

Сучасні технології зміцнення робочих органів грунтообробних машин

Дорошенко В. С., доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник, doro55v@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0070-5663>

Калюжний П. Б., кандидат технічних наук, заступник директора,
kpb.ptima@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1111-4826>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

У процесі експлуатації ґрунтообробних машин їх робочі органи, що контактують безпосередньо з ґрунтом, піддаються абразивному зносу, високим контактним та динамічним навантаженням, а також корозійному впливу ґрунту. Важкі умови експлуатації викликають інтенсивне зношування таких деталей. Тому роботи, пов'язані з підвищенням зносостійкості матеріалів, призначених для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин (лемехів, лоп культиваторів, дисків, долот та ін.), є актуальними. Розглянуто основні технології зміцнення, представлених на ринку, робочих органів ґрунтообробних машин. Зібрано та проаналізовано дані про відсоткове співвідношення обсягу ринку тими чи іншими видами зміцнення. Показано у порівнянні окремі характеристики розглянутих методів зміцнення ґрунтообробних органів. Для забезпечення зносостійкості та технічного ресурсу на рівні з кращими зарубіжними аналогами ґрунтообробні органи рекомендується виготовляти литтям із високопрочного чавуну (ВЧ), термічно обробляти, досягаючи бейнітної металевої основи, насиченої карбідами, зокрема на поверхні. Доцільно, щоб один поверхневий прошарок металу був підвищеної твердості, що відповідатиме умові самозаточування робочих органів при зношуванні. Розглянуто два способи гартування для виконання цієї умови, в якості охолоджуючого середовища для термообробки лемеха плуга використовується вода. При цьому новою особливістю розробленого нами ізотермічного гартування лемехів є застосування нагрітої металевої оснастки, в якості якої багаторазово застосовували виливок лемеха. Також розглянуто особливості і переваги охолодження виливків в псевдозрідженому шарі піску. Заміна дорогих матеріалів, сплавів та технологій на використання нелегованого ВЧ із зносостійкою структурою, а також застосування недорогих за вартістю методів лиття разом з термічним зміцненням призведе до суттєвого зниження собівартості робочих органів ґрунтообробних машин.

Ключові слова: технології зміцнення, гартування, зношування, робочі органи ґрунтообробних машин, високоміцний чавун.

Використання сучасних ґрунтообробних машин дозволяє істотно підвищити продуктивність, якість і ефективність обробки ґрунту. В процесі такої обробки органи ґрунтообробних машин піддаються інтенсивному абразивному зносу, в результаті чого знижуються їх технічні характеристики, якість

Структура, зношування, руйнування

обробки ґрунту і нерідко збільшується навантаження на тяглову техніку. Твердість та опір ґрунту руху розпушувача зі збільшенням глибини розпушування прогресивно зростають, у нижніх горизонтах обробки часто трапляються каміння, що багаторазово підвищує вимоги до абразивної зносостійкості, міцності та ударної стійкості робочих органів ґрунтообробних машин, в той же час багато які з них мають вкрай малий ресурс. Так, наприклад, у роботі [1] показано, що напрацювання на відмову лемехів чи доліт плуга при обробці ґрунтів різного виду та фізичного стану становить менше 20 га.

Значна частина робочих органів, понад 60 %, втрачають придатність до використання через зношування робочих поверхонь, що призводить до простоїв в роботі для зміни зношених деталей, а часта заміна і низька зносостійкість робочих органів призводить до значних матеріальних витрат. Тому багато вітчизняних та закордонних компаній застосовують для виготовлення таких деталей матеріали підвищеної зносостійкості та нові ефективні технології зміцнення робочих органів при їх виготовленні [1-3].

Застосування технологій зміцнення робочих органів на нинішньому ринку формується в таких напрямках: нанесення порошкових матеріалів з наступним оплавленням токами високої частоти (ТВЧ) – 43 %; об'ємне гартування та гартування ТВЧ ріжучих кромek – 37 %; електродугове наплавлення – 13 %; без застосування вдосконалюючих технологій – 7 % [3].

Також відоме застосування термохімічної обробки азотуванням, що полягає у насиченні азотом поверхневого шару металевих виробів для підвищення твердості, проте при ньому поверхнева модифікація металу сягає невеликої глибини (товщини) до 200-300 мкм, рідко до 600 мкм [4], тому застосовується нечасто для ґрунтообробних деталей. Крім того, розробляються способи поверхневого легування у ливарній формі плугового лемеха. В роботі [5] як основний матеріал вилитого лемеха використовувались вуглецеві та низьколеговані сталі, а легований шар формували порошком високохромистого чавуну ПГ-С27, що, завдяки утворенню карбідів в цьому шарі, дозволило значно збільшити площі (до 62 га) оброблених плугом земель до критичного зносу його лемеха. З підвищенням вмісту вуглецю твердість та зносостійкість загартованих сталей підвищується, але одночасно знижується ударна стійкість та погіршується зварюваність сталевих виробів.

