

УДК 621.785.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-2(20)-62-73

*Таїсія Акритова, Михайло Андрущенко, Олексій Капустян,  
Руслан Куликовський, Михайло Осіпов***ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ ШТАМПІВ ПРЕСФОРМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ВОГНЕТРИВКИХ І БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ ШЛЯХОМ ЦЕМЕНТАЦІЇ**

**Актуальність теми дослідження.** Великою мірою якість і собівартість силікатної цегли та вогнетривких виробів залежить від довговічності й надійності штампів пресформ. Тому вибір оптимальних матеріалів для виготовлення штампів, способів їх зміцнення, а в результаті і збільшення терміну є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Нині строк служби штампів пресформ для пресування силікатної цегли та вогнетривких виробів становить від декількох годин до 15 діб. Отже, важливим є розробка, дослідження та обґрунтування основних критеріїв вибору матеріалів штампів, способів та технологій їх зміцнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведено порівняльний аналіз можливих сучасних варіантів виготовлення штампів із різних сталей та їх термічної і хіміко-термічної обробки.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні недостатньо інформації про здатність до самозміцнення в процесі зношування і зносостійкість поверхні тертя цементованих штампів із низьколегованих сталей ферито-перлітного класу в різних структурних станах при різному вмісту вуглецю.

**Постановка завдання.** Метою роботи було вибір матеріалів для виготовлення нових штампів, структури робочої поверхні та кромок штампів, технологій їх хіміко-термічної обробки залежно від умов роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Досліджено умови роботи штампів пресформ, механізм і характер їх зношування. Розглянуто два принципово різних підходи до процесів зміцнення штампів пресформ із низьколегованих сталей типу 20X. Перший – це загальноприйнята технологія цементації при порівняно невисоких температурах – 860...940 °С і гартування на переважно мартенситну структуру. Другий – це насичення поверхні деталі вуглецем при високих температурах – 1030...1080 °С і гартування на структуру з великою кількістю (80...95 %) високовуглецевого метастабільного аустеніту.

**Висновки відповідно до статті.** Найбільш прийнятними матеріалами для виготовлення штампів пресформ є сталі ферито-перлітного класу типу 20X і зміцнення їх шляхом цементації і гартування. Вибір одного із запропонованих варіантів цементації залежить від того, яка із вимог до штампів є головною – опірність шаржуванню абразивом робочої поверхні чи опірність зношуванню робочої кромки.

**Ключові слова:** штамп; пресформа; будівельні вироби; вогнетривкі вироби; цементація.

*Рис.: 7. Бібл.: 16.*

**Актуальність теми дослідження.** Необхідність розвитку будівельної, металургійної, машинобудівної та інших галузей, обумовлює потребу збільшення випуску будівельних матеріалів (зокрема силікатної цегли) та вогнетривких виробів, підвищення якості цієї продукції, зниження її собівартості.

Основною вимогою до вогнетривких та силікатних виробів є точність геометричних розмірів, форми, відсутність тріщин і задирок. Якість виробів останнім часом підвищують шляхом збільшення зусиль пресування та міцності й мікротвердості абразивних зерен. Це призводить до значного підвищення інтенсивності зношування деталей пресової оснащення, особливо штампів. Тому вибір матеріалів для виготовлення штампів, структурного стану робочих поверхонь, способів зміцнення та управління структурою для підвищення зносостійкості та збільшення терміну експлуатації є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Більшість вогнетривких виробів та силікатну цеглу виготовляють шляхом напівсухого пресування в пресформах на гідравлічних і механічних пресах. Строк служби штампів пресформ становить від декількох годин до 15 діб залежно від виду абразиву, його мікротвердості, зусиль пресування та інших параметрів умов зношування. Крім того, у багатьох випадках значною проблемою є шаржування робочої поверхні штампів. Низький термін експлуатації деталей зумовлено їх недостатнім опором зношуванню та експлуатаційної надійності, що призводить до зниження продуктивності обладнання, погіршує якість готових виробів та збільшує їхню вартість. Вибір матеріалів, структурного стану і способів зміцнення деталей насамперед обґрунтовується вимогами до їхніх характеристик загалом і робочих поверхонь зокрема. Отже, важливим є розробка та обґрунтування основних критеріїв вибору матеріалів штампів, способів та технологій їх зміцнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Напівсухе пресування будівельних та вогнетривких виробів відбувається здебільшого в пресформах двох типів: одностороння для пресування, переважно силікатної цегли (рис. 1, а) і двостороння – вогнетривких виробів (рис. 1, б). Конструктивно більшість штампів являють собою пластини товщиною від 10 до 30 мм.

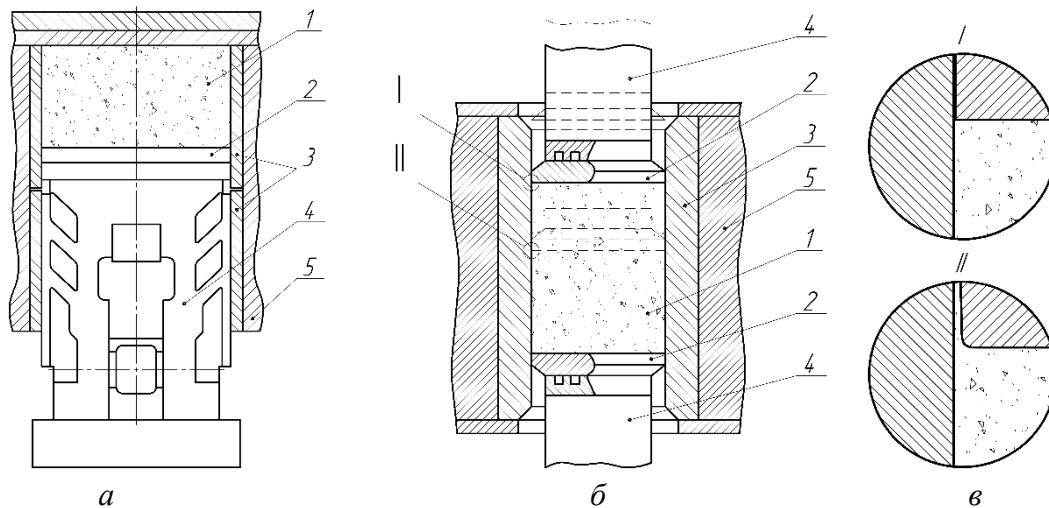


Рис. 1. Схема пресформ для одностороннього (а) [1] та двостороннього (б) [2] пресування, характер зносу робочої кромки штампу (в) на різних стадіях її взаємодії з облицювальною пластинною і абразивом:

