

Пулька Ч.В.,
Сенчишин В.С.,
Шарик М.В..
Тернопільський національний
технічний університет
імені Івана Пулюя,
м. Тернопіль, Україна
E-mail: Viktor_Synchshyn@i.ua

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ
ГРУНТООБРОБНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬ-
КИХ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ
РІЗНИХ МЕТОДІВ НАПЛАВЛЕННЯ

УДК 621.793.927.7:669.018.25

В статті показано, що для плоских деталей сільськогосподарських машин з товщиною основного і наплавленого металу відповідно 2,0...6,0 мм та 0,8...2,0 мм найбільш перспективне застосування індукційного наплавлення порошкоподібними твердими сплавами (мінімальне перемішування основного (ОМ) і наплавленого металу (НМ), можливість механізації і автоматизації процесу). Приведені результати досліджень структури і властивостей металу, наплавленого індукційним методом сплавом ПГ-СІ з накладанням механічної вібрації під час розплавлення НМ. Показано, що накладання вібрації призводить до підвищення зносостійкості НМ за рахунок подрібнення його структурних складових.

Досліджено процеси подрібнення структури НМ при накладанні горизонтальної вібрації. Побудована математична модель для визначення параметрів вібрації (амплітуди та частоти коливань) в залежності від розмірів структурних складових. На основі отриманих співвідношень можна будувати графічні залежності розмірів карбідних складових НМ від амплітуди та частоти коливань для отримання бажаної структури наплавленого шару металу.

Ключові слова: методи наплавлення, робочі органи сільськогосподарських машин, тонкі деталі, індукційне наплавлення, автоматизація, горизонтальна вібрація, наплавлений метал, структура, зносостійкість.

В сільському господарстві широко використовують тонкі плоскі деталі у вигляді робочих органів ґрунтообробних і збиральних машин, а саме: леміші плугів, лапи культиваторів, диски луцильників, ножі-гичкорізи та інші, які працюють в умовах абразивного спрацювання та значних статистичних і динамічних навантажень. Вище згадані деталі повинні володіти високою міцністю і зносостійкістю [1-5]. Їх процес зношування протікає при неперервній взаємодії металу з ґрунтом і рослинами, що в свою чергу призводить до затуплення леза в процесі експлуатації. З метою забезпечення різальних властивостей, робочі органи повинні бути схильні до самозагострювання в процесі експлуатації. Найкращим чином ці вимоги забезпечуються виготовленням біметалевих (двохшарових) робочих деталей, міцність яких забезпечується основним матеріалом, з якого виготовлений робочий орган, а зносостійкість і самозагострювання - плакуючим шаром нанесеним на основний метал. Самозагострювання залежить від співвідношення товщини і зносостійкості основного і плакуючого прошарків [6].

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 \cdot h_2}{\varepsilon_1 \cdot h_1}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_1 \cdot h_1, \varepsilon_2 \cdot h_2$ – стійкість і товщина відповідно основного і плакуючого прошарків.

Найкраще процес самозагострювання забезпечується при $\omega=1,5$.

Метою даної роботи є аналіз існуючих методів наплавлення тонких плоских деталей сільськогосподарських машин, а також вдосконалення процесу індукційного наплавлення для підвищення їх довговічності та надійності в процесі експлуатації.

Для зміцнення робочих органів використовують різноманітні способи наплавлення, а саме: електроконтактне, плазмове, електродугове, плакування вибухом, індукційне та інші методи зміцнення [5, 7-12].

Відомий спосіб наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин з використанням електроконтактного зміцнення [5, 7, 13, 14]. Присаджувальним матеріалом при цьому методі можуть бути порошки, дріт та стрічки. Суть технології полягає в нанесенні на поверхню деталі шару зносостійкого порошкоподібного твердого матеріалу (шихти), з наступним його нагріванням до температури, при якій проходить спікання шихти і утворення міцного дифузійного зв'язку з деталлю. Дана технологія застосовується при зміцненні дискових ножів ґрунтообробних машин, які повинні мати зносостійку різальну кромку і самозагострюватися в процесі експлуатації.

На рис. 1. наведені дискові ножі наплавлені порошкоподібним твердим сплавом електроконтактним способом, а на рис. 2 показана установка для приварювання стрічки до диска луцильника [2, 13].

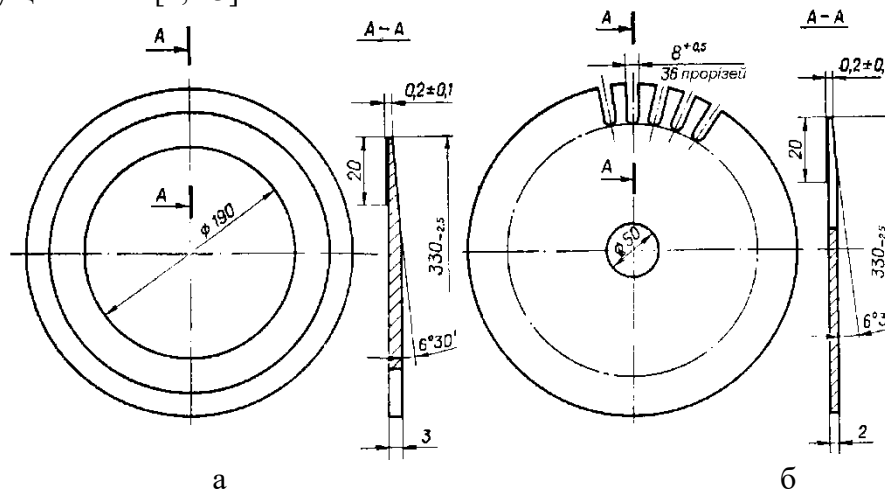


Рис. 1 – Конструкції дискових ножів [13]:
а – непривідний; б – привідний



Рис. 2 – Загальний вигляд установки для приварювання стрічки до диска луцильника на базі модернізованої машини МШПР-300/1200 [2]

В роботі [14] розроблено технологічний процес електроконтактного наплавлення леміша порошковим дротом сегментного поперечного перерізу. В цьому випадку процес наплавлення порошковим дротом протікає у дві стадії: перша, це холодне ущільнення порошкового сердечника, і як наслідок, деформація присаджувального матеріалу в зоні контакту з деталлю, а друга – сам процес наплавлення, що забезпечує нагрівання порош-

кового дроту на вершині сегменту, у зоні інтенсивного тепловиділення, поширення деформації на периферійні зони, плавлення та приварювання оболонки до основи з одночасним спіканням порошкового сердечника. На рис. 3 представлено загальний вигляд наплавленого леміша за вищезгаданою технологією.