Порівняння впливу окремих методів обробки залізовуглецевих деталей щодо збільшення твердості металу з огляду її максимального значення та глибини впливу показано на рис. 1.

Частіше всього покращують властивості робочих органів нанесенням порошкових матеріалів з наступним оплавленням ТВЧ. З порошкових матеріалів для нанесення використовуються високолеговані чавуни типу Сормайт-1, ПГ-С27, ФБХ6-2, ПЛУ40Х38Г2 та ін., сплави на основі кобальту, вольфраму і нікелю, композитні матеріали на основі карбідів вольфраму і хрому. Наплавлення твердими сплавами шляхом нанесення у вигляді обмазки або шихти з наступним оплавленням поверхні ТВЧ виконують в області найбільшої інтенсивності тертя, а саме в області леза робочих органів, що забезпечує їх самозаточування за рахунок прискореного

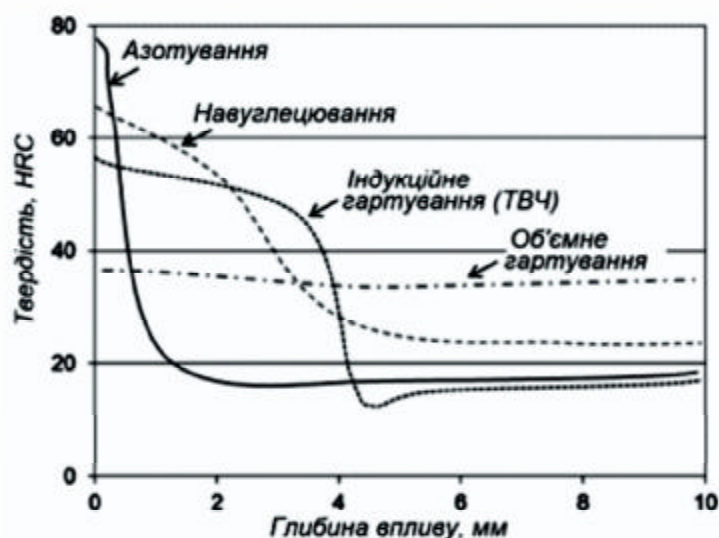


Рис. 1. Вплив окремих видів термічних та термохімічних обробок на зміну твердості металу по глибині цього впливу [4].

Fig. 1. The influence of certain types of thermal and thermochemical treatments on the change in metal hardness according to the depth of this influence [4].

зношування несучого шару (меншої твердості) порівняно з наплавленим, твердість якого може досягати 60-65 HRC_c [7]. Вдосконалення технології індукційного наплавлення твердими сплавами здійснюють в напрямках зменшення зони відпуску несучої поверхні загартованих деталей, підвищення рівня механізації та автоматизації цього процесу.

Наступним за об'ємом ринку зміцнених робочих органів є метод об'ємного гартування чи гартування ТВЧ до твердості не менше 40 HRC з глибиною гартування 1-2 мм [7]. Однак, істотного підвищення рівня стійкості робочих органів термообробка (ТО) вуглецевих сталей не досягає, тому слід використовувати комплексно леговані сталі для виготовлення робочих органів.

Подальшим за об'ємом застосування вдосконалюючих технологій при виготовленні робочих органів є електродугове наплавлення. Одним із найбільших виробників ґрунтообробних агрегатів є компанія Lemken (<http://lemken.com.ua>), яка застосовує цю технологію для зміцнення долот і лемехів основного корпусу плуга. Невисока поширеність цієї технології серед виробників робочих органів обумовлена, в першу чергу, складністю автоматизації процесу наплавлення порівняно з методами гартування ТВЧ і наплавлення порошковими матеріалами. Також обмежує застосування даної технології переважання робочих органів з тонкостінною кромкою, таких, як лемех передплужника, стрілчасті лапи малих розмірів, бритви плугів та ін.

В останні роки зміцнення ґрунтообробних органів електродуговим наплавленням виконують здебільшого на автоматизованих установках за заданою програмою. Наплавлення здійснюють вздовж найбільш зношуваних поверхонь, зокрема вздовж леза деталі. Для підвищення зносостійкості

Структура, зношування, руйнування

робочих органів застосовують порошкові наплавочні дроти з підвищеним вмістом бору, молібдену, ванадію та ін., що сприяє зниженню зносу і збереженню геометричних параметрів робочих органів, підвищенню якості обробки ґрунту і зростанню їх довговічності в 1,6...2,5 рази [8]. При цьому товщину наплавленого ущільнювального шару необхідно забезпечити в межах 2-6 мм [3], що недопустимо для робочих органів з гострим лезом. Однак, даний діапазон необхідний для крупногабаритних робочих органів, товщина основного металу в частині леза яких повинна перевищувати товщину наплавленого шару, що сприяє найкращому ефекту самозаточування [3].