1 – пресований виріб; 2 – штамп; 3 – облицювальна пластинна; 4 – штампотримач; 5 – корпус

Використання одного з найбільш ефективних напрямів підвищення зносостійкості матеріалу при роботі в умовах абразивного зношування – збільшення в матеріалі кількості фаз, які зміцнюють (карбідів та ін.), для умов експлуатації штампів пресформ не є прийнятні. Це пов'язано з тим, що за наявності в структурі крихких фазових складових не забезпечується достатній рівень в'язкості та пластичності, що призводить до сколювання фрагментів кромки у процесі роботи штампів.

Інший ефективний спосіб збільшення зносостійкості, при достатній експлуатаційній надійності, це застосування сталей із високим вмістом метастабільного аустеніту (до 90 %), здатного в процесі безударного абразивного зношування перетворюватися в мартенсит деформатії. Це забезпечує значний рівень самозміцнення поверхні тертя (до 12,5 ГПа) і відповідно високу опірність поверхневого руйнуванню. Особливо це ефективно, коли зношування відбувається під дією абразиву порівняно невисокої твердості (кварцовий пісок, шамот, магнезит та ін.). Такий підхід задовольнив би вимоги, які сформовані умовами роботи кромки штампів, однак порівняно м'яка аустенітна основа не здатна достатньо ефективно чинити опір шаржуванню при пресуванні багатьох видів виробів.

Ще один спосіб – застосування інструментальних сталей типу Х12 зі структурою, яка включає велику кількість метастабільного аустеніту в металевій матриці (до 75 %), а також до 15 % карбідів  $(CrFe)_7C_3$  в загальній структурі. Сталі цього типу в такому структурному стані давно ефективно використовуються при виготовленні облицювальних пластин [2]. Однак неодноразові виробничі випробування, проведені авторами спільно зі спеціалістами підприємств, показали, що реалізація такого підходу для штампів, особливо невеликої товщини (10...20 мм), практично неможлива через підвищені вимоги до рівня їх в'язкопластичних властивостей у порівнянні з пластинами. Це зумовлено різними схемами роботи й умовами навантаження пластин і штампів пресформ.

Як один із варіантів вирішення проблеми може бути застосування сталей типу Х13 феритного (08Х13), ферито-мартенситного (12Х13) або мартенситного класу (20Х13). Однак ці сталі не цементуються за традиційною технологією і вимагають застосування

спеціальних карбюризаторів і технологій насичення вуглецем. Нині ці матеріали здебільшого застосовують для виготовлення мулітокорундових (високоглиноземистих) вогнетривів із порівняно високою мікротвердістю зерен абразивної маси (до 23 ГПа).

При виробництві будівельних та вогнетривких виробів методом напівсухого пресування з таких абразивних матеріалів, як шамот, динас, магнезит, штампи можливо виготовляти з низьколегованих сталей ферито-перлітного класу типу 20X, 18ХГТ з наступною хіміко-термічною обробкою.

На сьогодні відомо не менше 15...20 основних способів термічної та хіміко-термічної обробки сталей і сплавів [3; 4; 5], які, ймовірно, можна було б використовувати для зміцнення штампів пресформ з метою підвищення опору зношуванню робочої кромки й шаржуванню робочої поверхні. Але універсальних способів немає і кожний із них має як переваги, так і недоліки щодо інших.

Перспективним з погляду об'ємної міцності і пластичності може бути використання борованих деталей. Твердість борованого шару може досягати 20...22 ГПа [4], а за деякими даними [5] навіть 30 ГПа, що практично у 2...2,5 рази перевищує твердість поверхні тертя в сталях із великою кількістю метастабільного аустеніту, який у процесі зношування перетворюється в мартенсит деформації. Це досить високий показник з погляду відношення твердості абразиву  $H_A$  до твердості матеріалу  $H_M$ , що обумовлює високий рівень зносостійкості. Але глибина ефективної частини борованого шару дорівнює лише 30 мкм [4; 5], що в 10...30 разів менше величини допустимого зносу робочих кромок штампів. Тому для штампів пресформ використання боровання нині не можна вважати перспективним.

Із цих же причин мало ефективним було б використання азотування штампів [6].

У роботах [7; 8; 9] зазначено, що для зміцнення деталей та підвищення їхньої зносостійкості одним із поширених способів є насичення робочої поверхні вуглецем. При цьому глибина ефективного цементованого шару може перевищувати величину допустимого зносу робочої кромки штампів. Залежно від типу сталі, режимів цементації та гартування, структура і властивості цементованого шару можуть змінюватись у дуже широких межах [10].

Якість цементованого шару регламентується такими показниками: твердість поверхні й серцевини, товщина шару, характер розподілу концентрації вуглецю по глибині шару, мікроструктура цементованого шару. Тому для забезпечення оптимальних експлуатаційних властивостей штампів пресформ необхідне отримання оптимального поєднання перерахованих показників, що потребує подальших досліджень.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні недостатньо інформації про здатність до самозміцнення в процесі зношування та зносостійкість поверхні тертя цементованих штампів із низьколегованих сталей ферито-перлітного класу в різних структурних станах при різному вмісту вуглецю.

**Постановка завдань.** Метою роботи було формулювання вимог до основного металу нових штампів і до структури та властивостей цементованого шару матеріалу. Вибір матеріалів для виготовлення нових штампів, структури робочої поверхні та кромок штампів, технології їх хіміко-термічної обробки залежно від умов роботи.