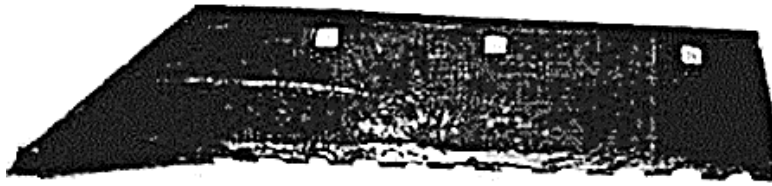


Рис. 3 – Загальний вигляд наплавленого леміша [14]

Недоліками даної технології є низька продуктивність процесу, відсутність серійного виробництва обладнання і нестабільна якість наплавленого металу.

Для отримання біметалевих робочих органів, а саме дисків лушильників, застосовується спосіб електроконтактного плакування стійкою до зношування стрічкою [15]. Для забезпечення заданої міцності і пружності дискові ножі перед плакуванням піддаються об'ємному загартуванню і відпуску. Окалина, яка утворилася в процесі прокатування і термообробки, видаляється травленням в 20% розчині сірчаної кислоти з додаванням 1% інгібітора ОП-1, підігрітого до температури 70°C. Після травлення, промивання і сушіння диск вважається придатним до плакування стрічкою. Основними недоліками цього способу являються велика трудомісткість підготовчих робіт, труднощі з виготовленням стрічок з високостійких до зношування сплавів, невисока міцність зварних прошарків.

Для зміцнення робочих поверхонь різних плоских деталей, в тому числі робочих органів ґрунтообробних машин, використовують методи плакування вибухом і прокатуванням [16]. В Чехії технологію наплавлення вибухом використовують при виробництві біметалевих ножів та інших плоских деталей [16]. Оцінки ефективності технології в порівнянні з традиційним металургійним способом ливарного плакування показали, що її застосування технічно і економічно обґрунтоване.

В ІЕЗ ім. Є.О.Патона розроблений і випробуваний спосіб одержання стійкого до зношування біметалу при прокатуванні пакетів з порошком ПГ-С1 [17], який базується на принципі авто-вакуумного зварювання тиском. Автори роботи [18] застосовують цей спосіб для одержання інструментального біметалу з плакуючим шаром порошку ПР-10Р6М5. Основним недоліком способу являються технологічні складності при складанні пакету великих розмірів, які пов'язані з необхідністю ущільнення порошку для створення мінімального об'єму повітря в порожнині пакету. В роботі [19] показано, що при отриманні біметалевого профілю для робочих органів ґрунтообробних машин порошок плакуючого прошарку ПГ-С1 попередньо компактують методом гарячого газостатичного пресування, однак промислового використанню цієї технології перешкоджає складність і висока трудомісткість.

В роботах [8, 9, 20-22] описана технологія плазмового наплавлення, яку застосовують при виготовленні багатолезових металорізальних інструментів (кінцевих фрез і т.п.), а також різальних кромки дискових і плоских ножів різного призначення. В якості матеріалів для наплавлення використовують порошки швидкорізальних сталей, а також сплавів, які містять ванадій. Даний процес наплавлення дозволяє порівняно легко регулювати в широких діапазонах енергетичні, теплові і газодинамічні параметри струменя плазми, що дозволяє отримати наплавлений шар з заданими фізико-хімічними та механічними властивостями.

Розроблена технологія плазмо-порошкового наплавлення ножів паперорізальних машин. Стійкість серійних ножів без наплавлення вичислюється годинами зношується і

визначається зносостійкістю, твердістю, механічними властивостями і деякими іншими характеристиками сталі [8, 9, 21]. Заготовка під наплавлення має розділення, яке дозволяє практично виключити деформацію після наплавлення і краєвий ефект, який виникає при напавленні на кромку. Паперорізальні ножі наплавляли плазмово-порошковим методом для кількох типів сталей і сплавів. Після наплавлення заготовки піддають дворазовому відпуску при температурі $540-560^{\circ}\text{C}$, різанню, правленню і кінцевій механічній обробці.

До недоліків слід віднести відносно низька продуктивність і необхідність складного і дорогого обладнання, а також високі вимоги до гранулометричного складу і форми гранул порошків, що призводить до її значного подорожання. Вище перераховані недоліки обмежують застосування даного способу.

Для підвищення експлуатаційних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин (ножів гичкорізів, лап культиваторів, лемішів плугів та інших деталей) Інститутом електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України запропоновано точкове зміцнення за допомогою дугового наплавлення порошковим дротом ПП-АН170 [23]. Висота зміцнювальної точки складає $1...3$ мм, а глибина проплавлення основного металу $2...4$ мм. Наплавлення здійснюють на зворотній полярності. Глибина проплавлення при точковому зміцненні регулюється зміною сили струму, напруги і часу горіння дуги. На рис. 4 показано загальний вигляд напавленого порошковим дротом леміша плуга до і після експлуатації.

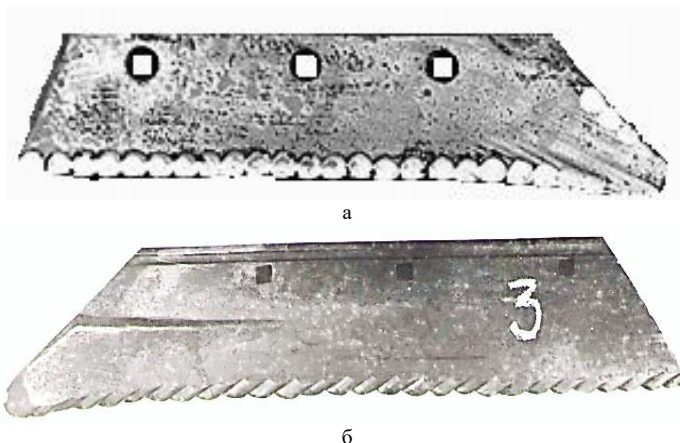


Рис. 4 – Загальний вигляд напавленого леміша до експлуатації (а) і після експлуатації (б)

Недоліком даного способу є великі трудові та матеріальні затрати на виготовлення деталей.

В роботах [11, 24-25] авторами запропоновано технологію зміцнення робочих поверхонь культиваторних лап методом локального зміцнення. Суть даного методу полягає в тому, що на зовнішню поверхню лапи наносять валики за допомогою дугового наплавлення з кроком 40 мм під кутом нахилу 25° до леза лапи. Загальний вигляд зміцненої лапи показано на рис. 5. Недоліком даного способу є великі трудові затрати і нерівномірність нанесених валиків, що залежить від кваліфікації зварника.