З аналізу літературних даних випливає, що порівняно з поширеним виготовленням лемехів і долот із сталевого прокату, набагато ефективніше виготовлення їх литтям із чавуну, що дозволяє отримувати виливки складної геометрії. Крім того, чавун має високий потенціал підвищення зносостійкості за рахунок формування структур, що містять, поряд з графітовими, тверді включення ледеburиту, бейнітну чи мартенситну металеву основу [9-11].

Оскільки зносостійкі структури чавуну можна отримати в процесі лиття та термічної обробки [12], серед ливарних методів виготовлення обладнання та компонентів сільгосптехніки виробники нині все ширше застосовують високоміцні чавуни (ВЧ) з кулястим графітом, в тому числі (особливо) з таким видом ТО, як ізотермічне гартування (ІГ), для отримання ізотермічно загартованих (austempered) чавунів, а саме: ВЧ типу ADI і карбідного (carbide) ВЧ (CADI) [13]. Найкращою якістю при порівняно низькій собівартості відрізняються долота, вироблені фірмою Джон Дір литтям з ВЧ і бейнітною металеву основою [10]. Сучасні способи ІГ здатні в 1,5-2,0 рази підвищити показники литих деталей ґрунтообробної техніки з ВЧ, порівняно з такими ж, що не пройшли ІГ. Це ілюструє діаграма (рис. 2),

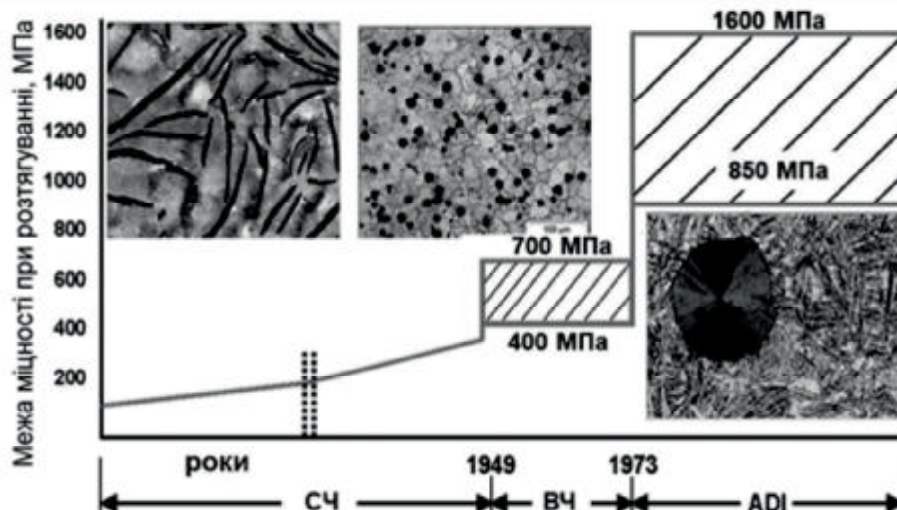


Рис. 2. Хронологія вдосконалення структури чавунів зі зростанням міцності ВЧ (із презентації А. Nofal, CMRDI, Єгипет).

Fig. 2. Chronology of the improvement of the structure of cast irons with increasing HF strength (from the presentation by A. Nofal, CMRDI, Egypt).

на якій співставлено хронологію удосконалення мікроструктури чавунів з діапазоном їх міцності. З діаграми видно, що з 70-х років минулого століття домінують ізотермічно загартовані (бейнітні) ВЧ типу ADI з міцністю 850-1600 МПа, а до 1949 року виливали лише з сірого чавуну (СЧ) в рази меншої міцності.

Для підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин також актуальним є застосування CADІ, у чавунну матрицю якого під час виливання вводять карбіди, після чого виливок ізотермічно гартують і отримують контрольований відсоток карбідів в аусферитній матриці [13, 14], чим регулюють твердість металу. Крім того, відомий ВЧ типу Quenched-Tempered Ductile Iron (QTDI), який загартовують охолодженням нижче температури мартенситного перетворення M_n ($\sim 200^\circ\text{C}$) з наступною ізотермічною витримкою в інтервалі температур бейнітного перетворення, після чого в його структурі лишаються вільні карбіди.

Також відома технологія [12], за якої, з метою суміщення процесів лиття і ТО, виливки вилучають в аустенітному стані з ливарних форм при температурі вище евтектоїдного перетворення – $900-1000^\circ\text{C}$ і протягом 5-15 с переміщують у рідку ванну з гартуванням до температури, що визначається необхідним типом структури. Прикладом застосування цієї технології є отримання структури бейніту з твердістю 320-352 НВ у виливку (з литого стану) після його «гарячого» вибивання з форми при температурі $920-950^\circ\text{C}$ та подальшого ІГ при температурі витримки $300-320^\circ\text{C}$ [12].