**Виклад основного матеріалу.** У штампах пресформ для виготовлення вогнетривких та будівельних виробів можна виділити два основних елементи: робочу поверхню та робочу кромку. Робоча поверхня штампів являє собою грань, яка передає зусилля, що створює прес, на стовп абразивної маси; формує нижню та верхню сторони виробу; відносно облицювальних пластин, як правило, розташована перпендикулярно (рис. 2, а). Ця поверхня зазвичай є плоскою, інколи має більш складну конфігурацію.

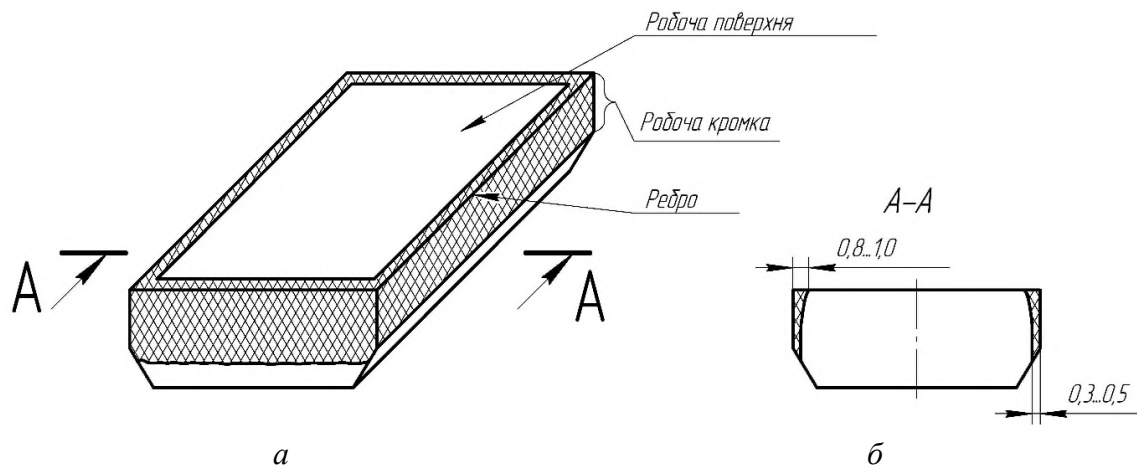


Рис. 2. Схема типового штамп пресформи для пресування вогнетривких або будівельних виробів (а) та характер зносу його робочих кромки (б)

Робоча поверхня і бокова сторона штамп, яка їй перпендикулярна, на перетині утворюють ребро, яке разом із боковою стороною за загальноприйнятою термінологією називають робочою кромкою (рис. 2, а).

Зношування робочої поверхні практично не відбувається, оскільки вздовж неї відсутнє переміщення абразивних частинок. Водночас коли твердість абразиву перевищує твердість металу, не менш складною проблемою, ніж зношування, є шаржування цієї поверхні штамп абразивними частинками маси, яка пресується, та їх налипання у вигляді кірки (рис. 3), що призводить до браку виробу. Так, наприклад, при виробництві мулітокорундових вогнетривів, для зачищення поверхні штамп необхідно переривати роботу пресу через кожні 6...10 ходів.



Рис. 3. Штамп для пресування шамотних виробів із шарженою поверхнею

Робочі кромки штамп в процесі пресування переміщуються вздовж облицювальних пластин пресформи і, при цьому, інтенсивно зношуються як унаслідок сухого тертя металу по металу на початковій стадії роботи пресформи, так і зазвичай у результаті дії абразивних частинок, які неминуче потрапляють у зазор між кромкою і пластиною (рис. 1, в) [1]. Зношування кромки по їх висоті нерівномірне (рис. 2, б). Допустима величина зносу залежно від вимог до якості виробів знаходиться в межах 0,3...1,0 мм [11].

Опірність зношуванню і шаржуванню залежить від чотирьох основних параметрів експлуатації деталей [1]:

- 1) мікротвердості зерен абразивної маси, з якої формується виріб;
- 2) форми й розмірів зерен;

- 3) температури поверхні;
- 4) тиску на поверхню, яка зношується.

Мікротвердість абразивних частинок залежно від виду маси, з якої пресуються виробу (кварцовий пісок, шамот, магнезит, електрокорунд, карборунд та ін.), знаходиться в межах 10...30 ГПа [12]. Форма зерен кварцового піску (рис. 4, а) близька до кулястої, тому ймовірність шаржування поверхні штампу при пресуванні силікатних виробів набагато нижча, ніж при її взаємодії із зернами шамоту, електрокорунду (рис. 4, б, в) та інших подібних абразивів, які використовуються при пресуванні вогнетривких виробів.

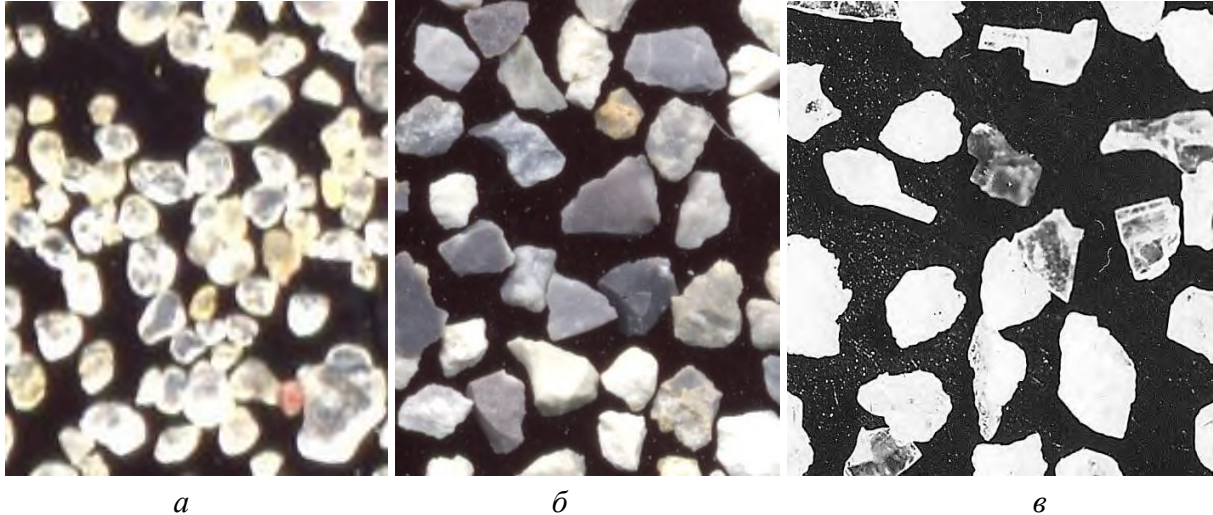


Рис. 4. Абразивні зерна, які входять до складу мас для пресування силікатної цегли і деяких видів вогнетривких виробів,  $\times 6$ :  
а – кварцовий пісок; б – шамот; в – електрокорунд

