

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.791

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-1>

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО ПРЕСОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОРОШКОВОГО ДРОТУ

Бойко Ігор Олександрович,

кандидат технічних наук,

доцент кафедри металургії, матеріалознавства та організації виробництва

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

ORCID ID: 0000-0001-7742-4694

Пашинський Володимир Вікторович,

доктор технічних наук, доцент,

завідувач кафедри металургії, матеріалознавства та організації виробництва

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

ORCID ID: 0000-0003-0118-4748

Пашинська Олена Генріхівна,

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,

професор кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

ORCID ID: 0000-0001-7102-1544

Стаття присвячена підвищенню зносостійкості наплавленого пресового інструменту зі сталей 3Х3М3Ф та 38ХН3МФА для екструджування кольорових сплавів шляхом удосконалення порошкового дроту для наплавлення. Розглянуті переваги та недоліки різних класів наплавочних матеріалів і запропоновано використати вдосконалений порошковий дріт марки ПП-45Х5В2ГСМФА. У разі наплавлення самозахисним порошковим дротом легуюча частина цієї сталі забезпечує підвищену твердість за високих робочих температур пресування завдяки комплексному зміцненню мартенситної матриці карбідами вольфраму, хрому й інших елементів, а також додатковому зміцненню нітридом ванадію. Це дозволяє суттєво збільшити ресурс інструменту. Крім того, легування хромом на рівні 4,5–5% підвищило схоплювання з оброблюваним металом. Розгаростійкість, або термовтомна міцність, наплавленого шару підвищена шляхом підбору й оптимізації газошлакоутворювальних компонентів. Оболонку порошкового дроту трубчатої конструкції виготовлено зі сталі 65Г, що дозволило виключити графіт як вуглець-утворювальний компонент. Це суттєво покращило стабільність плавлення порошкового дроту та зменшило забрудненість наплавленого металу неметалевими включеннями екзогенного характеру. Промислові випробування порошкового дроту ПП-45Х5В2ГСМФА проводились для відновлення та зміцнення матриць для гарячого пресування зі сталі 3Х3М3Ф, прес-шайб з ЕШП-сталі цієї ж марки. Відновлені наплавленням матриці порівняно з новими не наплавленими матрицями показали стійкість у 2,4–2,5 рази вище, а просадка робочого діаметра після 5 циклів пресування зменшилася втричі. Повна вартість відновлення матриці наплавленням в 1,5–2 рази нижче вартості нової матриці зі сталі 3Х3М3Ф. Наплавлення розробленим порошковим дротом прес-шайб дозволило підняти зносостійкість не менше ніж удвічі.

Ключові слова: пресовий інструмент, зношування, розгаростійкість, стійкість до схоплювання, наплавлення, самозахисний порошковий дріт, середньохромиста сталь, стійкість, прес-матриця, прес-шайба.

Boiko Ihor, Pashynskyi Volodymyr, Pashynska Olena. Increasing of wear resistance of surfaced press tools by improving of flux-cored wire

The article is devoted to increasing the wear resistance of welded press tools made of 3X3M3F and 38KhN3MFA steels for extruding non-ferrous alloys by improving the flux-cored wire for surfacing. The advantages and disadvantages of different classes of surfacing materials are considered and it is proposed to use the improved flux-cored wire of the PP-45X5V2GSMFA grade. In the case of surfacing with self-shielded flux-cored wire, the alloying part of this steel provides increased hardness at high pressing operating temperatures due to the complex strengthening of the martensitic matrix with tungsten, chromium and other carbides, as well as additional strengthening with

vanadium nitride. This significantly increases tool life. In addition, chromium alloying at the level of 4,5–5% increased the adhesion to the metal being processed. The heat resistance or thermal fatigue strength of the deposited layer was increased by selecting and optimising the gas and slag components. The tube-shaped flux-cored wire sheath is made of 65G steel, which made it possible to exclude graphite as a carbon-forming component. This significantly improved the melting stability of the flux-cored wire and reduced the contamination of the deposited metal with non-metallic inclusions of an exogenous nature. Industrial tests of PP-45X5V2GSMFA flux-cored wire were carried out to restore and strengthen hot pressing dies made of 3X3M3F steel and press washers made of ESD steel of the same grade. The dies restored by surfacing, compared to new non-surfaced dies, showed 2,4–2,5 times higher resistance, and the drawdown of the working diameter after 5 pressing cycles was reduced by three times. The total cost of restoring the die by surfacing is 1,5–2 times lower than the cost of a new die made of 3X3M3F steel. The surfacing of press washers with the developed flux-cored wire made it possible to increase the wear resistance by at least two times.