З метою удосконалення об'ємних методів ТО для недорогих за вартістю сплавів з отриманням на литих деталях підвищеного рівня твердості таким чином, щоб в результаті ІГ на одній поверхні деталі досягалась твердість вища, ніж на іншій поверхні (як умова для самозаточування), нами проведено дослідження можливості регулювання твердості бейнітних ВЧ залежно від зміни температур в таких технологічних інтервалах: по-перше, в інтервалі температур аустенізації, а по-друге, в інтервалі температур ізотермічної витримки (аустемперингу).

В монографії [15] вказано такі значення мікротвердості НВ бейнітних та мартенситних чавунів згідно їх структур: бейніт – в межах 280...350, бейніт + мартенсит – 350...550, мартенсит – 550...650, мартенсит відпуску – 300...550. Такий широкий інтервал твердості, яку можна отримати на одному і тому ж виливку з ВЧ завдяки різним режимам ІГ, технологічно поєднали з тим, що плуговий лемех при експлуатації не буде тупитися, якщо одна його сторона буде твердіша за іншу, і при його сточуванні край з цієї сторони завжди залишатиметься твердим та гострим, що і реалізує ефект самозаточування [3].

На цій основі розроблено два способи ІГ лемеха з ВЧ з різною твердістю на його двох різних плоских поверхнях. В першому способі одну сторону лемеха при гартуванні у воді короткочасно охолоджують нижче температури M_n , а другу утримують вище цієї температури і мартенситне перетворення в ній не відбувається [16]. А в другому способі дві сторони лемеха загартовують з різних температур аустенізації, зокрема, одну з

аустенітно-феритного стану металу в області міжкритичного інтервалу температур, МКІТ, а другу з аустенітного стану [17].

Для досягнення різних температур на двох поверхнях лемеха застосували чавунну оснастку (ЧО) як нагрівач чи теплоізолятор для ІГ виливків. В якості аналога використали досвід використання в піщаній формі металевих зовнішніх холодильників, які накладають на модель, формують в піщану суміш для організації в ній різної інтенсивності охолодження виливка та направлено його тверднення знизу (від металевого холодильника) вгору до надлива чи випора. Подібні чавунні холодильники ми застосовували (як ноу-хау) на виливках лемехів з ВЧ в гарячому аустенітному стані металу, але цю ЧО попередньо нагрівали до 300-900 °С, вона діяла за принципом «нагрівальника» виливка, щоб його поверхня (в першому способі) не охолола нижче температури M_n при гартуванні у воді. Тоді одну поверхню (не покриту нагрітою ЧО) лемеха з ВЧ отримували твердішою за іншу за рахунок того, що після ізотермічної витримки при 400 °С в дотичному до неї прошарку залишаються вільні карбіди (більший відсоток карбідів), наближаючись до ВЧ типу QTDI чи CAD1. Твердіша поверхня лемеха в роботі [16] мала твердість близько 360 HB, а друга поверхня (покрита нагрітою ЧО) отримала структуру переважно верхнього бейніту з твердістю 300-320 HB.

В цьому способі ІГ після видалення з форми гарячого (920-950 °С) виливка лемеха на нього кріпили нагріту пластину у вигляді такого ж лемеха (в ролі нагрітої ЧО) і проводили гартування у воді з охолодженням до температури M_n з боку поверхні виливка, що контактує з водою. Кріплення проводили сталевим дротом, скобу з якого вставляли в отвори виливків (рис. 3) і закручували її кінці, ЧО застосовували багатократно, кожен раз нагріваючи її перед закріпленням на виливку. Поверхня виливка, що захищена гарячою ЧО від надмірного охолодження, неначе переводиться в середину гарячого «зібраного виливка» з температурою 250-300 °С і вище. До того ж сухий сипкий пісок ливарних форм при застосуванні нами способу лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), дозволяв легко видалити гарячий виливок з форми, закріпити на ньому попередньо нагріту в термічній печі ЧО і провести ІГ.

Приклади виливків для обробки ґрунту і їх моделей для ЛГМ виготовлено в ливарному цеху ФТІМС НАНУ і показано на рис. 3 [17], де а – моделі лемехів з пінополістиролу (ППС) на стояку в вигляді модельного кластера (куща) для ЛГМ; б – стопки моделей лемехів, а також (нижче) вид плуга з лемехом 1, який закріплено на відвалі, і лемехи 2; в – виливки стрілчастих лап культиваторів і їх моделі з ППС.

