

УДК 621.793.927.7

**О. Шаблій, докт. фіз.-мат. наук; Ч. Пулька, докт. техн. наук;
О. Король**

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

У роботі представлено огляд існуючих способів наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин, розглянуті їх переваги та недоліки. Показано, що найбільш ефективним способом для зміцнення робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин є індукційне наплавлення зносостійкими порошкоподібними твердими сплавами. Намічені напрямки вдосконалення процесу індукційного наплавлення тонких дисків, відносно великих розмірів та складної конфігурації.

O. Shabliy, Ch. Pulka, O. Korol

BASIC DIRECTIONS OF INDUCTION HARDFACING OF WORKINGS ORGANS OF AGRICULTURAL MACHINES

The review of existent methods hardfacing of workings organs of agricultural machines is presented in work, their advantages and failings are considered. It is shown that the most effective method for strengthening of workings surfaces details of agricultural machines is induction hardfacing by wearproof hard alloys. Directions of perfection of process of induction hardfacing of thin disks are set, in relation to the largenesses of the complicated configuration.

Робочі органи ґрунтообробної і збиральної сільськогосподарської техніки (лемехи плугів, диски луцильників, лапи культиваторів, ножі-гичкорізи й ін.), які експлуатуються в умовах інтенсивного абразивного спрацювання та значних статичних і динамічних навантажень, повинні мати високу зносостійкість і міцність [1-5]. Крім того, для забезпечення різальних властивостей при експлуатації вони повинні самозагострюватись. Досвід показує, що найкраще ці вимоги задовольняють біметалічні двошарові робочі органи. Сталь основного шару забезпечує міцність, а зносостійкість - плакуючий прошарок, нанесений тим чи іншим способом на основний. Ефект самозагострювання залежить від співвідношення товщини і зносостійкості основного і плакуючого прошарків [6]:

$$\omega = \varepsilon_2 h_2 / \varepsilon_1 h_1, \quad (1)$$

де $\varepsilon_2 h_2$, $\varepsilon_1 h_1$ - зносостійкість і товщина відповідно основного і плакуючого прошарків.

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

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних і збиральних машин можуть застосовуватися газове, електроконтактне, плазмове й індукційне наплавлення, плакування вибухом, прокатуванням і інші способи [7-14].

Газове наплавлення пропонується використовувати для підвищення зносостійкості дискових ножів бурякозбиральних комбайнів, дисків сіялок і луцильників [7]. Джерелом нагрівання в даному процесі служить ацетилено-кисневе полум'я, в якості присаджувального матеріалу використовують дріт або порошки зносостійких сплавів.

Розроблено декілька багатополумєневих наконечників до стандартних пальників [7]. Наплавлення пальниками з такими наконечниками може проводитися не тільки вручну, але і механізованим способом.

Перевагами газового наплавлення є: незначне проплавлення основного металу і мінімальне перемішування (8... 10 %) основного металу з наплавленим, простота і доступність обладнання і технології, можливість отримання наплавленого металу практично будь-якої системи легування. Основні недоліки способу - низька продуктивність, нестабільна якість наплавленого металу, яка залежить від кваліфікації робітника.

Відомий спосіб наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин з використанням електроконтактного нагрівання [11, 15-17]. Присаджувальним матеріалом при електроконтактному наплавленні можуть бути порошки, дріт і стрічки. Схема установки електроконтактного наплавлення дискових ножів з присаджуванням порошків зносостійких сплавів наведена на рис. 1. Перевагами даного способу є: відсутність проплавлення основного металу, мінімальні деформації наплавлених деталей, можливість наплавлення шарів малої товщини.