Рис. 5 – Загальний вигляд зміцненої лапи локальним методом [11]

Відома також технологія підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин навуглецюванням поверхневого шару вугільним електродом [27]. Суть способу полягає в тому, що при контакті вугільного електрода з деталлю в результаті іскрового розряду, вуглець електрода переходить в основний метал утворюючи на його поверхні шар цементиту, твердість якого, значно вище основного металу. Цей спосіб ще не знайшов широкого застосування у зв'язку з складністю технологічного процесу.

В роботах [12, 28] запропонована технологія відновлення і зміцнення лемішів плугів за допомогою припаювання металокерамічних пластин. Суть даного методу полягає в тому, що з лицьової сторони леза леміша припаюють твердосплавні пластини суцільного і переривчастого розташування. Для здійснення процесу фрезерують паз глибиною 1,5...2 мм, потім в нього вкладають припій Л63, на який пізніше вкладають металокерамічні пластини Т15К6 або ВК-8. Нагрівання припою здійснюють газополумевим способом, після припаювання леміш поміщають в термоізоляційну ємкість, нагріту до температури 620 °С, разом з якою він остигає до кімнатної температури. На рис. 6 показано загальний вигляд зміцненого леміша.

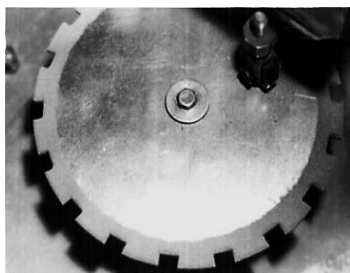


Рис. 6 – Загальний вигляд зміцненого леміша металокерамічними пластинами [12]

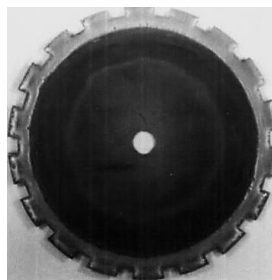
Недоліком даного способу є великі матеріальні і трудові затрати, що пов'язані з технологією виготовлення деталей.

Розроблені і інші способи зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. До них відносяться наплавлення за допомогою електронного прискорювача [29], лазерне наплавлення [30-32] і інші. Проте через складність технології і відсутності обладнання, його недосконалість і високої вартості ці процеси поки що не знайшли промислового застосування.

Для зміцнення тонких плоских деталей, в тому числі робочих органів деталей сільськогосподарських машин товщиною основного і наплавленого металу відповідно 2,0...6,0 мм та 0,8...2,0 мм, широко використовують індукційний спосіб наплавлення. Авторами робіт [33-35] була розроблена технологія одночасного індукційного наплавлення тонких фасонних дисків по всій робочій поверхні. Для наплавлення використовується спеціальна шихта, що складається із суміші зносостійкого порошкоподібного твердого сплаву і флюсу. Шихту наносять на поверхню деталі в вигляді прошарку відповідної товщини (рис. 7). Після цього деталь розміщують в індукторі (рис. 8), джерелом живлення якого є високочастотний генератор. При проходженні струмів високої частоти через індуктор в поверхневих шарах деталі, яка підлягає наплавленню, наводяться вихрові струми, які розігрівають деталь, а від її поверхні плавиться шихта [33]. Густина розподілу струму залежить від багатьох факторів, основними з яких є: частота і сила струму індуктора, питомий електричний опір і магнітна проникність матеріалу, геометричні розміри деталі, яка підлягає нагріванню. Шар порошкоподібної шихти, розташованої між індуктором і поверхнею основного металу, має високий питомий опір і повільно реагує на дію електромагнітного поля, шихта в основному нагрівається за рахунок тепла, яке виділяється у деталі. Недоліками є висока енергоємність, перегрівання основного металу, присаджувальний матеріал повинен бути більш легкоплавкий, ніж основний. Не дивлячись на вище згадане на підприємствах, які випускають сільськогосподарську техніку, плуги, лушпильники, лапи культиваторів і інше, цей спосіб є найбільш розповсюдженим [33].

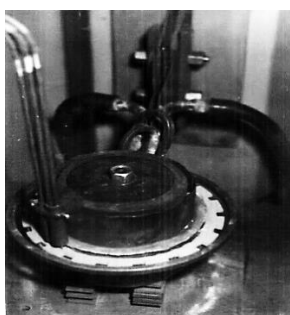


а

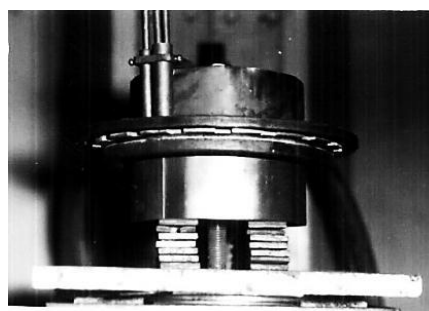


б

Рис. 7 – Пристрій для засипання шихти (а) та наплавлений диск (б) [35]



а



б

Рис. 8 – Пристрій для наплавлення диска в двовитковому кільцевому індукторі [35]:
а – вид зверху; б – вид збоку

В даний час широке застосування в техніці, а особливо при зварюванні та наплавленні знайшли технологічні процеси з використанням вібрації.

Так з метою підвищення зносостійкості та якості напавленого металу деталей ґрунтообробних машин авторами в роботах [36-40] запропоновано застосовувати віброоброблення деталей після напавлення. Суть даного методу полягає в тому, що на напавлений шар послідовно наносять велику кількість мікроударів, з відповідною частотою та амплітудою 0,5 мм на протязі 20 секунд, викликаних дією коливань оброблювального інструменту. Основними перевагами при використанні даної технології є утворення рівномірної і більш дрібнозернистої структури напавленого шару, за рахунок чого підвищується твердість напавленого металу на 25%. До недоліків даного способу слід віднести великі трудові і матеріальні затрати, а також складність виконання технологічного процесу пов'язаного з коливанням оброблювального інструменту.

В роботах [41-42] описано технологію віброоброблення зварних з'єднань нафтогазового обладнання. Запропонована технологія полягає в тому, що в процесі зварювання деталі піддають вібрації амплітудою 0,4...0,6 мм з частотою коливань 50 Гц, це дозволяє підвищити довговічність та ударну в'язкість зварних з'єднань відповідно в 4 та 2 рази за рахунок зниження рівня залишкових напружень і деформацій, які виникають після зварювання, а також утворення дрібнозернистої структури металу шва і біля шовної зони. Однак дана технологія не знайшла широкого використання із-за складності технологічного процесу і обладнання.

Для вдосконалення процесу індукційного напавлення з метою підвищення експлуатаційних властивостей напавленого металу авторами розроблена нова технологія з використанням механічної вібрації [43-46], яка полягає в тому, що деталь піддається горизонтальній вібрації в той момент, коли порошкоподібна шихта знаходиться в розплавленому стані (табл. 1). При цьому важливе значення має величина амплітуди і частоти коливань.