Другий спосіб продемонстровано на такому експериментальному прикладі отримання різної твердості сторін виливка лемеха [17]. В термічній печі нагріли металеву пластину до температури 820±5 °С і наклали цю гарячу пластину на одну площину виливка лемеха, який щойно видалили з сипкого піску форми (при ЛГМ) при температурі 830±10 °С. Дротом скріпили пластину і виливок, другу відкриту сторону якого охолодили до температури 800 °С самовільною конвекцією повітря чи обдуванням повітря, після чого

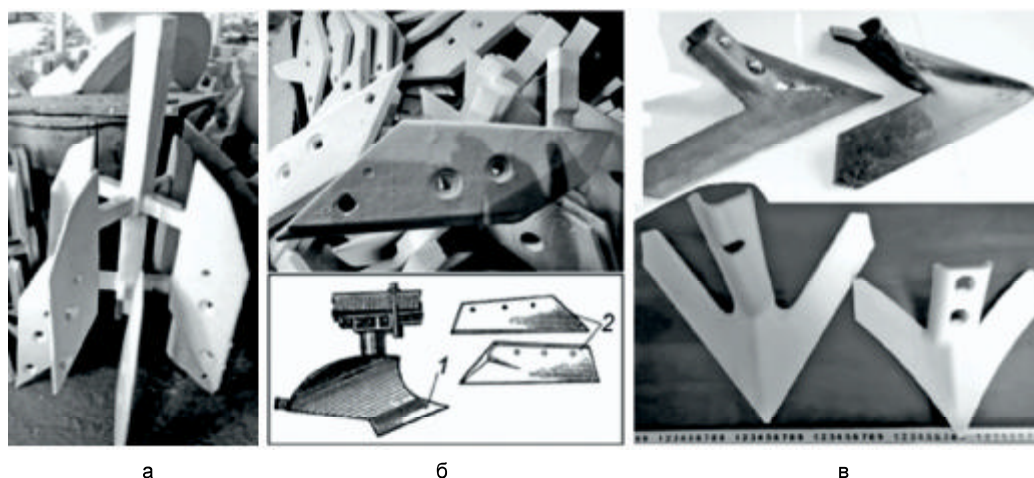


Рис. 3. Моделі лемехів з ППС на стояку (а); пофарбовані моделі лемехів, а також (нижче) плуг з лемехом 1, що закріплений на відвалі, і лемехи 2 (б); виливки стрілочних лап культиваторів та їх ППС-моделі (в).

Fig. 3. Plow models with PPS on a riser (a); painted models of plowshares, as well as (below) a plow with plowshare 1 attached to the blade and plowshare 2 (б); castings of arrow paws of cultivators and their PPS models (в).

провели гартування виливка в воді до температури бейнітного перетворення і ізотермічно витримали при 360 °С протягом 1 години. Таким чином, одна поверхня загартувалась з температури 820 °С, а друга – з 800 °С (область МКІТ), відповідно твердість першої поверхні була 280-290 НВ, а другої – 200-210 НВ [17].

Хоч такий рівень твердості недостатній для лемеха, проте цей експеримент став прикладом отримання твердості різної величини на таких виливках за рахунок температури, з якої виконується ІГ. Наявність фериту в структурі ВЧ не дозволяє отримати дуже високу його твердість, але сприяє отриманню невеликих значень ударної в'язкості ($KC=20$ Дж/см²); наявність м'яких структур в металевій основі ВЧ сприяє запобіганню появі тріщин у процесі гартування, а структура мартенсит відпуску + ферит менш схильна до сколів і викришування, ніж зі структурою мартенсит відпуску, що важливо, зокрема для зубів землерийних машин [18]. Надалі слід орієнтуватись на утворення аусферитної металевої матриці однієї з поверхонь лемеха з твердістю 300-550 НВ [12]. Перший описаний спосіб з отриманням залишкових карбідів в поверхневому прошарку виявився більш продуктивним. Якщо виливки симетричні (лемехи з лівою і правою заточкою леза), то їх можна збирати попарно і в такому стані гартувати, то тоді кожен виливок щодо другого в гарячому стані буде служити нагрівальною ЧО.

Крім того, значний потенціал зміцнення виливків з ВЧ досягає режим ІГ до бейнітного чавуну, структура якого зберігає 27-35 % метастабільного залишкового аустеніту, що при зношуванні лемеха веде до утворення мартенситу деформації, зумовлюючи тріп-ефект [19]. Зауважимо, що отримання диференційованих значень твердості сприяє гартування в такому середовищі, як вода, яка дає високий перепад температур по товщині

виливка. Наприклад, на рис. 4 показано температурний перепад за перерізом зразка (між центром і поверхнею) циліндричної форми ($\varnothing$ 50 мм і довжиною 150 мм) зі сталі X18H9Г1, нагрітого в печі до 1000 °С, при охолодженні в різних середовищах [20].

