

9. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Гостехиздат, 1954. – 243 с.

*Получена механико-математическая модель процесса взаимодействия рабочего органа глубокорыхлителя с грунтом. Определены значения напряженности сопротивления и пути смятия почвы для разных ее слоев.*

***Почва, глубокорыхлитель, механико-математическая модель, напряженное состояние, смятие.***

*Received mechanical-mathematical model of interaction of working body subsoilers with ground. The values of intensity and path collapsing soil for its various layers.*

***Soil, deep, mechanical-mathematical model, stress, collapse.***

УДК 631.31:621.891

## **ЗНОСОСТІЙКІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

***М.І. Денисенко, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
К.О. Сидоренко, головний технолог  
ДКТБ ІЕЗ ім. Є.О. Патона***

*В роботі дано аналіз сучасних методів зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, розглянуто їх переваги і недоліки. Показано, що найбільш ефективним методом зміцнення робочих поверхонь деталей ґрунтообробних машин є точкове зміцнення-дугове точкове зварювання порошковим дротом.*

***Абразивне зношування, диск борони, лапа культиватора, леміш плугу, зносостійкі покриття, зносостійкість.***

**Постановка проблеми.** Однією з актуальних проблем машинобудування є проблема підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. Характер і інтенсивність зношування деталей робочих органів ґрунтообробних машин залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту. Так, на піщаному ґрунті деталі зношуються по товщині, на глиняній і суглинках по ширині. При цьому на піщаному ґрунті деталі зношуються у 8-10 разів

© М.І. Денисенко, К.О. Сидоренко, 2013

швидше, ніж на глиняній. Леміш плугу являється одним з найбільш швидко зношувальних робочих органів. Основна причина – прискорене абразивне зношування, обумовлене взаємодією з твердими (HV 8-11 ГПа) мінеральними частинками, які містяться в ґрунті. Аналіз причин вибракування серійних лемешів показав, що більше половини лемешів, що мають значний запас неспрацьованого металу по ширині, вибраковують по причині передчасного зношування носка. В теперішній час для основного обробки ґрунту – оранки використовуються деталі робочих органів, конструкційні параметри яких були розроблені 40...50 років назад. Враховуючи, що на сьогодні значно зросла маса збиральних машин, а це призвело до підвищення щільності ґрунтів, навантаження на робочі органи орних агрегатів зросли приблизно в 4 рази, хоча самі робочі органи не змінилися ні конструкційно, ні матеріалознавчо.

Багаточисленні випробування серійних робочих органів лемішних плугів показують, що середній наробіток на відмову долотоподібних лемешів П-702 в залежності від видів ґрунтів та їх фізичного стану коливається від 5 до 20 га, грудин полиць від 10 до 100 га, крил полиць від 40 до 250 га, польових дощок від 20 до 60 га [1]. Обмежений ресурс мають робочі органи і інших ґрунтообробних машин: диски луцильників і дискових борін 8...20 га, лапи культиваторів 7...18 га. Все це свідчить про те, що довговічність робочих органів ґрунтообробних машин не достатня. Тому дослідження направлені на підвищення їх ресурсу є актуальними і мають важливе державне значення.

**Аналіз останніх досліджень.** Великий внесок у вивчення питання зношування робочих органів машин і розробки заходів по підвищенню їх робото здатності і довговічності внесли закордонні і вітчизняні вчені: Тененбаум М.М., Хрущов М.М., Севернев М.М., Рабінович А.Ш., Крагельський І.В., Костецький Б.І., Ткачов В.Н., Бернштейн Д.Б., Лоренц В.Ф., Львов П.Н., Гречкосій В.Д. і багато інших. Диференційний підбір матеріалів і розробка конструкцій робочих органів підвищеної довговічності вимагають детальної класифікації ґрунтів за їх зношувальною здатністю. Основними елементами зношування є тверді (HV 7...11 ГПа) мінеральні частинки кварцу і граніту, які складають приблизно 36,6...70,8% ґрунту. Потім за ступенем розповсюдження йдуть польовий шпат, слюда та інші матеріали (HV 6...7,2 ГПа). Більша кількість частинок мають округлу форму, але також присутні і частинки, що мають гострі грані і виступи, здатні деформувати і зношувати контактні поверхні деталей робочих органів.

Методи підвищення довговічності деталей робочих органів можливо розділити на наступні групи: 1) зміна хімічного складу і

властивостей матеріалу; 2) термічна обробка; 3) поверхневе хіміко-термічне зміцнення; 4) наплавлення твердими сплавами; 5) використання металокерамічних матеріалів [2, 3]. В літературних джерелах немає достатнього обґрунтування вибору вказаних матеріалів. Очевидно, головним критерієм їх використання є межа міцності в небезпечному перерізі. В опублікованих роботах значну увагу приділено покращенню термічної обробки лемешів і подібних робочих органів.