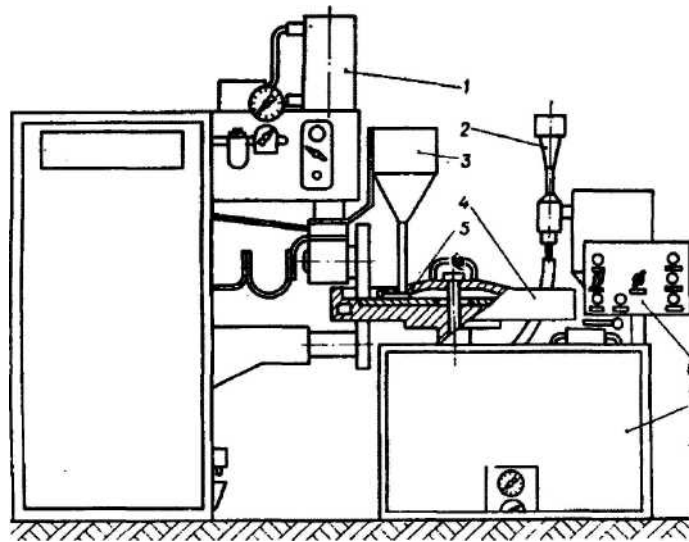


Рисунок 1 - Схема установки для електроконтактного наплавлення дискових ножів [17]:
1 - контактна шовна машина МШ-3201; 2 - бункерний дозуючий пристрій; 3 - пневмопритискач;
4 - водоохолоджуюча планшайба; 5 - ежекторний пристрій; 6 - пульт керування; 7 - основа

Недоліки - низька продуктивність процесу, відсутність серійного виробництва обладнання і нестабільна якість наплавленого шару. Для забезпечення біметалічних робочих органів, в тому числі дисків лушильників, пропонується застосовувати спосіб електроконтактного плакування зносостійкою стрічкою [18]. Для забезпечення заданої міцності і пружності дискові ножі перед плакуванням піддаються об'ємному гартуванню і відпуску. Окаліну, яка утворилася в процесі прокатки і термообробки, видаляють травленням в 20 %-му розчині сірчаної кислоти з введенням 1 % інгібітора ОП-1, підігрітого до температури 70 ° С. Основними недоліками цього способу є велика трудомісткість підготовчих робіт, труднощі з виготовленням стрічок з високозносостійких сплавів.

В ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України розроблений спосіб наплавлення стисненою дугою - плазмове наплавлення [19]. У роботах [20-24] описана технологія плазмового наплавлення різних деталей і інструментів, зокрема робочих органів землеоброблювальних і збиральних машин. В якості матеріалів для наплавлення таких деталей використовують порошки сплавів на залізній основі і самофлюсових сплавів на нікелевій основі. Спосіб відрізняється малим проплавленням основного металу, високою якістю наплавленого металу, можливістю наплавлення тонких шарів з використанням широкої гами присадних матеріалів.

До його недоліків слід віднести відносно низьку продуктивність і необхідність у складному і дорогавартістному обладнанні. Високі вимоги до гранулометричного складу і форми гранул порошків для плазмового наплавлення порошковими

матеріалами приводять до їх значного подорожчання. Все це обмежує використання цього способу наплавлення, в тому числі і в сільськогосподарському машинобудуванні.

Для зміцнення робочих поверхонь різних плоских деталей, зокрема робочих органів землеоброблювальних і збиральних машин, пропонують використовувати методи плакування вибухом і прокаткою. До переваг плакування вибухом відносять високу швидкість процесу; можливість отримання з'єднання металів, які іншими способами отримати неможливо або складно; відносну простоту технології (відсутність необхідності застосування складного обладнання) [12]. У Чехії технологію плакування вибухом використовували при виробництві біметалічних ножів й інших тонких плоских деталей [25]. Оцінка ефективності технології в порівнянні з традиційним металургійним способом ливарного плакування показала, що її застосування технічно і економічно обгрунтовано.

В ІЕЗ ім. Е.О.Патона розроблений і випробуваний спосіб отримання зносостійкого біметалу при прокатці пакетів з порошком ПГ-С1 [26], що базується на принципі автовакуумного зварювання тиском. Автори роботи [27] успішно застосували цей спосіб для отримання інструментального біметалу з плакуючим шаром з порошка ПР-10Р6М5. Основним недоліком способу є технологічні складнощі при складанні пакету великих розмірів, які пов'язані з необхідністю ущільнення порошку для створення мінімального об'єму повітря в порожнині пакету.

Попереднє пресування порошку дозволяє усунути цей недолік. Так, в роботі [28] показано, що при отриманні біметалічного профілю для робочих органів землеоброблювальних і збиральних машин порошок плакуючого шару ПГ-С1 попередньо компактували методом гарячого газостатичного пресування, проте промислового використання цієї технології перешкоджає складність і висока трудомісткість.

Більш перспективні способи отримання біметалів, які використовують для нанесення і компактування порошкового шару, енергією вибуху.

У роботі [29] описані результати експериментів з вибухового плакування зносостійкими порошками робочих органів сільськогосподарських машин. Відзначено позитивні властивості біметалічного з'єднання і високу зносостійкість плакуючого шару з порошків. Метод вибухового плакування порошками простий у використанні (не вимагає застосування дороговартісного обладнання), проте його практичне використання ускладнюється з-за великої тривалості підготовчих операцій, значних деформацій виробів і заготовок, що мають невелику товщину і розвинену поверхню плакування. Крім того, проблематичною представляється можливість отримання якісних покриттів великої товщини.