Для оцінювання ефективності розробленої технології, проведені дослідження структури, мікротвердості структурних складових та зносостійкості металу наплавленого індукційним способом без і з накладанням вібрації. Для проведення досліджень були наплавленні плоскі зразки порошкоподібним твердим сплавом ПГ-С1 (сормайт1): зразок №1 – без вібрації і №2 – з накладанням горизонтальної вібрації. Наплавлення здійснювалося на високочастотному генераторі типу ВЧГ 6-60/0,44 при постійній потужності і часу наплавлення. Режими були однакові для двох варіантів (зразки №1 та №2): напруга на контурі – 5.4 кВ, анодна напруга 10 кВ, струму сітки 1,2 А і струму анода лампи 2 А, час наплавлення 35 с, амплітуда коливань 0,2 мм при частоті 50Гц.

З наплавлених заготовок вирізали зразки для дослідження структури та зносостійкості наплавленого металу. Як показали дослідження відмінність в структурі двох варіантів полягає в тому, що горизонтальна вібрація призводить до значного подрібнення карбідної складової наплавленого металу (рис. 10 б). Карбіди типу $(Fe, Cr)_7C_3$ і $(Fe, Cr)_3C$ мають вигляд шестигранників з середньою довжиною сторони 10 ... 12 мкм, без вібрації (рис. 10, а), подрібнюються до 3,5 ... 7 мкм при горизонтальній вібрації (рис. 10 б). Необхідно зазначити, що горизонтальна вібрація має кращі показники наплавленого металу в порівнянні з вертикальною.

Для вивчення розподілу вмісту хімічних елементів (хрому і вуглецю) в перехідній зоні і наплавленому шарі металу було проведено мікрорентгеноспектральний аналіз на мікроаналізаторі САМЕВАХ SX-50 французької фірми САМЕСА (рис. 11).

Встановлено, що в металі досліджуваних зразків вглиць пов'язаний в карбіди типу (як уже раніше відмічалось) $(Fe, Cr)_7C_3$ та $(Fe, Cr)_3C$ і помітного перерозподілу вуглецю та хрому у лінії сплавлення не спостерігалось.

Більшу твердість та зносостійкість наплавленого металу (рис. 12) має зразок №2 при прикладанні горизонтальної вібрації і досягаються за рахунок більш сприятливої структури і утворенням у значній мірі карбідів, що підтверджується результатами мікрорентгеноспектрального аналізу.

Для підтвердження результатів підвищення зносостійкості і сприятливого розподілу карбідів авторами розроблено математичну модель [47], яка дозволяє визначати оптимальні значення амплітуди і частоти вібрації для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик наплавленого металу. За критерій оптимальності вибрана величина карбідних складових наплавленого металу. Отримані співвідношення для оцінки вібрації наперед вибраних розмірів карбідних складових на які розпадається дендрид:

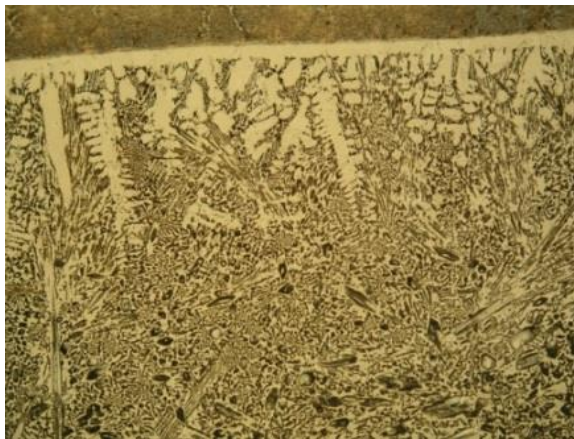
$$\omega^2 \leq 0,5(2f_1^2 - 4\xi^2 + 4\rho^{-2}D^{-2}\eta^2a^2h_1^{-4}) + \sqrt{0,25(2f_1^2 - 4\xi^2 + 4\rho^{-2}D^{-2}\eta^2a^2h_1^{-4})^2 - f_1^4};$$
$$a^2 \geq \frac{f_1\rho^2D^2h_1^4[\omega^4 - (2f_1^2 - 4\xi^2)\omega^2 + f_1^4]}{4\eta^2\omega^4}. \quad (2)$$

Якщо будуть задані характеристики зносостійкого твердого сплаву (наплавленого металу) $f_1, \xi, \rho, \eta, h_1$ [47], тоді для необхідного розміру D карбідних складових можна знайти на основі співвідношень (2) відповідні параметри механічних коливань (частоту ω і амплітуду a), що дозволять отримати необхідні механічні властивості наплавленого шару металу.

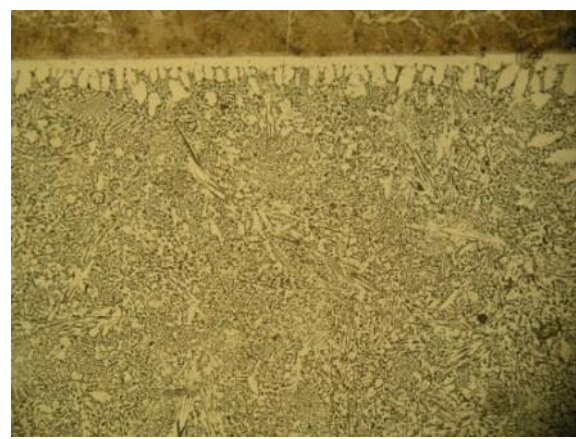
Схеми і режими наплавлення досліджуваних зразків

№ зразка	Схема наплавлення	Напруга, кВ		Струм, А		Час наплавлення, с	Зміна питомої потужності на індукторі, $W \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^3$
		на контурі	на аноді	сітки лампи	анода лампи		
№1		5,4	10	1,2	2	35	
№2		5,4	10	1,2	2	35	

Примітки: 1 – індуктор; 2 – твердий сплав; 3 – деталь

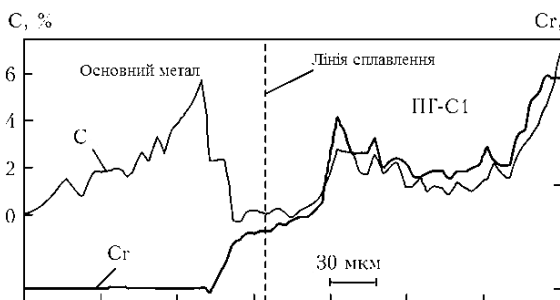


а

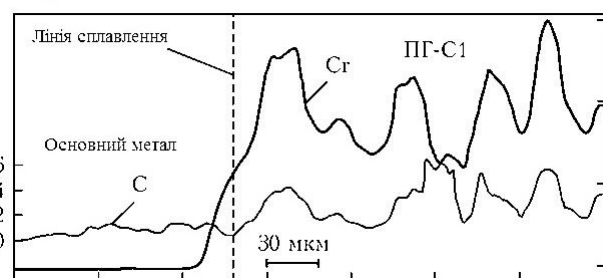


б

Рис. 10 – Мікроструктура наплавеного металу досліджуваних зразків ($\times 200$, зменш. 2/3)