За даними І.Н. Єрмакова [4] зносостійкість чавунних лемешів на 10-30% більше, ніж сталевих. Промислового використання в нашій країні не знайшли, хоча у Великобританії для обробки легких ґрунтів використовуються чавунні лемеші з вибіленою нижньою стороною вже більше 150 років. Широке використання технології відновлення і зміцнення лемешів плугів керамічними матеріалами утримується високою вартістю виготовлення кераміки і відсутністю технології кріплення кераміки до лемеша, що забезпечує необхідне зчеплення керамічної пластини з лемешем. Існуючі методи і матеріали для відновлення і зміцнення (заморожування, детонаційне напилювання, плазмове дугове наплавлення) не задовольняють вимогам до експлуатаційних і фізико-механічних властивостей деталей робочих органів (міцність зчеплення покриття з основою, зносостійкість, твердість, ударна в'язкість та ін.).

Аналіз сучасних уявлень про види зношування показує, що робочі органи ґрунтообробних машин підпадають наступним видам зношування:

- абразивному - в результаті ріжучого або дряпаючого впливу твердих тіл і частинок;
- втомі - в результаті втомного руйнування при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару при терті ковзання або кочення;
- окислювальному - в результаті хімічної реакції матеріалу з киснем або зовнішнім середовищем і мікропластичною деформацією поверхневого шару.

**Метою досліджень** є підвищення довговічності і зносостійкості деталей робочих органів ґрунтообробних машин шляхом забезпечення самозагострювання (на прикладі лемеша плуга) в результаті дугового точкового зварювання і утворення при експлуатації зубчастого леза.

**Результати досліджень.** Точкове зміцнення, яке застосовується для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, засновано на мікрівкрапленні твердого сплаву в структуру поверхонь деталей, які зазнають абразивного зношування [5-6]. Процес здійснюється за технологією, розробленою сумісно з вченими Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.

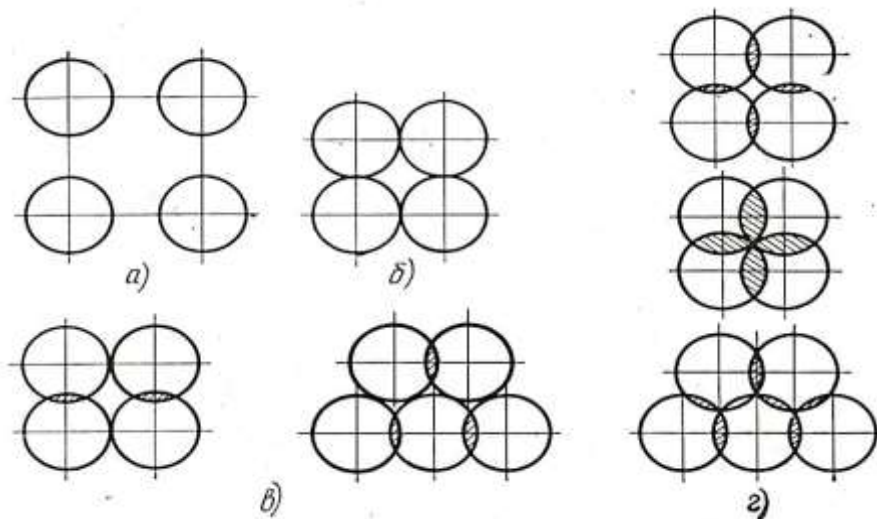


Рис. 1. Схеми розташування точок зміцнення : а – локальні; б – спряжені; в – спряжено-сумісні; г – сумісні.

Суть його полягає в дуговому точковому наплавленні (ДТЗ) на поверхню деталей локальних, спряжених або сумісних на величину до  $1/5 D_n$  – діаметра основи твердосплавних конусів проплавлення - точок зміцнення (рис.1.).

Відмінність ДТЗ від зварювання звичайного і електрозаклепками полягає в зміні швидкості  $v_n$  подачі порошкового дроту в періоди:  $t_1$  - збудження дуги,  $t_2$  - проплавлення основного металу з утворенням кратера і заповнення його розплавом,  $t_3$  - формування голівки точки (рис. 2). Кожній швидкості подачі дроту відповідають певний зварювальний струм  $I_{св}$  і напруга  $U_d$  дуги.