Авторами робіт [13, 14] запропонована технологія отримання зносостійкої лемішної стрічки з місцевим плакуванням шляхом прокатки несиметричного пакету. Конструкція пакету представляє собою формування паза в куті заготовки квадратного перерізу із сталі 45, розміщення в ньому вставки із сталі У20Х6Т2Д відповідних розмірів, приварювання кутового профілю і заглушок [30]. Технологія випробована при виробництві двохшарового лемішного профілю для лемешів плугів загального призначення і лемешів культиваторів-плоскорізів [13, 30]. Промислове використання її стримується через відсутність прокату із сталі У20Х6Т2Д, а також необхідного профілю із сталі 45 і пов'язаною з цим необхідністю фрезерування паза, що істотно збільшує трудомісткість способу і затрати матеріалів. Суттєвим недоліком методу прокатки пакетів для отримання зносостійких та інструментальних біметалів, які обмежують його широке використання, є низька деформаційна здатність малопластичних матеріалів плакуючого шару, які мають, як правило, вузький температурний інтервал режимів прокатки.

Для зміцнення робочих органів сільськогосподарських і дорожно-будівельних машин, використовують також дугове наплавлення [31], проте застосування цього способу для наплавлення тонких плоских деталей товщиною 2... 5 мм стримується

через значне проплавлення основного металу, особливо при наплавленні дротами, і значної деформації деталей, що наплавляються.

Розроблені й інші способи зміцнення робочих органів землеоброблювальних і збиральних машин.

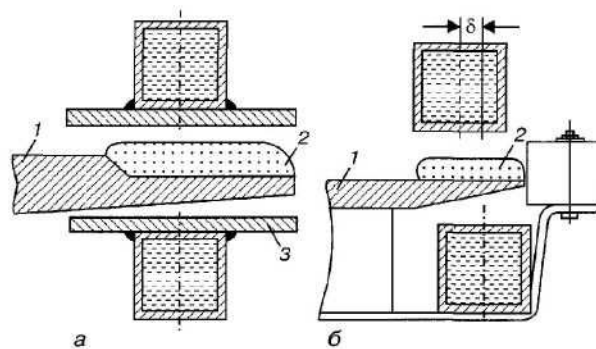


Рисунок 2 - Схема розташування при наплавленні лемеша (а) і лапи культиватора (б):
1 - деталь; 2- шар шихти; 3 - індуктор

До них відноситься наплавлення за допомогою електронного прискорювача [32], лазерне наплавлення [33] тощо. Проте через складність технології і відсутність устаткування, його недосконалість і високу собівартість ці процеси поки що не знайшли промислового застосування.

Для зміцнення тонких плоских деталей, зокрема робочих вузлів сільськогосподарських машин, широко використовується індукційний спосіб наплавлення. До його переваг належить: можливість наплавлення тонких шарів; висока продуктивність; можливість механізації і автоматизації процесу (що важливе в умовах серійного виробництва). До недоліків - висока енергоємність, перегрівання основного металу, присаджувальний матеріал повинен бути більш легкоплавким, ніж основний. Все ж таки на підприємствах, що випускають сільськогосподарську техніку, плуги, лушпильники, культиватори тощо, цей спосіб є найбільш поширений [5, 34-36]. Для індукційного наплавлення використовується спеціальна шихта, що складається з суміші порошку зносостійкого сплаву і флюсу. Шихту наносять на поверхню деталі у вигляді шару певної товщини. Потім частину деталі, яка підлягає наплавленню, розташовують в індуктор високочастотної установки (рис. 2), джерелом живлення якої служить ламповий генератор.

При проходженні струмів високої частоти через індуктор у поверхневих шарах металу наводяться вихрові струми, що розігрівають деталь. Від деталі нагрівається і плавиться шихта. Після її розплавлення деталь виводиться з індуктора і охолоджується. На рис. 3 показані робочі органи сільськогосподарських машин, що зміцнюються індукційним наплавленням.

Для покращення умов праці і підвищення продуктивності процесу індукційного наплавлення тонких плоских деталей створені автоматизованні лінії і установки [37-39]. Так, для наплавлення долот і лап культиваторів розроблена напівавтоматична установка і автоматична лінія; для наплавлення культиваторних ножів, які мають криволінійну різальну поверхню, застосовують установки карусельного типу [39]. На карусельних установках можна також наплавляти долотоподібні лемехи. Основними недоліками цих ліній і установок є невисока продуктивність безпосередньо самого процесу наплавлення, а також низький рівень механізації на позиціях подачі заготовок, засипання шихти і розвантаження.