Швидкість ковзання практично не впливає на інтенсивність зношування деталей пресоюваної оснащення, якщо вона не призводить до помітного фрикційного нагріву поверхонь тертя (150...200° С). В умовах роботи пресформ такий рівень температури практично не можливий [1].

Пресування вогнетривких виробів здійснюється при середніх тисках від 150 до 600 МПа залежно від зусилля, яке розвиває прес, кількості та площі поперечного перетину виробів, які пресуються водночас. При виготовленні силікатної цегли цей показник режиму пресування в 2...3 рази нижче.

Який загальний тиск виникає при дії абразиву на робочу кромку в зазорі між боковою поверхнею штампу й облицювальною пластиною, а також в одиничному контакті її з абразивним зерном визначити складно. Однак, зважаючи на характер зношеної поверхні – канавки (подряпини) з навалами витисненого металу поряд з ними, можна вважати, що тиск є достатнім для виникнення напружень у місці контакту одиничного зерна з поверхнею і, як мінімум, вище межі плинності металу цементованого і загартованого шару сталі 20Х (твердість 55...63 HRC) [1].

Згідно з аналізом умов роботи штампів можна сформулювати в загальному вигляді основні вимоги, які ставляться до матеріалів, призначених для виготовлення нових штампів:

- повинна забезпечуватись достатньо висока зносостійкість робочої кромки й опір шаржуванню абразивом робочої поверхні штампів;
- треба забезпечити підвищений рівень в'язкості та пластичності матеріалу штампів у порівнянні з облицювальними пластинами пресформ;
- повинен забезпечуватись достатній рівень опірності крихкому руйнуванню та пластичній деформації (зминанню) робочої кромки при її взаємодії з облицювальною пластиною пресформи.

Випробування на опір абразивному зношуванню проводили на лабораторному стенді [13], розробленому в Національному університеті «Запорізька політехніка», який дозволяє фізично моделювати умови зношування деталей пресової оснащення. Зношування проводили з використанням шамоту. Досліджувалися зразки зміцнені двома основними способами хіміко-термічної обробки.

Перший – це традиційний, широко відомий спосіб [8; 14; 15], за яким насичення вуглецем відбувається при температурах (860...920 °С) на глибину від 1,0 до 2,0 мм. Гартування проводилось з цементаційного нагріву від цих же самих температур. Концентрація вуглецю безпосередньо на поверхні може сягати 1,0 % (рис. 5, крива 1). По мірі віддалення від поверхні, його вміст плавно зменшується до вихідного рівня в серцевині деталі. На рис. 5 заштрихована область відповідає інтервалу величини допустимого зносу штампів (рис. 2, б).

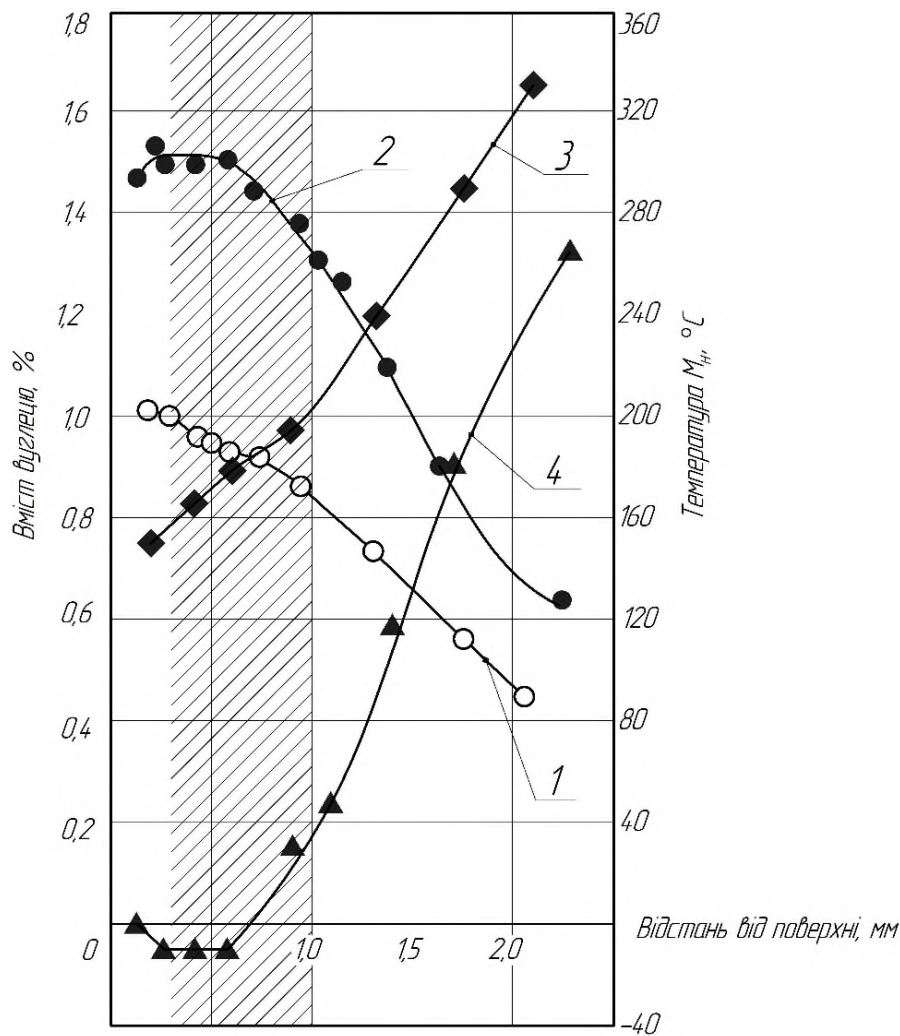


Рис. 5. Зміна концентрації вуглецю та температури початку мартенситного перетворення ( $M_n$ ) за глибиною цементованого шару:

- 1 – зміна концентрації вуглецю після цементації при температурі 860...920 °С [2];
- 2 – зміна концентрації вуглецю після цементації при температурі 1030...1080 °С [2];
- 3 – зміна  $M_n$  після цементації при температурі  $t_H = 860...940$  °С;
- 4 – зміна  $M_n$  після цементації при температурі 1030...1080 °С

Розрахункова температура початку мартенситного перетворення при охолодженні  $M_n$  для хімічного складу цементованого шару на глибині 0,2 мм становить 150 °С.