Key words: press tool, wear, flame resistance, adhesion resistance, surfacing, self-shielded flux-cored wire, medium chromium steel, durability, press die, press washer.

Багаторічна боротьба за високий ресурс металургійного інструменту й обладнання набирає актуальності з кожним днем. Останніми роками на підприємствах кольорової металургії, що спеціалізуються на випуску екструдованої продукції, загострилася проблема неналежної стійкості пресового інструменту (матриці, прес-шайби, шплінтони та прес-втулки). Вона проявляється насамперед у його передчасному зносі [1; 2].

Однією із проблем є неналежна, за сучасними вимогами, стійкість робочої поверхні інструменту в умовах великих теплових навантажень. У роботах [2; 3] розглянуті питання стійкості інструменту гарячого пресування, наведені рекомендації з вибору складу наплавленого металу. Визначено, що під час оброблення металів у гарячому стані розрізняють такі специфічні види зносу: мікрорізання, глибинне виривання через схоплювання, атомарний знос, зім'яття робочої поверхні, окислювальний знос і сітку розгарних тріщин. Зниження стійкості також пов'язане із забрудненням неметалічними включеннями на ділянці прогріву та високих контактних напруг, утворенням хімічної та механічної неоднорідності робочого шару, що підтверджується нерівномірністю зношування інструменту.

Основними тенденціями подальшого розвитку матеріалів і технологій наплавки [5–7] стало застосування високолегованих матеріалів на основі системи Fe – C – Cr із додаванням сильних карбідоутворювальних елементів застосування жароміцних сплавів на нікелевій основі. Досліджується також можливість модифікування металу наплавленого шару частками неметалічної фази (наночастки карбідів, оксиди рідкоземельних елементів) [8; 9]. Дуже велика увага приділяється також розвитку нових і вдосконаленню наявних технологій наплавлення [7; 10]. Аналіз літератури показує, що, незважаючи на деякі переваги новітніх технологій

у наплавленні складнолегованих матеріалів і їхню високу продуктивність, для вирішення завдань відновлення відносно невеликих об'ємів інструменту в умовах неспеціалізованого підприємства є аргоно-дугове наплавлення [6; 11]. Це зумовлено високою технологічною гнучкістю процесу та його низькою собівартістю.

Ефективним способом підвищення стійкості інструментів, що працюють в умовах абразивного зношування, є наплавлення самозахисним порошковим дротом (СПД) [1; 2; 4]. Наявні порошкові дроти до деякого етапу відповідали вимогам виробництва, проте у зв'язку з необхідністю пресування міцніших сплавів, розширення температурного інтервалу пресування з'являється необхідність подальшого підвищення стійкості наплавленого металу з одночасним поліпшенням зварювально-технологічних властивостей порошкового дроту. Одним із напрямів підвищення якості наплавленого металу та варіювання його хімічного складу є застосування самозахисного порошкового дроту з оболонкою з вуглецевої термічно поліпшеної стрічки [2]. У роботах [1; 2] показано, що самозахисний порошковий дріт для наплавлення пресового інструменту гарячої обробки кольорових металів марки ПП-5X12B5 успішно виготовлявся, експлуатувався на заводі з оброблення кольорових металів ЗКМ (м. Бахмут).

Нами був зроблений критичний аналіз вітчизняних і світових практик в галузі проектування й експлуатації наплавочних матеріалів для інструменту гарячої обробки металів. Розглянуті методи боротьби з підвищеним вмістом неметалічних включень у металі, наплавленому самозахисним порошковим дротом. Попри те, що постійно вдосконалюються технології виготовлення порошкових дротів, складу наповнювачів, технології наплавлення, зміст неметалевих включень у металі наплавлення зазвичай залишається досить високим. Сумарна кількість неметалевих включень у металі, наплавленому

порошковими дротами рутилового типу, становить 0,25–0,35%, а в металі зносостійкого наплавлення, виконаного порошковим дротом із фтористо-кальцієвою основою, – 0,2–0,25%. Окрім цього, включення можуть коагулювати, утворювати великі концентратори напружень, які істотно знижують термовтомну міцність матеріалу та можуть призводити до утворення тріщин.