Найбільшу складність представляє наплавлення тонких дисків з суцільною або перервною робочою поверхнею (ріжучою частиною), для яких застосовується неперервно-послідовний спосіб індукційного наплавлення (рис. 4, 5).

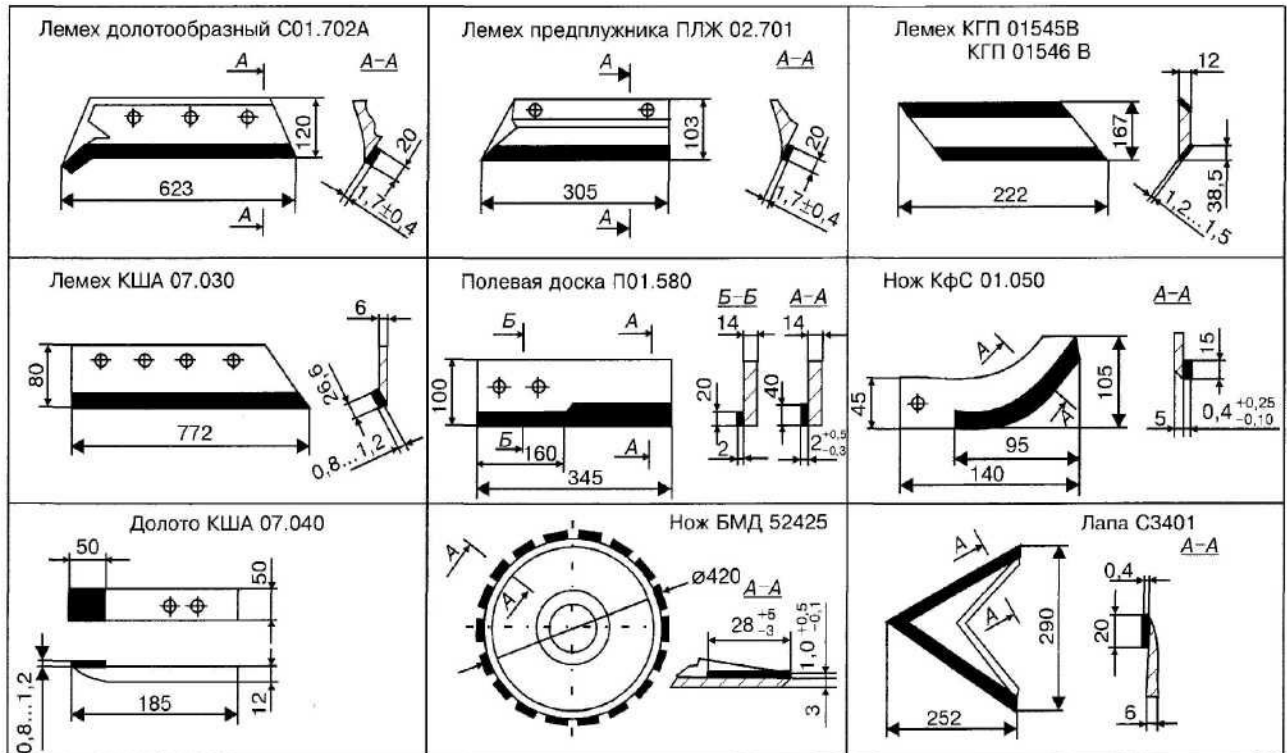


Рисунок 3 - Деталі робочих вузлів, які зміцнені індукційним наплавленням [1]



Рисунок 4 - Пристрій для наплавлення цільноштампованого суцільного ножа за допомогою сегментного індуктора



Рисунок 5 - Ніж-гичкоріз БМД 52425 після наплавлення

При цьому сегментний індуктор закріплюється нерухомо до високочастотного генератора, а деталь з нанесеною на неї наплавлювальною шихтою обертається відносно нього (рис. 4). Перевагами неперервно-последовного способу наплавлення є: технологічна гнучкість; можливість наплавлення деталей різних діаметрів при відносно невеликій потужності високочастотних генераторів. Недоліки: порівняно низька продуктивність; велика енергоємність; короблення деталі (що позначається на стабільності товщини шару, який наплавляється); необхідність рихтування для усунення деформації диска.