У міру віддалення від поверхні на глибині 2,0 мм  $M_n$  зростає до 320 °С. В інтервалі значень допустимого зносу (0,3...1,0 мм)  $M_n$  змінюється від 150 до 200 °С. А це означає,

що при гартуванні від температур цементації в шарі переважатиме структура, що включає до 15...20 % цементиту, який перебуває в переважно мартенситній основі (рис. 6, а). Загальна твердість поверхні становить 55...63 HRC. Наявність цементиту в структурі може бути не тільки некорисною, а й мати негативний вплив на зносостійкість. Це пов'язано, по-перше, з тим, що твердість цементиту практично не вища за твердість високовуглецевого мартенситу. По-друге, кристалічна решітка цементиту некогерентно сполучена з решіткою мартенситу. Тому мартенсит не може служити надійною металевою матрицею, яка утримує цементит у структурі при зношуванні. Ці карбіди можуть викришуватись, залишаючи в мартенситній основі мікрозаглиблення, тим самим зменшуючи її опір зношуванню абразивом.

Другий варіант хіміко-термічної обробки розроблений у Національному університеті «Запорізька політехніка» [2]. За цим способом цементація проводиться при високих температурах – 1030...1080 °С з гартуванням безпосередньо від цих температур. Насичення вуглецем поблизу поверхні досягає 1,45 % (рис. 5, крива 2) і плавно зменшується до 1,3 % на відстані від поверхні рівній гранично допустимому зносу. Це досить високий рівень вмісту вуглецю з точки зору здатності поверхні тертя до самозміцнення в процесі зношування сталей із метастабільним аустенітом. Раніше нашими дослідженнями спеціально виплавлених модельних сталей системи Fe-C-Cr було встановлено, що при однакових рівнях кількості метастабільного аустеніту в структурі при збільшенні вмісту вуглецю з 0,5 до 1,5 % мікротвердість поверхні тертя зростає з 9 ГПа до 12 ГПа, а зносостійкість в 5 разів [16].

У цьому випадку розрахункова температура початку мартенситного перетворення  $M_p$  для хімічного складу на початку цементованого шару близька до 0° С. Тому в структурі на початку шару кількість високовуглецевого метастабільного аустеніту складає 80...90 % (рис. 6, б) і близько 50 % на глибині насиченого шару, яка дорівнює величині гранично допустимого зносу кромки штамп.

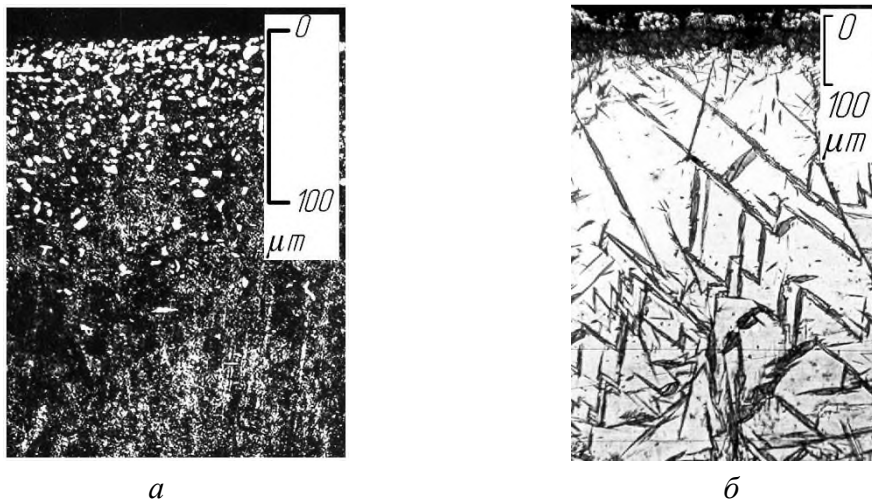


Рис. 6. Структура поверхневого шару сталі 20Х при температурах цементації 860...920 °С (а) та 1030...1080 °С (б) [2]

Механізм зношування оцінювали за характером продуктів поверхневого руйнування.

Для відокремлення з відпрацьованого абразиву металевих продуктів зношування використовувалось спеціальне пристосування (рис. 7, а). Принцип дії такий: неочищений абразив із продуктами зношування з верхнього бункера 4, у результаті дії вібратора 5, тонким шаром подається на похилу скляну пластину 2, під якою розташований постійний магніт 3. Перекочуючись по пластині, немагнітні зерна абразиву потрапляють у нижній бункер 1, а металеві продукти зношування залишаються на склі. Процес повторюється три-чотири рази, поки на склі не залишається жодної неметалевої частки.

Було встановлено, що серед продуктів зношування переважають лускоподібні частинки. Про це свідчать продукти зношування у вигляді мікролусок, які характерні для поверхневого втомного руйнування. Механізм зношування в таких випадках носить малоцикловий полідеформаційний характер.

Серед продуктів зношування є також дугоподібні або спіралеподібні мікростружки (рис. 7, б). Це вказує на те, що одночасно з малоцикловим полідеформаційним руйнуванням поверхні тертя протікає одноактне мікрорізання – процес значно інтенсивний, ніж втомне руйнування. Це також свідчить про те, що напруження в місці контакту абразивного зерна зі зношуваною поверхнею можуть перевищувати межу міцності металу.