а)



б)

Рис. 11 – Розподіл вуглецю і хрому в перехідній зоні і наплавеному шарі металу

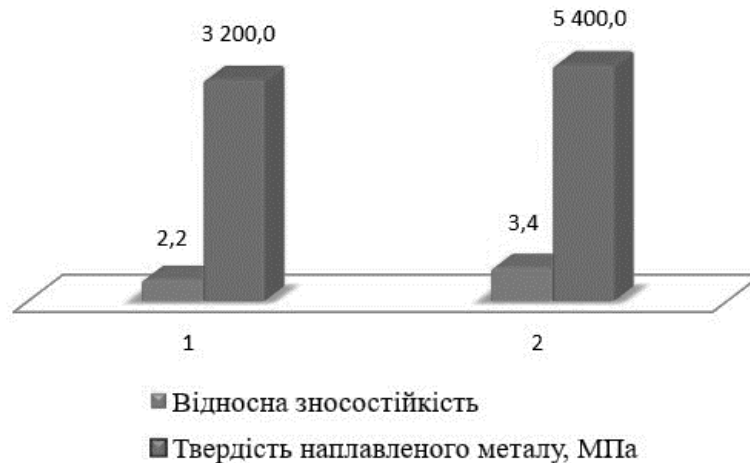


Рис. 12 – Відносна зносостійкість та твердість наплавленого металу зразків №1 та № 2

Література:

1. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. Боль А. А., Лесков С. П. Индукционная наплавка деталей в сельскохозяйственном машиностроении // Наплавка. Опыт и эффективность применения. - Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. - С. 72-75.
3. Вишнеvский А.А. Костылев Ю.А., Остров Д.Д. Технология изготовления наплавленных дисковых ножей. Наплавка деталей металлургического и горного оборудования. - Реф. сб. - М.: НИИИнформтяжмаш, 1978. -С.15-18.
4. V.S. Senchishin and Ch.V. Pulka. Modern methods of surfacing the tools of agricultural tillers and harvesters (Review). The Paton Welding Journal. 9/2012. P. 44-49.
5. Рабинович А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин. -М.: ГОСНИТИ, 1962. - 165 с.
6. Николаенко М.Р., Рымов Е.В. Новые технологические процессы электродуговой и электроконтактной наплавки быстроизнашивающихся деталей строительных и дорожных машин. -М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. – 157 с.
7. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменная наплавка. – К.: «Еко-технологія», 2007. – 292 с.
8. Bouaifi B. Plazma-Pulver-Auftragschweibunger zum Verschleibschutz abrasive beanspruchter Bouteil mit Kantenbelastung / Bouaifi B., Gebert A., Heinze H. // SchweiBen und Schneiden. – 1993. - № 9. – S. 506-509.
9. Денисенко М. І. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин [Електронний ресурс]: наукове видання / М. І. Денисенко, В. Д. Войтюк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". Вип. 166. Ч. 1: Збірник наукових праць / ред. колегія Д. О. Мельничук. - К.: НУБПУ, 2011. - С. 274-284.
10. Кобець, А. С. Методи і способи підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів / А. С. Кобець, А. М. Пугач // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету [Текст]: наук.-теорет., наук.-практ. журн. №1. - 2010. - С .61-63.
11. Кузнецов Ю.А. Восстановление и упрочнение лемехов плугов металлокерамическими пластинами / Ю.А. Кузнецов, В.В. Гончаренко // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета №2(7). – 2007. С. 122 – 123.
12. Электроконтактная наплавка дисковых ножей / В. П. Туркин, В. Г. Путилин, М. Р. Николаенко и др. -Автоматическая сварка, 1978. - № 2. - С. 74-76.

13. Волков Д.А. Удосконалення технології економнолегованого наплавлення зносостійкого сплаву з використанням порошкового дроту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук / Д.А. Волков. – Краматорськ, 2012. – 21 с.
14. Контактное плакирование рабочих органов почвообрабатывающих машин / Г.Е. Мамулия, Г.Ф.Муров, В.П. Тюленев, Г.Д. Диборова - Свароч. пр-во, 1984. - № 2. - С. 37-39.
15. Плакирование стали взрывом А.С. Гельман, Б.Д. Цемахович, А.Д. Чудповский и др. - М.: Машиностроение, 1978. - 191 с.
16. Рябцев И.А. Биметаллический прокат с плакирующим слоем из гранулированного порошка ПГ-С1 //Современные методы наплавки и наплавочные материалы: Тез. докл. III Республ. науч.-техн. конф. -Харьков, 1981. -С. 9-10.
17. Кальнер В.Д., Горюшина М.Н., Сичужникова А.А. Процессы взаимодействия на границе разделабиметаллической заготовки, полученной методом прокатки неспеченного порошка. -Металловедение и терм. обраб. металлов, 1984. - № 3. - С. 28-29.
18. Перспективы применения компактных материалов в биметаллических деталях рабочих органов сельхозмашин, Б. Н. Федоров, В. А. Осадчий, М. Ю. Тиц и др. - Тракторы и сельхозмашины, 1975. – № 9. – С. 39-41.
19. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. – К.: «Екотехнологія», 2004. – 160 с.
20. Переплетчиков Е.Ф. Высокованадиевые сплавы для плазменно-порошковой наплавки инструментов / Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев, Г.М. Гордань // Автомат. сварка. – 2003. – №3. – С. 21-25.
21. Е. Ф. Переплетчиков. Плазменная наплавка// Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – №12. – с. 35.
22. Денисенко М. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / Денисенко М., Опальчук А. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Спецвипуск — частина 2. — С.201-210.
23. Кобець, А. С. Польові дослідження спрацювання культиваторних лап з локальним зміцненням / А. С. Кобець, О.М. Кобець, А. М. Пугач // Вісник ХНТУ ім. П. Василенка Випуск №107 [Текст]: «механізація сільськогосподарського виробництва», Том1, Харків 2011. - С .208-213.
24. Михальченков А.М. Повышение износостойкости плужных лемехов нанесением упрочняющих валиков в области наибольшего износа [Текст] / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, М.А. Михальченкова // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2007. - №9. - С. 17-19.
25. Василенко М.О. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні та відновленні робочих органів // Техніка АПК Випуск 1, 2008. – С.29-31.
26. Киргизов В.Е. Повышение долговечности плужных лемехов при восстановлении наплавкой угольным электродом / Киргизов В.Е., Шишкин Г.М., Балданов К.П., Андреев С.В., Гом П.Э.// Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», 2010, выпуск 38. – С.65-70.
27. Гончаренко В.В. Восстановление и упрочнение режущей кромки лемеха пайкой металлокерамических пластин / В.В. Гончаренко, А.В. Фербьяков, Ю.А. Кузнецов [и др.]// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – №11. С.21-22.
28. Фоминский Л.П. Наплавка рабочих органов сельхозмашин с помощью электронного ускорителя / Л.П. Фоминский, М.В. Левчук, А.Ф. Байсман и др. // Свароч. пр-во. – 1987. – №11. С. 4-6.
29. Ивашко В.С. Упрочнение быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающей техники /В.С. Ивашко, В.К. Ярошевич, П.Г. Лузан, Г.Н. Мдзинарашвшш, // Свароч. пр-во 2008г. N 11
30. Коваленко В.С. Упрочнение деталей лучом лазера / В.С. Коваленко, Г.В. Меркулов, А.И. Стрижак. – К.: Техніка, 1981. – 131с.