З метою автоматизації процесу індукційного наплавлення тонких фасонних дисків ножів-гичкорізів бурякозбиральних машин БМ-6Б неперервно-последовним способом на ВАТ «Тернопільський комбайновий завод» розроблена і впроваджена автоматична потокова лінія [40], яка дозволяє повністю автоматизувати процес, включаючи завантаження і розвантаження заготовок, переміщення їх в роторному пристрої по позиціях установки деталі, засипання шихти, наплавлення і зняття її після наплавлення (рис. 6).

Автоматична лінія складається з таких основних вузлів: горизонтально-рухомої платформи 11, на якій жорстко встановлені трьохпозиційна поворотна карусель 10, робот-перевантажувач 6 з двома електромагнітними захоплювачами, два підйомники 8 і 3, тара з пакетом заготовок 7 і тари для наплавлених виробів 5, вузла насипання шихти 9, шафи з розподільчою і регулюючою пневмоапаратурою 4, високочастотного генератора з індуктором 1 і шафи керування 2.

В автоматичному режимі лінія працює наступним чином. Робот-перевантажувач 6 одночасно завантажує заготовку на позицію завантаження-розвантаження каруселі 10 і розвантажує наплавлені вироби (якщо вони є) в тару 5, а потім повертається в початкове положення. Потім при повороті каруселі на 120° відбувається зміна позиції, і заготовка потрапляє на позицію засипання шихти. Після цього заготовка поворотом каруселі подається на позицію наплавлення. Після закінчення наплавлення наплавлений виріб поворотом каруселі подається в зону завантаження-розвантаження. Поворот каруселі 10 здійснюється при відведеній від індуктора платформи 11. Недоліками цієї поточної лінії є порівняно низька продуктивність самого процесу наплавлення (час наплавлення одного ножа-гичкоріза складає більше 3 хв); велика

енергоємність процесу; деформація деталі, що наплавляється, для усунення якої необхідна додаткова операція рихтування.

Продуктивність процесу можна підвищити шляхом одночасного наплавлення диска по всій робочій поверхні з використанням більш потужних високочастотних генераторів, що випускаються вітчизняною промисловістю, застосовуючи при цьому індуктори нової конструкції. Економію електроенергії можна підвищити шляхом оптимізації режимів підведення потужності до індуктора, включаючи розробку устаткування для автоматизації процесу наплавлення в цілому.

Застосування відомих багатоступеневих режимів індукційного наплавлення з метою економії енергії за заданий час не дає позитивного ефекту. Це пов'язано з великими труднощами в керуванні і практичній реалізації такої технології в промислових умовах.

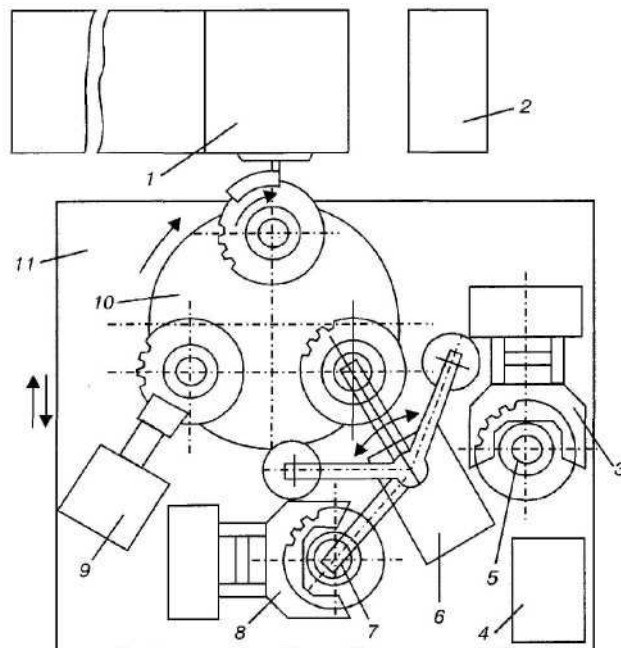


Рисунок 6 - Принципова схема автоматичної потокової лінії для наплавлення тонких фасонних дисків неперервно-послідовним способом (позначення див. в тексті)

Окрім того, багаторазове перемикання генератора під час наплавлення однієї деталі (3...4 рази) негативно позначається на його працездатності і продуктивності.

Перспективним, з погляду економії енергії, є розробка інших схем керування підведенням потужності до індуктора, яка здійснюється неперервно без перемикання генератора. Це дозволяє досить просто у виробничих умовах здійснювати процес наплавлення і тим самим підвищити довговічність і працездатність високочастотних генераторів і продуктивність процесу в цілому.

