and, accordingly, accelerates wear. Steels with intermetallic strengthening are promising in terms of their properties, but at the same time, the scarcity and high cost of the main alloying elements limits their use. Therefore, the development of economically alloyed steel and press tool recovery technology is an urgent issue. It was established that the maximum temperature of the surface of the punch reaches 650-750 °C with the established mode of operation and the stressed state. Analysis of the operation of press tools showed that the material for their manufacture must meet a set of requirements: high strength (at least 1000 MPa), high heat resistance, sufficient viscosity, high resistance to thermal fatigue (heat resistance), good scale resistance and high hardenability. In order to increase the reliability and durability of the press tool for deformation of copper-based alloys, a combined recovery technology is proposed, which consists in surfacing the metal on a pre-alloyed surface. When combining the technologies of chemical and thermal treatment (aluminizing) and surfacing using self-shielded flux-cored wire, the surfacing metal is saturated with aluminum and its compounds as a result of the dissolution of aluminum-rich phases in it, which contributes to the reduction of scale formation and should ensure high heat resistance of the surfacing layer.

Key words: extrusion tool, aluminizing, surfacing, heat resistance, self-shielded flux-cored wire.

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

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

E-mail: mf@dgma.donetsk.ua

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

Трембач Ілля Олександрович – аспірант ДДМА

Trembach Illia – Graduate student DSEA

E-mail: i_trembach@ukr.net

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

Жаріков Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доц.

Zharikov Serhii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor DSEA

E-mail: mf@dgma.donetsk.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8754-9447>

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ
Donbas State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk

Стаття надійшла до редакції 20.07.23 р.