За результатами багаторічної науково-практичної діяльності було запропоновано використати наплавочну сталь 45X5B2ГСМФА для відновлення та зміцнення інструменту гарячої обробки кольорових металів [17; 18]. Вдалося розробити та виготовити самозахисний порошок дріт в оболонці зі сталі 65Г без графіту в сердечнику [19]. Способом наплавлення виступає механізоване наплавлення самозахисним порошковим дротом. Легуюча частина цієї сталі зможе забезпечити підвищену твердість за підвищених робочих температур пресування завдяки комплексному зміцненню мартенситної матриці карбідами вольфраму, хрому й інших елементів, а також додатковому зміцненню нітридом ванадію в разі наплавлення самозахисним порошковим дротом. Стійкість до схоплювання з оброблюваним металом забезпечується легуванням хромом на рівні 5,5–6%, що за підвищеної гарячої твердості цієї сталі дозволить збільшити ресурс інструменту. Розгаростійкість, або термовтомна міцність, істотним чином залежить від якості сталі, тому одним із напрямів оптимізації є зниження шкідливих домішок. Це питання передбачається вирішити шляхом підбору й оптимізації газошлакоутворювальних компонентів для глибокої металургійної дії шлаку на метал краплі та ванни. Зниження витрат на термообробку (відпал перед механічною обробкою та загартування після неї) може бути досягнуте регулюванням термічного циклу наплавлення: режимами та поперединим і супутнім підігрівом.

Отже, виходячи з аналізу наявної науково-технічної інформації, одним із перспективних напрямів підвищення стійкості пресового інструменту для екструдуювання кольорових металів варто вважати механізовану наплавку зносостійкими матеріалами з використанням самозахисної порошкової проволочки. Найбільш ефективними з погляду співвідношення властивості/ціна є наплавочні матеріали системи Fe – C – Cr із додатковим легуванням карбідоутворювальними компонентами. Але вибір ефективного складу матеріалу залежить від умов експлуатації інструменту.

Ціллю роботи є підвищення стійкості пресового інструменту для обробки кольорових

металів завдяки наплавленню порошковим дротом із сталі 45X5B2ГСМФА.

Матеріал та методика дослідження. Для правильного підбору хімічного складу наплавленого металу, здатного задовольнити сучасні вимоги до інструменту гарячої обробки кольорових металів і сплавів, необхідно виявити особливості процесу його зносу, що спостерігаються під час роботи інструменту. Також необхідно виділити найважливіші властивості матеріалу інструменту, що дають здатність протистояти зносу (висока твердість, підвищений опір схоплюванню, а також розгаростійкість). На основі цього вибрати тип матеріалу, що наплавляється, та виконати коригування його складу для досягнення максимальної ефективності. Для підтвердження ефективності ухвалених рішень необхідно виконати визначення параметрів стійкості інструменту в реальних умовах виробництва.

Дослідження випадків виходу пресового інструменту з ладу та виявлення причин низької стійкості інструменту, які потрібні для вдосконалення технології відновлення методом наплавлення робочої поверхні, виконували шляхом моніторингу процесу експлуатації інструменту в умовах реального виробництва ТОВ «ЗКМ» (м. Бахмут) з фіксацією умов експлуатації та причин виходу з ладу.

Вибір базового складу матеріалу для подальшої його модифікації проводили на основі аналізу літературних даних і досвіду експлуатації наплавлених деталей в умовах ТОВ «ЗЦМ» (м. Бахмут).

Наплавлення деталей для проведення визначення стійкості в умовах діючого виробництва виконували за схемою «за гвинтовою лінією».

Визначення твердості дослідних сталей у лабораторних умовах проводили за методом Роквела (HRC) на твердомірі ТК-2м. У цехових умовах для цього використовували портативний твердомір ТКМ-459м. Гарячу твердість вимірювали за методикою [13].

Мікроструктуру дослідного металу та вміст неметалевих включень досліджували методом оптичної металографії на мікроскопі фірми ZEISS у діапазоні збільшень $\times 100$ – $\times 1000$ з подальшим аналізом у програмі *ProgRes CapturePro 2.1*.