Великий вплив на енергоємність, продуктивність і якість процесу наплавлення має конструкція індуктора. Сьогодні є значна кількість різних конструкцій індукторів, що використовується для нагрівання деталей для гартування або наплавлення, проте постійно змінюється і збільшується номенклатура деталей, які підлягають наплавленню, неперервне вдосконалення процесу вимагають ретельного вибору або розроблення спеціальних індукторів і нагрівальних систем. Їх розміри, форма, параметри режиму для кожної конкретної деталі підбираються дослідно-експериментальним шляхом. Наприклад, для наплавлення суцільних дисків малих діаметрів застосовують одновиткові кільцеві індуктори, а для дисків зубчастої форми великих розмірів сегментні і двопетлеві, продуктивність наплавлення яких залежить від потужності високочастотних генераторів. Застосування одновиткових кільцевих

індукторів для наплавлення дисків зубчастої форми з метою підвищення продуктивності викликає труднощі в забезпеченні рівномірного розподілу електромагнітного поля з метою створення рівномірного температурного поля в області наплавлення, що позначається на якості наплавленого шару. Недоліки двопетлевого індуктора такі ж, як і сегментного: порівняно низька продуктивність, велика енергоємність, короблення деталі через місцеве нагрівання, а також неможливість його використання для одночасного наплавлення по всій робочій поверхні тонких дисків зубчастої форми з шириною наплавлення, більшої за висоту зуба.

Процес удосконалення індукційного наплавлення тонких плоских деталей розвивається в наступних напрямках: підвищення продуктивності процесу наплавлення; оптимізації режимів нагрівання з метою економії електроенергії; оптимізації конструктивних параметрів індукторів і нагрівальних систем для наплавлення дисків різних діаметрів і розмірів зони наплавлення без урахування екранування електромагнітних полів, з врахуванням тільки електромагнітного екранування, а також комбінованого екранування одночасно електромагнітних і теплових полів; математичного моделювання процесу наплавлення для визначення залишкових напружень, переміщень і деформацій деталей; механізації і автоматизації процесів наплавлення з розробленням нових конструкцій індукторів та нагрівальних систем з урахуванням екології процесу, захисту людини від дій електромагнітних і теплових полів; підвищення ККД індукторів і нагрівальних систем.

Підвищення продуктивності процесу наплавлення і зменшення деформації можна досягти заміною неперервно-послідовного процесу одночасним наплавленням по всій робочій поверхні. Наприклад, для наплавлення тонких дисків зубчастої форми з шириною наплавлення, більшої за висоту зуба, розроблено двовитковий кільцевий індуктор, за допомогою якого здійснюється одночасне наплавлення, по всій робочій поверхні. До 15... 25% електроенергії можна економити за рахунок експоненціального закону збільшення потужності в процесі наплавлення. Екрануванням теплових і електромагнітних полів при наплавленні дисків досягається можливість регулювання потужності з метою досягнення рівномірної температури в зоні наплавлення для отримання рівномірної товщини шару наплавленого металу по всій робочій поверхні, а також додаткової економії електроенергії до 40%.

Для реалізації технології індукційного наплавлення дискових робочих органів сільськогосподарських машин методом одночасного наплавлення по всій робочій поверхні розроблені механізовані і автоматичні лінії, які впроваджені на ВАТ «Тернопільський комбайновий завод». Оригінальність конструкції лінії для одночасного наплавлення полягає в тому, що вперше у вітчизняній практиці індуктори з високочастотним нагріванням не з'єднані жорстко з генераторами. Кількість індукторів вибирається залежно від кількості позицій на автоматичній лінії. Поворотний стіл лінії оснащений двовитковими кільцевими індукторами за числом поворотних планшайб з пристроєм для під'єднання клем високочастотного генератора до клем індукторів, встановлених на основі між поворотним столом і генератором.

Результати вдосконалення процесу індукційного наплавлення дискових робочих органів сільськогосподарських машин за вищезгаданими напрямками опубліковані в роботах [40-51].

Висновок. Аналіз способів, матеріалів і обладнання для наплавлення тонких плоских деталей і дисків (робочих органів ґрунтообробної і сільськогосподарської техніки), які використовуються в даний час, показав, що найбільш перспективним процесом для зміцнення їх робочих поверхонь є індукційне наплавлення порошковими твердими сплавами.

В результаті аналізу відомих способів індукційного наплавлення тонких плоских деталей, в тому числі фасонних дисків як зубчастої, так і суцільної форми відносно

великих розмірів та складної конфігурації, показано необхідність вдосконалення процесу їх наплавлення з метою підвищення технології та енергетичної ефективності.