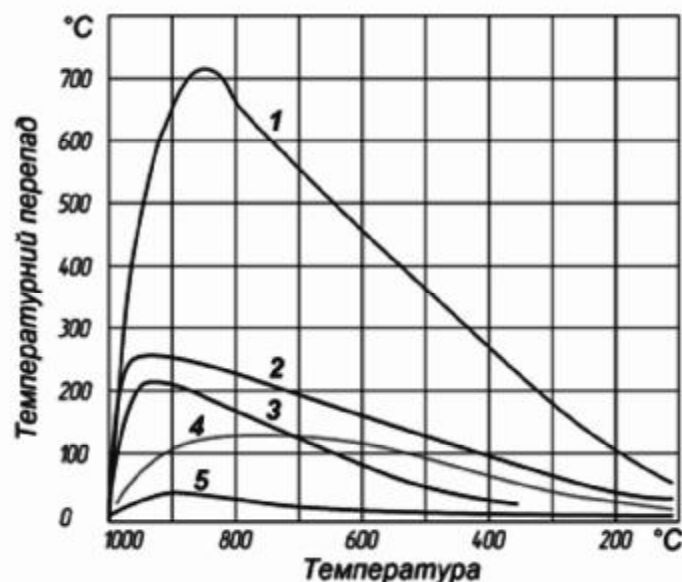


Рис. 4. Температурний перепад за перерізом циліндричного зразка залежно від температури його центру: 1 – охолодження у воді; 2 – в оливі; 3 – у селітрі (300 °С); 4 – в псевдозрідженому шарі корундового піску з розміром частинок 0,12-0,16 мм; 5 – на повітрі.

Fig. 4. Temperature difference across the cross-section of a cylindrical sample depending on the temperature of its center: 1 – cooling in water; 2 – in oil; 3 – in saltpeter (300 °C); 4 – in a fluidized bed of corundum sand with a particle size of 0.12-0.16 mm; 5 – in the air.

Значний досвід гартування виливків у середовищі псевдозрідженого піску (аеродинамічне перемішування) набуто у відділі ФТІМС НАНУ під керівництвом професора О. Й. Шинського. Швидкість охолодження гарячого вилівка при гартуванні в псевдозрідженому шарі піску по величині наближається до швидкості його охолодження в оливі. При цьому перевага над рідкими середовищами на виробничих дільницях ЛГМ полягає в тому, що можна застосовувати сухий формувальний пісок, який знаходиться у ливарному цеху в постійному обороті, на противагу застосування гартувальної рідини (часто екологічно несприятливого складу) з системою ємностей для її охолодження-очищення-обороту при тому, що, нерідко, необхідно провести відмивання від неї виливків. До того ж, за участю авторів статті розроблено способи охолодження вилівка, створенням навколо нього псевдозрідженого піску в контейнерній формі, в якій вилівок щойно затвердів після заливання його металом.

Висновки.

У процесі експлуатації ґрунтообробних машин їх робочі органи, що контактують безпосередньо з ґрунтом, піддаються абразивному зносу, високим контактним та динамічним навантаженням, а також корозійному

впливу ґрунту. Важкі умови експлуатації викликають інтенсивне зношування таких деталей. Тому роботи, пов'язані з підвищенням зносостійкості матеріалів, призначених для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин (лемехів, лап культиваторів, дисків, долот та ін.), є актуальними. Розглянуто основні технології зміцнення, представлені на ринку робочих органів ґрунтообробних машин. Зібрано та проаналізовано дані про відсоткове співвідношення обсягу ринку тими чи іншими видами зміцнення. Показано у порівнянні окремі характеристики розглянутих методів зміцнення ґрунтообробних органів. Для забезпечення зносостійкості та технічного ресурсу на рівні з кращими зарубіжними аналогами, ґрунтообробні органи рекомендується виготовляти литтям із ВЧ, термічно обробляти, досягаючи його бейнітної металевої основи, насиченої карбідами, зокрема на поверхні. Доцільно, щоб один поверхневий прошарок металу був підвищеної твердості, що відповідатиме умові самозаточування робочих органів при зношуванні. Розглянуто два способи гартування для виконання цієї умови, в якості охолоджуючого середовища для термообробки лемеха плуга використовується вода. При цьому, новою особливістю, розробленою нами ізотермічного гартування лемехів, є застосування нагрітої металевої оснастки, в якості якої багаторазово застосовували виливок лемеха. Також розглянуто особливості і переваги охолодження виливків в псевдозрідженому шарі піску. Заміна дорогих матеріалів, сплавів та технологій на використання нелегованого ВЧ із зносостійкою структурою, а також застосування недорогих за вартістю методів лиття разом з термічним зміцненням призведе до суттєвого зниження собівартості робочих органів ґрунтообробних машин.