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз причин виходу з ладу пресового інструменту показав, що основними причинами зняття інструменту з експлуатації є:

– відхилення від гранично допустимих розмірів формуютьального профілю внаслідок

зношування механізму мікрорізання робочої поверхні матеріалом, що екстрадується, наприклад заготовкою з Л68 (рис. 1);

– катастрофічний вихід з ладу внаслідок налипання матеріалу, що екстрадується, наприклад це стосується заготовки з Л68 (рис. 2).



Рис. 1. Мікрорізання заготовкою робочої поверхні прес-втулки зі сталі 38ХНЗМФА внаслідок її неналежної твердості

Дослідження показали, що налипання розвивається за двома механізмами:

– унаслідок «схоплення» поверхні інструменту та матеріалу, що обробляється, через розвиток процесів адгезії;

– унаслідок попереднього формування сітки тріщин термічної втоми, що утруднює відносно переміщення матеріалу по поверхні інструменту та створює активні осередки для розвитку процесів адгезії.



Рис. 2. Налипання матеріалу заготовки на матрицю зі сталі 3ХЗМЗФ

Якщо для зменшення явища мікрорізання потрібно збільшувати твердість робочої поверхні інструменту, то для запобігання

налипанню матеріал має мати властивості, які, деякою мірою, вступають у суперечність. Підвищення стійкості до налипання потребує підвищення твердості та формування стійкої плівки оксидів на поверхні, тоді як опір термічній втомі вимагає підвищених характеристик в'язкості. Також для цього необхідно формування однорідної структури з мінімізованим вмістом неметалевих включень.

Тому вибір наявного або розроблення нового матеріалу для наплавлення є комплексним завданням. Аналіз літератури [3; 4; 6; 7] показує, що середньовуглецеві середньолеговані мартенситні сталі з карбідним зміцненням уже понад 50 років є лідерами у виробництві та ремонті інструменту для гарячої обробки кольорових сплавів, зважаючи на високу технологічність, відносно низьку вартість і гарний баланс властивостей сталі, здатної протистояти зносу такого інструменту. Такі сталі, як 5ХМФ, 3ХЗМЗФ, 3Х5ВМФ, 38ХНЗМФА, 4Х5МФ1С тощо, застосовуються для виробництва прес-шайб, матриць і прес-втулок. Проте, наприклад, матриця зі сталі 3ХЗМЗФ розміром 160 x 107, 3 x 40 мм, за даними ПАТ «ЗКМ», здатна витримати в середньому всього 30–40 пресувань під час виробництва круглої заготовки з латуні марки Л68 до збереження початкового розміру калібрувальної частини матриці.

Найважливішим критерієм стійкості інструментальних сталей для гарячої обробки, що випробовують окислення, термічну втому (термоциклування), схоплювання й інші види зносу, служить їхня твердість за високих температур. Для виготовлення, відновлення та зміцнення пресового інструменту можна виділити основні напрями оптимізації:

- зниження початкової вартості сталі в поєднанні із прийнятною стійкістю;
- підвищення стійкості до схоплювання з оброблюваним металом;
- підвищення розгаростійкості;
- зниження початкової твердості для поліпшення оброблюваності різанням;
- зниження витрат на термообробку.

Для виготовлення вдосконаленого порошкового дроту застосовується стрічка зі сталі 65Г у відпаленому стані. Легування наплавленого металу вуглецем здійснюється через оболонку порошкового дроту, виконану зі сталі 65Г. Коефіцієнт маси оболонки становить 0,65–0,7, що забезпечує перехід вуглецю в наплавлений метал з оболонки в межах 0,38–0,42%. Додаткове легування вуглецем до рівня 0,43–0,48 % здійснюється через феросплави, у яких,

у даному разі, вуглець є корисною домішкою. Вищеперелічені заходи дозволяють не використати найбільш тугоплавкий компонент шихти – графіт, який істотно знижує швидкість плавлення сердечника порошкового дроту та призводить до осипання неоплавленої його частини у зварювальну ванну. Окрім підвищення рівня неметалевих включень, цей процес погіршує гомогенність наплавленого металу, а також знижує стійкість до тріщиноутворення, тому виключення графіту, як головного вуглець-утворювального компонента порошкового дроту, є дуже важливим напрямом у розвитку наплавочних матеріалів.