При зношуванні річковим кварцовим піском, який добувають в р. Дніпро поблизу м. Запоріжжя, мікростружки практично не виявлено.

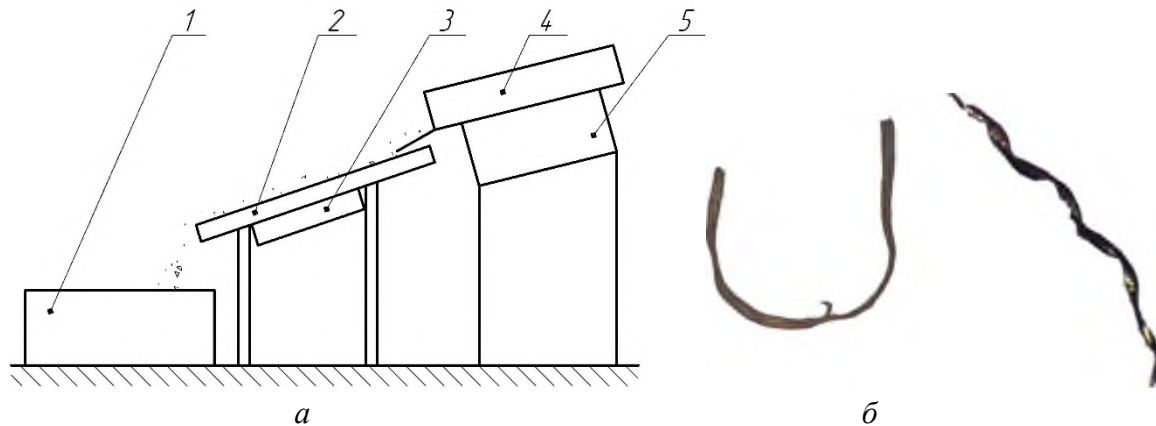


Рис. 7. Схема пристосування для відокремлення продуктів зношування з відпрацьованого абразиву (а) і характерний вид продуктів зношування (б), які утворюються в результаті одноактних процесів мікрорізання

У тих випадках, коли основною вимогою є опірність шаржуванню робочої поверхні, хіміко-термічну обробку штампів варто проводити за першим способом. Якщо ж штампи застосовуються для пресування маси, яка не схильна до шаржування поверхні, то їх хіміко-термічну обробку необхідно виконувати за другим варіантом. Дослідження, проведенні в лабораторних умовах, а також виробничі випробування штампів при виготовленні силікатної цегли та вогнетривких виробів показали, що при обробці зразків і деталей за другим варіантом, в порівнянні з першим способом, зносостійкість робочих кромek удвічі вища, при більш високій стійкості до сколювання фрагментів кромek у процесі роботи. Але навіть при повній реалізації можливостей цементованих сталей, термін служби штампів усе ж недостатній. Залишається проблема сколювання робочих кромek пластин штампів. Тому для подальших досліджень залишається актуальною задача розробки і вдосконалення технології відновлення їхніх робочих кромek наплавленням.

**Висновки відповідно до статті.** Штампи пресформ для виготовлення вогнетривких виробів і будівельної силікатної цегли повинні відповідати наступним вимогам: їхня робоча поверхня повинна мати достатньо високий опір шаржуванню абразивною масою, а робоча кромка – якомога більш високу зносостійкість при достатній експлуатаційній надійності.

Використання для виготовлення штампів високовуглецевих інструментальних сталей типу Х12 дуже ускладнено через недостатню експлуатаційну надійність, особливо при незначній їх товщині.

Нині найбільш прийнятними матеріалами для виготовлення штампів є сталі феритоперлітного класу типу 20Х та їх зміцнення шляхом цементації та гартування за двома основними варіантами:

1) цементація за порівняно невисокими температурами 860...940 °С і гартування від цих же самих температур на переважно мартенситну структуру цементованого шару твердістю 55...63 HRC;



2) насичення вуглецем при нетрадиційно високих температурах в інтервалі 1030...1080 °С і гартування від цих же температур на структуру цементованого шару з переважно метастабільним аустенітом та твердістю поверхні 36...42 HRC.

Якщо переважною експлуатаційною вимогою до штампів є опір їхньої робочої поверхні шаржуванню, то хіміко-термічну обробку необхідно проводити за першим варіантом. Якщо шаржування не є критичною проблемою, то обробку треба проводити за другим способом. При цьому, в порівнянні з першим способом, зносостійкість робочих кромок удвічі вища.