Література

1. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 2008. – 38 с.
2. Слинко Д.Б., Денисов В.А., Добрин Д.А., Афанасьев А.В., Кислов П.М. Повышение эффективности технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин электродуговой наплавкой износостойкими валиками // Технический сервис машин. – 2020. – № 1 (138). – С. 176-185. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-1-176-185>
3. Добрин Д.А., Афанасьев А.В., Митусов С.С., Пикулева И.М. Современные технологии упрочнения рабочих органов ґрунтообрабатывающих машин // Матеріали Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии, оборудование и материалы заготовительных производств в машиностроении». – Москва, 2022, URL: <https://mashtech.bmstu.press/preprints/3148/>
4. Czerwinski F. Thermochemical Treatment of Metals, 2012, URL: <https://doi.org/10.5772/51566>
5. Кидалов Н.А., Гребнев Д.Ю., Габельченко Н.И., Аушев В.В. Разработка импортозамещающей технологии изготовления лемеха плуга с использованием поверхностного легирования в литейной форме // Заготовительные производства в машиностроении. – 2023. – № 1. – С. 9-11.

6. Виноградов В.В. Повышение износостойкости стрелчатых лап почвообрабатывающих орудий карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Орел, 2017. – 156 с.
7. Новиков В.С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин. – М.: МГАУ, 2013. – 112 с.
8. Ожегов Н.М., Ружьев В.А., Капошко Д.А., Соловьев С.А., Лялякин В.П., Слинко Д.Б. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин на основе совершенствования наплавочных технологий // Труды «ГОСНИТИ». – 2015. – Т. 121. – С. 273-281.
9. Brandenberg K., Hayrynen K. Applications of Austempered Ductile Iron // Proceedings of the 2002 World Conference on ADI, Louisville, USA, 2002.
10. Kostyleva L.V., Ovchinnikov A.S., Gapich D.S., Fomin S.D. Gradient hardening chisel plow from nodular iron // ARPN journal of engineering and applied sciences. – 2017. – No. 12(7). – P. 2085-2091.
11. Patil S.A., Pathak S.U., Likhite Ajay. Development and Wear Analysis of Carbide Austempered Ductile Iron (CADI) // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 3 (2). – P. 9652-9656.
12. Макаренко К.В. Рациональное структурирование графитизированных чугунов // Труды Нижегородского ГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 2. – С. 196-205.
13. John R., Keough/ЄЄЄЄЄЄЇ,фіціф PE. Tim Dorn, Kathy L. Hayrynen et al. Agricultural Applications of Austempered Iron Components. 2009 URL: <https://www.researchgate.net/publication/242359329>
14. International application WO2008076497A1. C22C 37/10, C21C 1/10. As-cast carbide ductile iron / J. P. Lemke, R. E. Eppich. Publication 26.06.2008.
15. Найдек В.Л., Гаврилюк В.П., Неижко И.Г. Бейнитный высокопрочный чугун. Киев: Национальная академия наук Украины, ФТИМС, 2008. – 140 с.
16. Калюжний П.Б., Дорошенко В.С. Методи зовнішнього впливу на чавунні виливки для отримання їх диференційованих механічних властивостей // Метал і лиття України. – 2022. – № 3. – С. 88-95. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.03.088>
17. Калюжний П.Б., Дорошенко В.С., Шалевська І.А. Методи виробництва виливків для ґрунтообробної техніки, різальних та ударних інструментів, що самозаточуються // Процеси лиття. – 2022. – № 3. – С. 34-41. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.027>
18. Ruzibayev A.N., Shukurov N.R., Khuzhanazarov B.F. Ways to increase the durability of the teeth of the working body of engineering machines // European science. – 2021. – № 3. – P. 9-13.
19. Патент №139560 Україна, МПК B22D 7/00, B22D 23/00, F41H 5/00. Спосіб виробництва броньової перешкоди з високоміцного чавуну у ливарних формах з сипкого піску / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський. опубл. 10.01.2020. – Бюл. № 1/2020, 6 с.
20. Муравьев В.И., Курбатов В.П. Закалка инструментальных сталей в кипящем слое // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1970. – № 2. – С. 46-48.

References

1. Novikov V. S. *Ensuring the durability of the working bodies of the soil machines*: (Extended abstract of Doctor thesis). Dr. Sci. (Engin.). M., 2008, 38 p. [in Russian].