Шихта самозахисного порошкового дроту типу ПП-45Х5В2ГСМФА в оболонці зі сталі 65Г складається з газшлакоутворювальної, легуючої та розкислювальної частини, а також баластного компонента – залізного порошку. Основні компоненти газшлакоутворювальної частини шихти такі: плавиковий шпат, рутиловий концентрат, карбонат кальцію, які взяті у пропорції 5–4–2. Для покращення віддільності шлакової корки до складу шихти додатково вводиться діоксид цирконію, маса якого дорівнює масі карбонату кальцію. Розкислення металу зварювальної ванни відбувається завдяки феротитану, а також ферокремнію та феромарганцю. Основне легування наплавленого металу здійснюється введенням до складу шихти металевих хрому, порошків вольфраму, ферованадію та молібдену.

Самозахисний порошковий дріт діаметром 2,0 мм перед наплавленням прокалюється за температури 200–220°C протягом 1,5–2 годин для зневоднювання та нейтралізації волоочильного мастила. Даний процес відбувається в муфельній електропічі попереднього підігріву разом із деталями, які будуть наплавлятися, що суттєво економить електричну енергію.

Наплавлення матриці для пресування виконувалось каскадно-кільцевим способом під кутом 45° до нормалі. Як основа виробу використовувалася зношена матриця зі сталі 3Х3М3Ф, заздалегідь розточена під наплавлення, яка пройшла ультразвуковий контроль. Перед наплавленням проводилося попереднє підігрівання до температури 230–250°C, а після нього виріб поміщався в муфельну електропіч для зняття внутрішніх напружень і подальшого гомогенізуючого відпалу за 650–680°C. Зовнішній вигляд наплавленої матриці представлений на рис. 5-а. На рис 5-б представлений зовнішній вигляд відпрацьованої матриці після 90 пресувань (штампоударів) труби зі сплаву МНЖ 5-1.



а б
Рис. 5. Загальний вигляд сфероконічної матриці зі сталі 3Х3М3Ф діаметром 59,9 мм для пресування, наплавленої сталлю 45Х5В2ГСМФА каскадно-кільцевим способом (а) та після 90 пресувань сплаву МНЖ 5-1 (б)



а б
Рис. 6. Загальний вигляд пресової шайби діаметром 205 мм: а) після наплавлення; б) після 40 циклів пресувань сплаву МНЖ 5-1



Рис. 7. Мікроструктура наплавленого металу типу 45Х5В2ГСМФА (x400)

Промислові випробування наплавленої середньохромистої високоякісної сталі 45Х5В2ГСМФА, уперше застосованої для відновлення та зміцнення матриць для гарячого пресування, проходили на ПАО «ЗКМ»

(м. Бахмут). Наплавлені сфероконічні матриці та прес-шайби випробовувались на горизонтальному гідравлічному пресі зусиллям 3150 т для пресування круглої заготовки зі сплаву МНЖ-5-1. Порівняно з новими матрицями зі сталі 3Х3М3Ф, відновлені наплавленням матриці показали стійкість у 2,4–2,5 раза вище, а просадка робочого діаметра після 5 циклів пресування зменшилася у 2,8–3,2 раза. Стійкість прес-шайб після наплавлення підвищилася у 2,3–2,5 раза. Повна вартість відновлення матриці або прес-шайби наплавленням в 1,5–2 рази нижче вартості нової деталі зі сталі 3Х3М3Ф, отже, вартість одного штампоудару зменшилась майже утричі.

Висновки. Аналіз сучасного стану питання використання різних видів сталей для виготовлення та (або) відновлення та зміцнення

пресового інструменту показав суттєві переваги середньохромистих сталей.

1. Подальше вдосконалення наплавочних матеріалів для інструменту гарячої обробки мідних сплавів дозволило визначити склад порошкового дроту ПП-45Х5В2ГСМФА.

2. Використання оболонки порошкового дроту зі сталі 65Г та супутнього легування вуглецем із феросплавів дозволяє не використовувати графіт як головний вуглець-утворювальний компонент шихти.