31. Солових Є.К. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / Є.К. Солових, В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – Вип. 35. – С. 153-159.
32. Пулька Ч.В. Технологічна та енергетична ефективність індукційного наплавлення тонких сталевих дисків [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: 05.03.06 / Пулька Чеслав Вікторович; НТУУ «КПІ». – Київ., 2006. – 37 с.
33. Шаблій О.М. Основні напрямки індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин / Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Король О.І. // Вісник ТДТУ. – 2008. - Том 13. - №4. – С. 100-109.
34. Шаблій О.М. Розроблення енергоощадних нагрівальних систем для індукційного наплавлення деталей сільськогосподарських машин / Шаблій О.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С., Гаврилюк В.Я. // Вісник ТНТУ. – 2011. - №4. – С. 107-120.
35. Біловод О.І. Дудніков А.А. К вопросу износостойкости рабочих органов свеклоборочных комбайнов. / О.І.Біловод, А.А. Дудніков // Вісник ХДТУСГ ім. П.Василенка: Механізація сільського господарства. Вип. 59, том 1. –Харків. 2007.– С. 288-293.
36. Дудников И.А. К вопросу влияния вибрационной обработки на деформирование материала обрабатываемых деталей / И.А. Дудников, А.П. Кившик, А.А. Дудников. 36. наук. праць. Випуск 39. – Кіровоград: 2009. – С.167-169.
37. Дудник В.В. Оценка структуры упрочненного слоя лезвия лемехов / В.В. Дудник // Восточно-Европейский журнал передовых технологий //научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2011. - №4/7 (52). – С. 4-6.
38. Біловод О. І. Підвищення надійності і обґрунтування параметрів процесу виробництва і відновлення розроблених дискових копачів бурякозбиральних машин [Текст]: Дис. канд. техн. наук: 05.05.11 - 2009.
39. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
40. Сутырин Г.В. Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны // Автоматическая сварка, 1975. - № 5(266). - С. 7-10.
41. Хафизова О.Ф. К влиянию вибрационной обработки на механические свойства разнородных сварных соединений / О.Ф. Хафизова, В.И. Болобов, А.М. Файрушин, А.Ю. Кузькин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011. – №1. http://www.ogbus.ru/authors/Khafizova/Khafizova_1.pdf.
42. Исследование влияния вибрационных колебаний в процессе сварки на технологическую прочность и механические свойства сварных соединений из стали 11Х11Н2В2МФ/ А.Н. Салмин, А.М. Файрушин, И.Г. Ибрагимов // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело", 2010. http://www.ogbus.ru/authors/Salmin/Salmin_1.pdf. 8 с.
43. Пулька Ч.В. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблій, В.С. Сенчишин, М.В.Шарык, Г.Н.Гордань // Автомат. сварка. – 2012. – №1. – С. 27-29.
44. Пат. 59994 UA, МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків [Текст] / Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – №u201013152, заявл. 05.11.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. №11.
45. Пат. 64371 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення сталевих деталей [Текст] / Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – №u201103195, заявл. 18.03.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №21.

46. Пат. 54204 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких плоских сталевих деталей [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин, О.І. Король, М.В. Шарик; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – №u201006501, заявл. 28.05.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.
47. Сенчишин В.С. Расчет размеров структурных составляющих наплавленного индукционным способом металла с наложением механической вибрации / Сенчишин В.С., Пулька Ч.В. // Автомат. сварка. – 2015. – №8. – С. 34-37.

Summary

Ch. Pulka, V. Senchishin, M. Sharik Increase of durability of details of soil cultivating agricultural machines using various methods of surfacing

It is shown in the article, that the most promising application of the induction welding using powder-like hard alloys for the flat parts of agricultural machines with the thickness of the basic and weld metal 2.0 ... 6.0 mm and 0.8 ... 2.0 mm correspondingly is the minimum mixing of the basic metal (BM) and welded metal (WM), the mechanization and automation of the process being possible. The results of investigations of the structure and the properties of the metal being welded by the induction method using the alloy ПГ-С1, when the mechanical vibration is applied while melting (WM), are presented. It is shown, that the application of vibration results in the increase of the WM wear-resistance due to the comminution of its structural components.

The processes of comminution of the WM structure while applying the horizontal vibration is investigated. The mathematical model for finding vibration parameters (amplitude and vibration frequency), depending on the sizes of the structural components, was constructed. Basing on the obtained relations the graphic dependencies of the carbide components of WM on the vibration amplitude and frequency can be constructed to obtain the needed structure of the metal welded layer.

Keywords: methods of surfacing, working bodies of agricultural machines, fine details, induction surfacing, automation, horizontal vibration, weld metal, structure, wear resistance.