2. Slinko D.B., Denisov V.A., Dobrin D.A., Afanasev A.V., Kislov P.M. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. No 1 (138), pp. 176-185 [in Russian]. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-1-176-185>
3. Dobrin D. A., Afanasev A. V., Mitusov S. S., Pikuleva I. M. *International scientific and technical conference "Innovative technologies, equipment and materials for blank production in mechanical engineering"*, Abstract of Papers, Moskva, 2022. [in Russian]. URL: <https://mashtech.bmstu.press/preprints/3148/>
4. Frank Czerwinski. Thermochemical Treatment of Metals [in English]. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/39403>
5. Kidalov N.A., Grebnev D.Iu., Gabelchenko N.I., Aushev V.V., *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii*, 2023, No. 1. pp. 9-11 [in Russian].
6. Vinogradov V.V. *Increasing the wear resistance of firing parts of the soil-processing tools of carbobibral strengthening of their cutting surfaces*: (Unpublished candidate thesis) PhD (Engin.). Orel, 2017. 156 p. [in Russian].
7. Novikov V.S. *Strengthening of the working organs of the soil machines*. (Hardening of the working bodies of tillage machines), Moskva: MGAU, 2013, 112 p. [in Russian].
8. Ozhegov N.M., Ruzhev V.A., Kaposhko D.A., Solovev S.A., Lialiakin V.P., Slinko D.B., *Trudy «GOSNITI»*, 2015, Vol. 121, pp. 273-281 [in Russian].
9. Brandenburg K., Hayrynen K. *Applications of Austempered Ductile Iron*, Proceedings of the 2002 World Conference on ADI, Louisville, USA, 2002. [in English].
10. Kostyleva L.V., Ovchinnikov A.S., Gapich D.S., Fomin S.D., *ARP journal of engineering and applied sciences*, 2017, Vol. 12(7), pp. 2085-2091 [in English].
11. Patil S.A., Pathak S.U., Likhite Ajay, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2014, Vol. 3 (2), pp. 9652-9656 [in English]
12. Makarenko K.V., *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*, 2014, No. 2, pp. 196-205 [in Russian].
13. John R., Keough PE., Tim Dorn, Kathy L. Hayrynen et al. *Agricultural Applications of Austempered Iron Components*. [in English]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/242359329>
14. International application WO2008076497A1. C22C 37/10, C21C 1/10. *As-cast carbide ductile iron*, J. P. Lemke, R. E. Eppich. Publication 26.06.2008. [in English].
15. Najdek V.L., Gavrilyuk V.P., Neizhko I.G. *Bejnitnyj vysokoprochnyj chugun* (Bainitic ductile iron), Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine, PTIMA, 2008, 140 p. [in Russian].
16. Kaliuzhnyi P.B., Doroshenko V.S., *Metal i lyttya Ukrayiny*, 2022, No. 3, pp. 88-95 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.03.088>
17. Kaliuzhnyi P.B., Doroshenko V.S., Shalevska I.A., *Protsey lyttya*, 2022, No. 3, pp. 34-41. <https://doi.org/10.15407/plit2022.03.027> [in Ukrainian].
18. Ruzibayev A.N., Shukurov N.R., Khuzhanazarov B.F. *European science*, 2021, No. 3, pp. 9-13 [in English].
19. Patent No. 139560 Ukraine, MPK IPC B22D 7/00, B22D 23/00, F41H 5/00. *Sposib vyrobnytstva bronovoi pereshkody z vysokomitsnoho chavunu u lyvarnyaх formakh z sypkoho pisku* [Method of producing armor obstacles from high-strength cast iron in foundry molds of loose sand]. V.S. Doroshenko, V.O. Shynski, No. u201906841; zayavl. 18.06.2019; opubl. 10.01.2020, Bull. No. 1/2020, 4 p. [in Ukrainian].

20. Muravev V.I., Kurbatov V.P. Hardening of instrumental steels in a boiling layer. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 1970, No. 2, pp. 46-48 [in Russian].

Одержано 17.02.23

V. S. Doroshenko, P. B. Kaliuzhnyi

Modern technologies of strengthening working bodies of soil processing machines

Summary

During the operation of soil tillage machines, their working bodies, which are in direct contact with the soil, are exposed to abrasive wear, high contact and dynamic loads, as well as the corrosive effect of the soil. Heavy operating conditions cause intensive wear of such parts. Therefore, works related to increasing the wear resistance of materials intended for the manufacture of working bodies of tillage machines (ploughshares, cultivator paws, disks, chisels, etc.) are relevant. The main strengthening technologies presented on the market for the working bodies of tillage machines are considered. Data on the percentage ratio of the market volume by certain types of strengthening were collected and analyzed. Separate characteristics of the considered methods of strengthening tillage bodies are shown in comparison. To ensure wear resistance and technical resource at the same level as the best foreign analogues, it is recommended that tillage bodies be made by casting from high-strength cast iron, heat treated, reaching its bainite metal base, saturated with carbides, in particular on the surface. It is advisable that one surface layer of the metal be of increased hardness, which will meet the condition of self-sharpening of the working organs during wear. Two methods of hardening are considered to fulfill this condition, in which water is used as a cooling medium for heat treatment of the plow blade. At the same time, a new feature of the isothermal tempering of ploughshares developed by us is the use of heated metal equipment, in the given examples of the quality of which ploughshare casting was used repeatedly. The features and advantages of cooling castings in a fluidized bed of sand are also considered. Replacing expensive materials, alloys and technologies with the use of unalloyed high-strength cast iron with a wear-resistant structure, as well as the use of low-cost casting methods together with thermal strengthening will lead to a significant reduction in the cost of the working bodies of tillage machines.

Keywords: technologies of strengthening, quenching, wear, working bodies of soil tillage machines, plow, high -strength cast iron.