3. Наплавлена порошковим дротом сталь 45Х5В2ГСМФА дозволяє підвищити стійкість пресових матриць і шайб для екструзування мідних сплавів в умовах ТОВ «ЗКМ» (м. Бахмут) у 2,3–2,5 раза з одночасним зниженням собівартості в 1,5–2 рази.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Наплавлення пресового інструмента для обробки кольорових металів самозахисним порошковим дротом ПП-50Х6В2ГСМФА / І.О. Бойко та ін. *Автоматичне зварювання*. 2022. № 7. С. 37–41. <https://doi.org/10.37434/as2022.07.06>.

2. Бойко І.О. Удосконалення самозахисного порошкового дроту для наплавлення інструменту гарячого пресування мідних сплавів (спеціальність 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології»): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2013. 153 с.

3. Study on investigation of hot forging die wear analysis – An industrial case study / R. Rajieva et al. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 27. Part 3. P. 2752–2757.

4. The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe – Cr – C – Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process / E.O. Correa et al. *Surface and Coatings Technology*. 25 August 2015. Vol. 276. P. 479–484. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.026>.

5. Eremin E.N., Losev A.S. Wear Resistance Increase of Pipeline Valves by Overlaying Welding Flux-cored Wire. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 113. P. 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.324>.

6. Welding processes for wear resistant overlays / Patricio F. Mendez et al. *Journal of Manufacturing Processes*. January 2014. Vol. 16. Issue 1. P. 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.011>.

7. Fe – 0,4 wt. % C – 6,5 wt. % Cr hardfacing coating: Microstructures and wear resistance with La₂O₃ additive / Xiaoru Hou et al. *Applied Surface Science*. 30 October 2014. Vol. 317. P. 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.08.118>.

8. Modifying of microstructure and toughness in the weld metal prepared by welding wire containing nanosized titanium oxides / Xiang Luo et al. *Materials Science and Engineering: A*. 11 March 2021. Vol. 807. 140897. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.140897>.

9. Abrasion resistance of Fe – Cr – C coating deposited by FCAW welding process / Jurandir Marcos et al. *Wear*. 15 July 2021. Volume 476. 203688. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203688>.

10. Hot wire-assisted gas metal arc welding of hypereutectic Fe Cr C hardfacing alloys: Microstructure and wear properties / Karsten Gunthe et al. *Surface and Coatings Technology*. 25 January 2018. Vol. 334. P. 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.11.059>.

11. Effect of Mo on microstructure and wear resistance of slag-free self-shielded metal-cored welding overlay / Dashuang Liu et al. *Journal of Materials Processing Technology*. August 2019. Vol. 270. P. 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.02.024>.

12. Патент на корисну модель 75517 Україна МПК В 23 К 35/30 (2006.01). Склад порошкового дроту / О.Г. Гринь та ін. Власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u201204055; заяв. 02.04.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23. 5 с.

13. Патент на корисну модель 78770 Україна МПК G 01 № 3/40 (2006.01), G01N 3/54 (2006.01). Спосіб визначення твердості матеріалу при підвищених температурах / І.О. Бойко, О.Г. Гринь. Власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u201212755; заяв. 09.11.2012; опубл. 25.03.2013, Бюл. № 6. 5 с.

REFERENCES:

1. Boyko, I.O., Pashinsky, V.V., Pashynska, O.G., Parovishnik, M.M. (2022). Naplavlennia presovoho instrumenta dlia obrobky kolorovykh metaliv samozakhysnym poroshkovym drotom PP-50Kh6V2HSMFA. Avtomatychnе zvariuvannia [Welding of press tools for processing colored metals with self-drying powder dart PP-50Kh6V2GSMFA. Automatic creation]. № 7. P. 37–41. <https://doi.org/10.37434/as2022.07.06> [in Ukrainian].
2. Boyko, I.O. (2013). Udoshkonalennia samozakhysnoho poroshkovoho drotu dlia naplavlennia instrumentu hariachoho presuvannia midnykh splaviv : spetsialnist 05.03.06 “Zvariuvannia ta sporidneni protsesy i tekhnolohii” : avtoreferat dysertatsii na zdobuttia vchenoho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk [Improvement of self-healing powder dart for fusing tools for hot pressing of copper alloys: specialty 05.03.06 “Welding and Controversial Processes and Technologies”: abstract of the dissertation for the development of a high-level candidate of technology sciences]. Donbass State Machine Building Academy. Kramatorsk. 153 p. [in Ukrainian].
3. Rajieva, R., Sadagopan, P., Shanmuga Prakasha, R. (2020). Study on investigation of hot forging die wear analysis – An industrial case study. *Materials Today: Proceedings*, Volume 27, Part 3, pp. 2752–2757.
4. Correa, E.O., Alcântara, N.G., Valeriano, L.C., Barbedo, N.D., Chaves, R.R. (2015). The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe – Cr – C – Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process. *Surface and Coatings Technology*, Volume 276, 25, pp. 479–484, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.026>.
5. Eremin, E.N., Losev, A.S. (2015). Wear Resistance Increase of Pipeline Valves by Overlaying Welding Flux-cored Wire. *Procedia Engineering*, Volume 113, pp. 435–440. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.324>.
6. Mendez, Patricio F., Barnes, Nairn, Bell, Kurtis, Borle, Steven D., Gajapathi, Satya S., Guest, Stuart D., Izadi, Hossein, Kamyabi Gol, Ata, Wood, Gentry (2014). Welding processes for wear resistant overlays. *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 16, Issue 1, pp. 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.011>.
7. Xiaoru, Hou, Bin, Zhao, Jian, Yang, Xiaolei, Xing, Yefei, Zhou, Yulin, Yang, Qingxiang, Yang (2014). Fe – 0,4 wt. % C – 6,5 wt. %Cr hardfacing coating: Microstructures and wear resistance with La₂O₃ additive. *Applied Surface Science*, Volume 317, 30, pp. 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.08.118>.
8. Xiang, Luo, Zidong, Wang, Xiaohua, Chenc, Yanlin, Wangb, Guang, Xu. (2021). Modifying of microstructure and toughness in the weld metal prepared by welding wire containing nanosized titanium oxides. *Materials Science and Engineering: A*, Volume 807, 140897. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.140897>.
9. Marcos, Jurandir, Sá de Sousa, Lobato, Mauro Quaresma, Garcia, Douglas Neves, Machado, Paulo Cordeiro (2021). Abrasion resistance of Fe – Cr – C coating deposited by FCAW welding process. *Wear*, Volume 476. 203688. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203688>.
10. Gunthe, Karsten, Bergmann, Jean Pierre, Suchodoll, Dirk (2018). Hot wire-assisted gas metal arc welding of hypereutectic Fe Cr C hardfacing alloys: Microstructure and wear properties. *Surface and Coatings Technology*, Volume 334, pp. 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.11.059>.
11. Dashuang, Liu, Jiayou, Wang, Yu, Zhang, Rangasayee, Kannan, Weimin, Long, Mingfang, Wu, Yiyu, Wang, Leijun, Li (2019). Effect of Mo on microstructure and wear resistance of slag-free self-shielded metal-cored welding overlay. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 270, pp. 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2019.02.024>.
12. Grin, O.G., Boyko, I.O., Presnyakov, V.A., Gavrillov, O.V., Olenich, O.A., Volkov, S.M., Parovishnik, M.M. (2012). Patent na korysnu model 75517 Ukraina MPK B 23 K 35/30 (2006.01). Sklad poroshkovoho drotu [Utility model patent 75517 Ukraine IPC B 23 K 35/30 (2006.01). Composition of powder-coated wire]. *Vlasnik Donbass. holding machine bud. acad.* № u201204055; appl. 04/02/2012; publ. 12/10/2012, Bulletin. № 23. 5 p. [in Ukrainian].
13. Boyko, I.O., Grin, O.G. (2012). Patent na korysnu model 78770 Ukraina MPK G 01 N 3/40 (2006.01), G01 № 3/54 (2006.01). Sposib vyznachennia tverdosti materialu pry pidvysychenykh temperaturakh [Utility model patent 78770 Ukraine IPC G01 № 3/40 (2006.01), G01 № 3/54 (2006.01). The method of determining the hardness of the material at elevated temperatures]. *Vlasnik Donbass. holding machine bud. acad.* № u201212755; appl. 09.11.2012; publ. 03/25/2013, Bulletin. № 6. 5 p. [in Ukrainian].