Література

1. 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.
2. Вишневский 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.
3. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины. - М.: Машиностроение, 1978. - 136 с.
4. Лозовский В.П., Остапенко А.Т., Прокопенко В.А. Исследование работоспособности и критериев предельного состояния дисков лушильников // Тракторы и сельхозмашины. - 1983. - № 6. - С. 15-16.
5. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. - М.: Машиностроение, 1971. - 264 с.
6. Рабинович А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. - М.: ГОСНИТИ, 1962. - 165 с.
7. Сидоров А. М. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. - М.: Машиностроение, 1987. - 190 с.
8. Наплавка дисков лушильников / А.А. Боль, С.П. Лесков, Э.П. Свириденко и др. // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. - Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1986. - С. 107-110.
9. Lehman H., Herrmann J. Auftragsschweissen von Packerscheiben, ZIS Mitt. - 1979. - 21, № 8. - S. 826-840.
10. Blume F., Kretschmann G., Rosen R. Dunnschichtauf-tagsschweiben Mohichkeiten und Anwendung // Schweisstechnik. - 1982. - 32, № 11. - S. 501-503.
11. Николаенко М.Р., Рымов Е.В. Новые технологические процессы электродуговой и электроконтактной наплавки быстроизнашивающихся деталей строительных и дорожных машин. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976.- 157 с.
12. Плакирование стали взрывом А.С. Гельман, Б.Д. Цемахович, А.Д. Чудовский и др. - М.: Машиностроение, 1978. - 191 с.
13. Рябцев И.А. Износостойкий плакированный прокат. - Киев: Знание, 1982. - 24 с.
14. Рябцев И.А., Розенфельд Х.Х., Чин А.И. Технология производства плакированных лемехов культиваторов-плоскорезов // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. - 1984. - Вып. 14. - С. 24-28.
15. Клименко Ю.И. Электроконтактная наплавка. Области применения и перспективы развития // Современные способы наплавки и их применение. - Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. - С. 101-110.
16. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка. - М.: Металлургия, 1978. - 127 с.
17. Электроконтактная наплавка дисковых ножей / В. П. Туркин, В. Г. Путилин, М. Р. Николаенко и др. - Автоматическая сварка, 1978. - № 2. - С. 74-76.
18. 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.
19. Каленский В.К., Гладкий В.П., Фрумин И.Н. Исследование и разработка способа автоматической наплавки выпускных клапанов автомобилей. - Автоматическая сварка, 1963. - № 1.-С. 17-18.
20. Косилов А.И. Плазменная наплавка деталей порошковыми композициями. - Техника в сельском хозяйстве, 1983. - № 1. - С. 30-32.
21. Данилов А.И., Кочарчева Э.С. Плазменная наплавка коррозионноустойчивых и износостойких материалов. – Электротехника, 1982. - № 5. - С. 58-60.
22. Подлекарев Н.Н., Белозерский Л.Н., Олексенко И.Д. Оптимальные технологические режимы плазменной наплавки деталей сельскохозяйственных машин. Механизация и электрификация сельского хозяйства нечерноземной зоны СССР. - 1980. - Вып. 23. - С. 162-168.
23. Салькова С.С., Комарчева Э.С., Мищенко Л.Г. Упрочнение деталей почвообрабатывающих машин методом плазменной наплавки // Перспективные способы наплавки коррозионными и износостойкими материалами. - Л.: Энергия, 1987. - С. 16-20.
24. Подлекарев Н.Н., Белозерский Л.Н. Полуавтоматическая установка для плазменной наплавки лезвий лемехов // Механизация и электрификация сельского хозяйства нечерноземной зоны СССР. - 1980. - Вып. 23. - С. 169-178.
25. Цукр В., Вильд И. Опыт с плакированием инструментальных сталей и их термообработкой // Использование энергии взрыва для производства металлических материалов с новыми свойствами сваркой, плакированием, уплотнением и прессованием металлических порошков взрывом: Сб. тр. III Междунар. симп., 1976. - С. 181-192.
26. 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.
27. Кальнер В.Д., Горюшина М.Н., Сичужникова А.А. Процессы взаимодействия на границе раздела биметаллической заготовки, полученной методом прокатки неспеченного порошка. -