### Список використаних джерел

1. Андрущенко М. І., Осіпов М. Ю., Капустян О. Є., Савонов Ю. М., Акритова Т. О., Кузьма С. О. Відновлення та зміцнення штампотримачів прес-форм для виготовлення силікатної цегли. *Актуальні наукові дослідження в сучасному світі* : матеріали XXXV Міжнародної наукової конференції, лютий 2018 р. Переяслав-Хмельницький, 2018. № 2(36), ч. 6. С. 151–157.
2. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навч. посіб. / за ред. В. С. Попова. Запоріжжя : Мотор Січ, 2006. 420 с.
3. Чейлях А. П., Чейлях Я. А., Самогугина Ю. С. Перспективные упрочняющие технологии обработки материалов : учеб. пособие. Мариуполь : ООО «ППНС», 2016. 378 с.
4. Костик К. О. Зміцнення прес-форм лиття під тиском по нанотехнології. *Машинобудування*. 2013. № 12. С. 113–118.
5. Гармаева И. А. Фазовый состав и кинетика формирования диффузионных слоев при борировании сталей : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.01. Барнаул, 2008. 16 с.
6. Витязь П. А., Белый А. В., Кукареко В. А., Шаркеев Ю. П. Сопротивление контактному и усталостному разрушению модифицированных ионами азота хромистых сталей. *Физическая мезомеханика*. 2004. Ч. 2. С. 149–152.
7. Жуков А. А., Навоев А. П., Фокин Б. В. Энергосберегающая двухступенчатая цементация. *Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева*. 2018. № 2 (45). С. 160–166.
8. Жуков А. А., Навоев А. П. Применение цементации в области температур полиморфного превращения для энергосберегающего поверхностного упрочнения при восстановлении деталей машин. *Машиностроение: инновационные аспекты развития: Ремонт машин и оборудования*. 2018. № 1. С. 106–109.
9. Чейлях А. П., Рябикина М. А., Мак-Мак Н. Е. Связь износостойкости, шероховатости поверхности и параметров закалки цементованных конструкционных сталей. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2017. № 34. С. 30–39.
10. Чейлях А. П., Рябикина М. А., Караваева Н. Е. Влияние закалки на структуру, состав метастабильного остаточного аустенита и абразивную износостойкость цементованных конструкционных сталей. *Вісник приазовського державного технічного університету*. 2012. Вып. 25. С. 95–101.
11. Куликовський Р. А. Восстановление наплавкой штампов пресс-форм. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2012. № 2. С. 67–70.
12. Акрытова Т. А., Капустян О. Е., Брыков М. Н., Андрущенко М. И., Осіпов М. Ю., Мягкий И. В. Исследование влияния свойств абразивных материалов на способность к самоупрочнению и интенсивность изнашивания сталей в различном структурном состоянии. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем* : матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 травня 2019 р. Чернігів, 2019. Т. 2. С. 86-88.
13. Андрущенко М. І., Куликовський Р. А., Акритова Т. О., Капустян О. Є., Бриков М. М., Осіпов М. Ю. Дослідження та розробка стандартних і спеціальних випробувань матеріалів на опір безударному абразивному зношуванню. *Перспективні технології та прилади* : міжвузівський збірник. Луцьк : Луцький НТУ, червень 2019. С. 12–23.
14. Материаловедение и технологии металлов : учебник для студ. вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюкин и др. Москва : Высш. шк., 2000. 638 с.
15. Термическая обработка в машиностроении : справочник / за ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. Москва : Машиностроение, 1980. 783 с.

16. Андрущенко М. И., Куликовский Р. А., Осипов М. Ю., Холод А. В., Капустян А. Е. Способность к самоупрочнению поверхности трения в процессе абразивного изнашивания и износостойкость сталей в зависимости от содержания углерода и хрома. *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении*. 2014. № 1. С. 92–99.

### References

1. Andrushchenko, M. I., Osipov, M. Yu., Kapustian, O. Ye., Savonov, Yu. M., Akrytova, T. O., Kuzma, S. O. (2018). *Vidnovlennia ta zmitsnennia shtampotrymachiv pres-form dlia vyhotovlennia sylikatnoi tsehly [Recovery and strengthening of stampers of press forms for manufacture of silicate brick], materialy XXXV Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [Materials of the XXXV International Science Conference]* (Pereiaslav-Khmelnitskyi, February, 2018). Pereiaslav-Khmelnitskyi [in Ukrainian].

2. Popov, V. S. (Ed.). (2006). *Znosostiikist splaviv, vidnovlennia ta zmitsnennia detalei mashyn [Wear resistance of alloys, restoration and hardening of machine parts]*. Zaporizhzhia: Motor Sich [in Ukrainian].

3. Cheiliakh, A. P., Cheiliakh, Ya. A., Samotuhyna, Yu. S. (2016). *Perspektivnye uprochniaiushchie tekhnologii obrabotki materialov [Promising hardening technologies of material handling]*. Maryupol: PPNS [in Russian].

4. Kostyk, K. O. (2013). *Zmitsnennia pres-form lyttia pid tyskom po nanotekhnolohii [Molds hardening for injection molding by nanotechnology]*. *Mashynobuduvannia – Mechanical engineering*, 12, 113–118 [in Ukrainian].

5. Harmaeva, I. A. (2008). *Fazovyj sostav i kinetika formirovaniia diffuzionnykh sloev pri borirovanii stalej [Phase Composition and formation kinetics of diffusion layers at borating of steel]*. (PhD thesis). Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. I. I. Polzunova, Barnaul [in Russian].

6. Vitjaz', P. A., Belyj, A. V., Kukareko, V. A., Sharkeev, Ju. P. (2004). *Soprotivlenie kontaktnomu i ustalostnomu razrusheniju modifitsirovannykh ionami azota hromistykh stalej [Resistance to contact and fatigue failure of chromium steels modified with nitrogen ions]*. *Fizicheskaja mezomehanika – Physical Mesomechanics*, 2, 149–152 [in Russian].

7. Zhukov, A. A., Navoev, A. P., Fokin, B. V. (2018). *Energosberegaiushchaia dvukhstupenchataia tsementatsiia [Energy-saving two-stage cementation]*. *Vestnik rybinskoj gosudarstvennoj aviacionnoj tehnologičeskoi akademii im. P. A. Soloveva – Herald of Rybinsk state aviation technological academie them. P. A. Soloviev*, 2 (45), 160–166 [in Russian].

8. Zhukov, A. A., Navoev, A. P. (2018). *Primenenie tsementatsii v oblasti temperatur polimorfno go prevrashheniia dlia energosberegaiushchego poverhnostnogo uprochneniia pri vosstanovlenii detalei mashin [The use of cementation in the temperature range of polymorphic transformation for energy-saving surface hardening at restoring machine parts]*. *Mashinostroenie: innovacionnye aspekty razvitiia: Remont mashin i oborudovaniia – Engineering: innovative aspects of development: Repair of machinery and equipment*, 1, 106–109 [in Russian].

9. Cheiliakh, A. P., Riabikina, M. A., Mak-Mak, N. E. (2017). *Sviaz iznosostoikosti, sherohovatosti poverhnosti i parametrov zakalki tsementovannykh konstrukcionnykh stalei [Communication of wear resistance, surface roughness and quenching parameters of cemented structural steels]*. *Visnyk pryazovskoho derzhavnoho tehničnoho universytetu – Herald of Priazov State Technical University*, 34, 30–39 [in Russian].