References

1. Tkachev V.N. Iznos i povyshenie dolgovechnosti detalej selskohozyajstvennyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1971. – 264 s.
2. Bol A. A., Leskov S. P. Indukcionnaya naplavka detalej v selskohozyajstvennom mashinostroenii // Naplavka. Opyt i effektivnost primeneniya. - Kiev: IES im. E. O. Patona, 1985. - S. 72-75.
3. Vishnevskij A.A. Kostylev Yu.A., Ostrov D.D. Tehnologiya izgotovleniya naplavlennyh diskovih nozhej. Naplavka detalej metallurgicheskogo i gornogo oborudovaniya. - Ref. sb. - M.: NIInformtyazhmash, 1978. -S.15-18.
4. V.S. Senchishin and Ch.V. Pulka. Modern methods of surfacing the tools of agricultural tillers and harvesters (Review). The Paton Welding Journal. 9/2012. P. 44-49.
5. Rabinovich A. Sh. Samozatachivayushiesya pluzhnye lemehi i drugie pochvorezhushie detali mashin. -M.: GOSNITI, 1962. - 165 s.
6. Nikolaenko M.R., Rymorov E.V. Novye tehnologicheskie processy elektrodugovoj i elektrokontaktnej naplavki bystroiznashivayushihsvya detalej stroitelnyh i dorozhnyh mashin. -M.: CNIITestrojmash, 1976. – 157 s.
7. Gladkij P.V., Pereplechikov E.F., Ryabcev I.A. Plazmennaya naplavka. – K.: «Ekotehnologiya», 2007. – 292 s.

8. Bouaifi B. Plazma-Pulver-Auftragschweibunger zum Verschleibschutz abrasive beanspruchter Bouteil mit Kantenbelastung / Bouaifi B., Gebert A., Heinze H. // Schweiben und Schneiden. – 1993. - № 9. – S. 506-509.
9. Denisenko M. I. Pidvishennya ekspluatacijnoyi nadijnosti detalej robochih organiv gruntoobrobnih mashin [Elektronnyj resurs]: nauchnoe izdanie / M. I. Denisenko, V. D. Vojtyuk // Naukovij visnik Nacionalnogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukrayini. Seriya "Tehnika ta energetika APK". Vip. 166. Ch. 1: Zbirnik naukovih prac / red. kolegiya D. O. Melnichuk. - K.: NUBPU, 2011. - S. 274-284.
10. Kobec, A. S. Metodi i sposobi pidvishennya znosostijkosti robochih organiv kultivatoriv / A. S. Kobec, A. M. Pugach // Visnik Dnipropetrovskogo derzhavnogo agrarnogo universitetu [Tekst]: nauk.-teoret., nauk.-prakt. zhurn. №1. - 2010. - S. 61-63.
11. Kuznecov Yu.A. Vosstanovlenie i uprochnenie lemehov plugov metallokeramicheskimi plastinami / Yu.A. Kuznecov, V.V. Goncharenko // Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaochnogo universiteta №2(7). – 2007. S. 122 – 123.
12. Elektrokontaktnaya naplavka diskovyh nozhej / V. P. Turkin, V. G. Putilin, M. R. Nikolaenko i dr. -Avtomatischeckaya svarka, 1978. - № 2. - S. 74-76.
13. Volkov D.A. Udoskonalennya tehnologiyi ekonomnolegovanogo naplavlennya znosostijkogo splavu z vikoristannyam poroshkovogo drotu: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. teh. nauk / D.A. Volkov. – Kramatorsk, 2012. – 21 s.
14. Kontaktnoe plakirovanie robochih organov pochvoobrabatyvayushih mashin / G.E. Mamuliya, G.F.Murov, V.P. Tyulyeneev, G.D. Diborova - Svaroch. pr-vo, 1984. - № 2. - S. 37-39.
15. Plakirovanie stali vzryvom A.S. Gelman, B.D. Cemahovich, A.D. Chudpovskij i dr. - M.: Mashinostroenie, 1978. - 191 s.
16. Ryabcev I.A. Bimetallicheskiy prokat s plakiruyushim sloem iz granulirovannogo poroshka PG-S1 //Sovremennye metody naplavki i naplavochnye materialy: Tez. dokl. III Respubl. nauch.-tehn. konf. -Harkov, 1981. -S. 9-10.
17. Kalner V.D., Goryushina M.N., Sichuzhnikova A.A. Processy vzaimodejstviya na granice razdelabimetallicheskoj zagotovki, poluchennoj metodom prokatki nespechennogo poroshka. -Metallovedenie i term. obrab. metallov, 1984. - № 3. - S. 28-29.
18. Perspektivy primeneniya kompaktnyh materialov v bimetallicheskih detalyah robochih organov selhozmashin, B. N. Fedorov, V. A. Osadchij, M. Yu. Tic i dr. - Traktory i selhozmashiny, 1975. – № 9. – S. 39-41.
19. Ryabcev I.A. Naplavka detalej mashin i mehanizmov. – K.: «Ekotehnologiya», 2004. – 160 s.
20. Perepletchikov E.F. Vysokovanadievye splavy dlya plazmenno-poroshkovej naplavki instrumentov / E.F. Perepletchikov, I.A. Ryabcev, G.M. Gordan // Avtomat. svarka. – 2003. – №3. – S. 21-25.
21. E. F. Perepletchikov. Plazmennaya naplavka// Remont, vosstanovlenie, modernizaciya. – 2005. – №12. – c. 35.
22. Denisenko M. Znosuvannya ta pidvishennya dovgovichnosti robochih organiv silskogospodarskih mashin / Denisenko M., Opalchuk A. // Visnik TNTU. — 2011. — Specvipusk — chastina 2. — S.201-210.
23. Kobec, A. S. Polovi doslidzhennya spracyuvannya kultivatornih lap z lokalnim zmicnennyam / A. S. Kobec, O.M. Kobec, A. M. Pugach // Visnik HNTU im. P. Vasilenka Vipusk №107 [Tekst]: «mehanizaciya silskogospodarskogo virobnictva», Tom1, Harkiv 2011. - S. 208-213.
24. Mihalchenkov A.M. Povyshenie iznosostijkosti pluzhnyh lemehov naneseniem uprochnyayushih valikov v oblasti naibolshego iznosa [Tekst] / A.M. Mihalchenkov, A.A. Tyureva, M.A. Mihalchenkova // Remont, vosstanovlenie, modernizaciya. - 2007. - №9. - S. 17-19.