- Металловедение и терм. обраб. металлов, 1984. - № 3. - С. 28-29.
28. 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.
 29. Kretzchmar H., Sporn D., Schwable H. Aufplattirren Versch-leissfaster Schichten // ZIS Mitt. - 1983. - № 2. S. 108-115.
 30. Рябцев И. А. Применение износостойкого плакированного проката при изготовлении рабочих органов почвообрабатывающих машин // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. - Киев: ИЭС им Е. О. Патона, 1981. - С. 54-59.
 31. Рябцев И. А. Классификация и характеристика способов наплавки // Сварщик. - 1998. - № 3. - С. 23-25.
 32. 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.
 33. Упрочнение деталей лучом лазера / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головкин, Г.В. Меркулов, А.И. Стрижак / Под общ. ред. В.С. Коваленко. - Киев: Техшка, 1981. - 131 с.
 34. Боль А.А., Лесков С.П. Состояние и перспективы упрочнения рабочих органов сельхозмашин методом индукционной наплавки // Состояние и перспективы упрочнения деталей тракторов и сельхозмашин: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - М., 1986. - С. 9-11.
 35. Рябцев И. А. Индукционная наплавка. – Сварщик, 2000. - № 5. - С. 13-16.
 36. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев, Б.М. Фиштейн. Н.В. Казинцев, Д.А. Алдырев. - М.: Машиностроение, 1970. - 182 с.
 37. А. с. 214696 СССР. Установка для индукционной наплавки культиваторных лап / В.Н. Ткачев, Н.И. Лакошин, Е.И. Власов и др. - Опубл. 1968. - Бюл. № 12.
 38. А. с. 284213 СССР. Установка для индукционной наплавки / И.Л. Смирнов, И.Ш. Винокур, Е.Л. Мошлевский и др. - Опубл. 1970. - Бюл. № 32.
 39. Боль А.А. Развитие индукционной наплавки в сельскохозяйственном машиностроении. – Технология, 1984. - Вып. 3. - 38 с.
 40. Шаблий О. Н., Пулька Ч. В., Будзан Б. П. Пути экономии электроэнергии при индукционной наплавке тонкостенных дисков. - Автомат. сварка. - 1988. - № 12. - С. 56-58.
 41. А. с. 1619571 СССР, МКИ⁴ В23К 13/00. Способ наплавки тонких фасонных дисков / Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблий, Б.П. Будзан, В.М. Сkochило.
 42. Совершенствование технологии индукционной наплавки тонких фасонных дисков / Ч.В. Пулька, О.Н. Шаблий, В.Ф. Грабин, И.Я. Дзыкович. - Автоматическая сварка, 1991. - № 1. - С. 57-61.
 43. Пулька Ч.В. Исследование и оптимизация технологии индукционной наплавки тонких фасонных дисков: Дис. канд. техн. наук. - Киев, 1991. - 196 с.
 44. Шаблий О.Н., Пулька Ч.В. Технология и оборудование для индукционной наплавки тонких фасонных дисков. - Автоматическая сварка, 1994. - № 5/6. - С. 48-50.
 45. Шаблий О.Н., Пулька Ч.В., Письменный А.С. Оптимизация конструктивных параметров индуктора для индукционной наплавки тонких стальных дисков. - Автоматическая сварка, 1997. - № 6. - С. 17-20.
 46. Пулька Ч.В. Влияние режимов индукционной наплавки на толщину наплавленного слоя и величину деформации тонких стальных дисков. - Автоматическая сварка, 1997. - № 10. - С. 57-58.
 47. Пулька Ч.В. Программирование режима нагрева при индукционной наплавке тонких стальных дисков. - Автоматическая сварка, 1998. - № 1. - С. 48-50.
 48. Остаточные перемещения тонких стальных дисков при индукционной наплавке износостойкими порошкообразными твердыми сплавами / О.М. Шаблий, Ч.В. Пулька, В.М. Михайлишин, А.С. Письменный. - Автоматическая сварка, 1999. - № 9. - С. 57-59.
 49. Шаблий О.Н., Пулька Ч.В., Письменный А.С. Оптимизация параметров индуктора для равномерного нагрева дисков по ширине зоны наплавки с учетом экранирования. - Автоматическая сварка, 2002. - № 11. - С. 24-26.
 50. Пулька Ч.В., Механізована лінія для неперервно-послідовного індукційного наплавлення тонких фасонних дисків. - Вісник ТДТУ, 2002. - № 2. - С. 83-90.
 51. Пулька Ч.В. Енергозберігаюча автоматизована лінія для одночасного індукційного наплавлення тонких фасонних дисків. – Вісник ТДТУ, 2002. - № 3. - С. 41-48.

Одержано 20.11.2008 р.