10. Cheiliakh, A. P., Riabikina, M. A., Karavaeva, N. E. (2012). *Vliianie zakalki na strukturu, sostav metastabilnogo ostatochnogo austenita i abrazivnuiu iznosostojkost tsementovannykh konstrukcionnykh stalei [The effect of quenching on the structure, composition of metastable residual austenite and abrasion resistance of cemented structural steels]*. *Visnyk pryazovskoho derzhavnoho tehničnoho universytetu – Herald of Priazov State Technical University*, 25, 95–101 [in Russian].

11. Kulykovskiy, R. A. (2012). *Vosstanovlenie naplavkoi shtampov press-form [restoration of stamps press-form by surfacing]*. *Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 2, 67–70 [in Russian].

12. Akrytova, T. A., Kapustian, O. Ye., Brykov, M. N., Andrushchenko, M. I., Osipov, M. Yu., Mjagkij I. V. (2019). *Issledovanie vliianiia svoistv abrazivnykh materialov na sposobnost k samouprochneniiu i intensivnost iznashivaniia stalei v razlichnom strukturnom sostoianii [Investigation of properties influence of abrasive materials on self-hardening ability and intensity wear of steel in various structural state]*. *Materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktyčnoï konferentsii – Materials of the IX International scientific-practical conference* (Chernihiv, May 14–16, 2019) (pp. 86–88) Chernihiv [in Russian].

13. Andrushchenko, M. I., Kulykovskiy, R. A., Akrytova, T. O., Kapustian, O. Ye., Brykov, M. M., Osipov, M. Yu. (2019). Doslidzhennia ta rozrobka standartnykh i spetsialnykh vyprobuvan materialiv na opir bezudarnomu abrazivnomu znoshuvanniu [Investigation and development of standard and special test of materials resistance to shockless abrasive wear]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Advanced Technologies and Devices*, 14, 12–23 [in Ukrainian].

14. Fetisov, G. P., Karpman, M. G. ... Matjukin, V. M. (2000). *Materialovedenie i tehnologii metallor [Materials science and technology of metals]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

15. Lahtina, Ju. M., Rahshtadta, A. G. (Ed.). (1980). *Termicheskaja obrabotka v mashinostroenii [Heat treatment in mechanical engineering]*. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].

16. Andrushchenko, M. I., Kulikovskij, R. A., Osipov, M. Yu., Holod, A. V., Kapustian, O. Ye. (2014). Sposobnost k samouprochneniiu poverhnosti treniia v processe abrazivnogo iznashivaniia i iznosostoičnost stali v zavisimosti ot sodержaniia ugleroda i khroma [The ability to self-strengthening of friction surfaces in the abrasive wear process and wear resistance of steels depending on the carbon and chromium content]. *Novye materialy i tehnologii v metallurgii i mashinostroenii – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, 1, 92–99 [in Russian].

UDC 621.785.5

*Taisiia Akrytova, Mykhaylo Andrushchenko, Oleksii Kapustian,  
Ruslan Kulykovskiy, Mykhaylo Osipov*

## HARDENING TECHNOLOGY OF STAMPS MOLDS FOR THE MANUFACTURE OF REFRACTORY AND BUILDING PRODUCTS BY CEMENTATION

**Urgency of the research.** To a large extent, the quality and cost of silicate bricks and refractory products depend on the durability and reliability of the mold dies. Therefore, the choice of optimal materials for the manufacture of dies, methods of hardening and increase service life is an urgent task.

**Target setting.** Currently, the life of mold dies for pressing silicate brick and refractory products ranges from several hours to 15 days. Therefore, it is important to develop, study and substantiate the main criteria for selecting stamp materials, methods and technologies for their strengthening.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A comparative analysis of possible modern options for the manufacture of dies from different steels, their thermal and chemical-thermal treatment.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** At present, there is insufficient information about the ability to self-harden during friction and wear resistance of the friction surface of cemented dies made of low-alloy steels of ferrite-pearlite class in various structural states with different carbon contents.

**The research objective.** The aim of the work was the selection of materials for the manufacture of new dies, the structure of the working surface and the edges of the dies, the technology of their chemical-thermal treatment, depending on the working conditions.

**The statement of basic materials.** The working conditions of the mold dies, the mechanism and the nature of their wear are investigated. Two fundamentally different approaches to the hardening processes of mold dies from low alloy steels of type 20X are considered. The first is the generally accepted technology of cementation at relatively low temperatures - 860...940° C and hardening on a predominantly martensitic structure. The second is the saturation of the surface of the part with carbon at high temperatures - 1030...1080° C and hardening on the structure with a large amount (80...95 %) of high-carbon metastable austenite.

**Conclusions.** Currently, the most suitable materials for the manufacture of mold dies are steel ferrite-pearlite class type 20X and their hardening by cementation and hardening. The choice of one of the proposed cementation options depends on which of the requirements for dies is the main one - the stability of the abrasive to grind the work surface or the resistance to wear of the working edge.

**Keywords:** stamp; pres form; construction products; refractory products; cementation.

Fig.: 7. References: 16.

**Акритова Таїсія Олександрівна** – аспірант, кафедра обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

**Akrytova Taisiia** – PhD student, Department of Welding Technology and Equipment, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

**E-mail:** akritova7@ukr.net

**Андрущенко Михайло Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

**Andrushchenko Mykhaylo** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

**E-mail:** andrushmi@gmail.com

**SCOPUS Author ID:** 6506764056

**ResearcherID:** S-7068-2018

**Капустян Олексій Євгенович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

**Kapustian Oleksii** – PhD in Technical Science, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

**E-mail:** aek@zntu.edu.ua

**SCOPUS Author ID:** 57189211531

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8979-8076>

**ResearcherID:** AAE-9514-2019

**Куликовський Руслан Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

**Kulykovskiy Ruslan** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

**E-mail:** r.kulikovski@ukr.net

**SCOPUS Author ID:** 55071069100

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8781-2113>

**ResearcherID:** V-2212-2018

**Осіпов Михайло Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання та технології зварювального виробництва, Національний університет «Запорізька політехніка» (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна).

**Osipov Mykhaylo** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technology and Equipment Department, Zaporizhzhia Polytechnic National University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

**E-mail:** mosipov61@ukr.net

**SCOPUS Author ID:** 7005485836

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7903-9463>

**ResearcherID:** AAF-4993-2019