25. Vasilenko M.O. Perspektivi zastosuvannya lokalnogo zmicnennya pri vigotovlenni ta vidnovlenni robochih organiv // Tehnika APK Vipusk 1, 2008. – S.29-31.
26. Kirgizov V.E. Povyshenie dolgovechnosti pluzhnyh lemehov pri vosstanovlenii naplavkoj ugolnym elektrodom / Kirgizov V.E., Shishkin G.M., Baldanov K.P., Andreev S.V., Gom P.E.// Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IrGSHA», 2010, vypusk 38. – S.65-70.
27. Goncharenko V.V. Vosstanovlenie i uprochnenie rezhushej kromki lemeha pajkoj metal-lokeramicheskikh plastin / V.V. Goncharenko, A.V. Ferbyakov, Yu.A. Kuznecov [i dr.]// Mehanizaciya i elektrifikaciya selskogo hozyajstva. – 2006. – №11. S.21-22.
28. Fominskij L.P. Naplavka robochih organov selhozmashin s pomoshyu elektronnoho uskoritelya / L.P. Fominskij, M.V. Levchuk, A.F. Bajzman i dr. // Svaroch. pr.-vo. – 1987. – №11. S. 4-6.
29. Ivashko B.C. Uprochnenie bystroiznashivayushihysya detalej pochvoobrabatyvayushej tehniki /B.C. Ivashko, V.K. Yaroshevich, P.G. Luzan, G.N. Mdzinarashvshsh, // Svaroch. pr.-vo 2008g. N 11
30. Kovalenko V.S. Uprochnenie detalej luchom lazera / V.S. Kovalenko, G.V. Merkulov, A.I. Strizhak. – K.: Tehnika, 1981. – 131s.
31. Solovih Ye.K. Analiz harakteru znoshuvannya lez gruntorizhuchih detalej ta pidvishennya yih resursu lazernimi tehnologiyami / Ye.K. Solovih, V.V. Aulin, V.M. Bobrickij // Konstruyuvannya, virobniectvo ta ekspluataciya silskogospodarskih mashin. – Kirovograd: KNTU, 2005. – Vip. 35. – S. 153-159.
32. Pulka Ch.V. Tehnologichna ta energetichna effektivnist indukciynogo naplavlennya tonkih stalevih diskiv [Tekst]: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya dokt. tehn. nauk: 05.03.06 / Pulka Cheslav Viktorovich; NTUU «KPI». – Kiyiv., 2006. – 37 s.
33. Shabl'ij O.M. Osnovni napryamki indukciynogo naplavlennya robochih organiv silskogospodarskih mashin / Shabl'ij O.M., Pulka Ch.V., Korol O.I. // Visnik TDTU. – 2008. - Tom 13. - №4. – S. 100-109.
34. Shabl'ij O.M. Rozroblennya energooshadnih nagrivalnih sistem dlya indukciynogo naplavlennya detalej silskogospodarskih mashin /Shabl'ij O.M., Pulka Ch.V., Senchishin V.S., Gavrilyuk V.Ya. // Visnik TNTU. – 2011. - №4. – S. 107-120.
35. Bilovod O.I. Dudnikov A.A. K voprosu iznosostojkosti robochih organov sveklouborochnyh kombajnov. / O.I. Bilovod, A.A. Dudnikov // Visnik HDTUSG im. P. Vasilenka: Mehanizaciya silskogo gospodarstva. Vip. 59, tom 1. –Harkiv. 2007.– S. 288-293.
36. Dudnikov I.A. K voprosu vliyaniya vibracionnoj obrabotki na deformirovanie materiala obrabatyvaemyh detalej / I.A. Dudnikov, A.P. Kivshik, A.A. Dudnikov. Zb. nauk. prac. Vipusk 39. – Kirovograd: 2009. – S.167-169.
37. Dudnik V.V. Ocenka struktury uprochnennogo sloya lezviya lemehov / V.V. Dudnik // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij //nauchnyj zhurnal. - Harkov: Tehnologicheskij centr, 2011. - №4/7 (52). – S. 4-6.
38. Bilovod O. I. Pidvishennya nadijnosti i obgruntuvannya parametriv procesu virobniectva i vidnovlennya rozroblenih diskovih kopachiv buryakozbiralnih mashin [Tekst]: Dis. kand. tehn. nauk: 05.05.11 - 2009.
39. Babichev A.P. Osnovy vibracionnoj tehnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatelskij centr DGTU, 2008. – 694 s.
40. Sutyryn G.V. Issledovanie mehanizma vozdeystviya nizkochastotnoj vibracii na kristalizaciyu svarочноj vanny // Avtomaticheskaya svarka, 1975. - № 5(266). - S. 7-10.
41. Hafizova O.F. K vliyanuyu vibracionnoj obrabotki na mehanicheskie svojstva raznorodnyh svarynih soedinenij / O.F. Hafizova, V.I. Bolobov, A.M. Fajrushin, A.Yu. Kuzkin // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo», 2011. – №1. http://www.ogbus.ru/authors/Khafizova/Khafizova_1.pdf.

42. Issledovanie vliyaniya vibracionnyh kolebanij v processe svarki na tehnologicheskuyu prochnost i mehanicheskie svojstva svarnyh soedinenij iz stali 11H11N2V2MF/ A.N. Salmin, A.M. Fajrushin, I.G. Ibragimov // Elektronnyj nauchnyj zhurnal "Neftegazovoe delo", 2010. http://www.ogbus.ru/authors/Salmin/Salmin_1.pdf. 8 s.
43. Pulka Ch.V. Vliyanie vibracij detali v processe naplavki na strukturu i svojstva metalla / Ch.V. Pulka, O.N. Shablij, V.S. Senchishin, M.V.Sharyk, G.N.Gordan // Avtomat. svarka. – 2012. – №1. – S. 27-29.
44. Pat. 59994 UA, MPK V23K 13/00. Pristriy dlya naplavlennya tonkih fasonnih diskiv [Tekst] / Ch.V. Pulka, V.S. Senchishin; zayavnik i vlasnik Ternopilskij nacionalnij tehnicnij universitet im. Ivana Pulyuya. – №u201013152, zayavl. 05.11.2010; opubl. 10.06.2011, Byul. №11.
45. Pat. 64371 UA, MPK V23K 13/00. Sposib naplavlennya stalevih detalej [Tekst] / Ch.V. Pulka, V.S. Senchishin; zayavnik i vlasnik Ternopilskij nacionalnij tehnicnij universitet im. Ivana Pulyuya. – №u201103195, zayavl. 18.03.2011; opubl. 10.11.2011, Byul. №21.
46. Pat. 54204 UA, MPK V23K 13/00. Sposib naplavlennya tonkih ploskih stalevih detalej [Tekst] / O.M. Shablij, Ch.V. Pulka, V.S. Senchishin, O.I. Korol, M.V. Sharik; zayavnik i vlasnik Ternopilskij nacionalnij tehnicnij universitet im. Ivana Pulyuya. – №u201006501, zayavl. 28.05.2010; opubl. 25.10.2010, Byul. №20.
47. Senchishin V.S. Raschet razmerov strukturnyh sostavlyayushih naplavlennogo indukcionnym sposobom metalla s nalozheniem mehanicheskoy vibracii / Senchishin V.S., Pulka Ch.V. // Avtomat. svarka. – 2015. – №8. – S. 34-37.