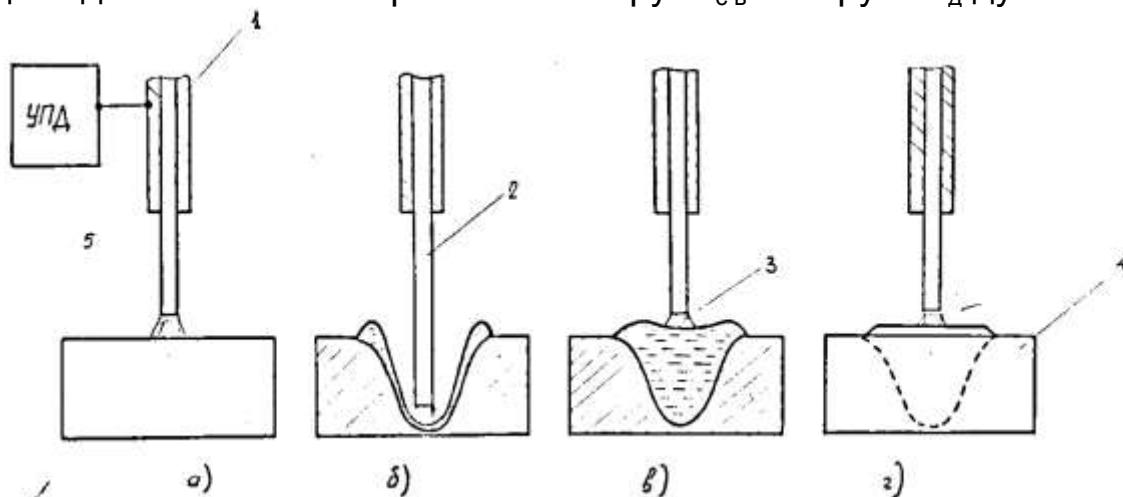


Рис. 2. Процес дугового точкового зварювання (точкового зміцнення) порошковим дротом ПП – АН170М: 1 - порошковий дріт, 2 - плавкий електрод; 3 - дуга, 4 - підкладка (основний метал).

Точки зміцнення утворюються при швидкому введенні в метал деталі такої кількості тепла, яке необхідно для проплавлення

конусного кратера, заповнення його розплавом з основного металу і твердого сплаву та утворення голівки точки зміцнення. Широка чашоподібна геометрія конусного кратеру сприяє швидкому відведенню теплоти із наплавлювальної ванни в основний метал і зовнішнє середовище, тому точки охолоджуються з великою швидкістю і за короткий час.

Стійкість ДТЗ і основні параметри точки зміцнення – форма, глибина  $h_2$  проплавлення, висота  $h_1$  і діаметр  $D_H$  наплавлення залежать від зварного струму  $I_{с.в.}$ , напруги  $U_d$  дуги діаметра  $d_e$  і швидкості  $v_n$  подачі дроту, режимів ДТЗ, а також від марки і виду термообробки металу, товщина  $H$  деталі зміцнення і полярності струму (рис. 3).

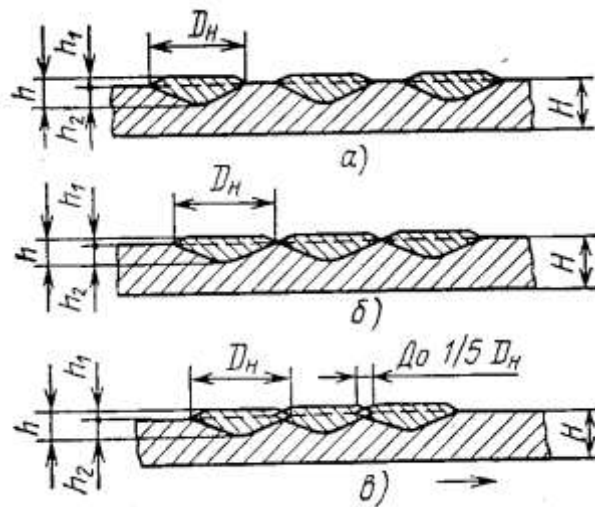


Рис. 3. Параметри точок зміцнення: а – локальних; б – сумісних; в – спряжених.

Пряма полярність струму знижує стійкість дугового процесу, призводить до утворення бризок, зменшує глибину проплавлення і збільшує висоту голівки точки зміцнення. Тому режими ДТЗ відпрацьовували на зворотній полярності. Глибина проплавлення повинна забезпечити надійність нероз'ємного з'єднання точки зміцнення з основним металом при його стиранні і оголенні твердого сплаву до моменту, коли буде досягнуто критерій вибраковування робочого органу по зносу. Необхідна глибина  $h_2$  проплавлення, як і інші параметри точкового зміцнення ( $D_H$ ,  $h_1$ ), досягається зміненням сили зварного струму, напруг і часу горіння дуги. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення: його збільшення визиває зростання глибини  $h_2$  проплавлення і діаметра  $D_H$  голівки точки, а також зменшення висоти  $h_1$  наплавлення. Так, зі збільшенням зварного струму з 400 до 650 А діаметр  $D_H$  зростає з 14,5 до 31 мм,  $h_2$  – з 2,3 до 4,3 мм, а висота  $h_1$  наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм.

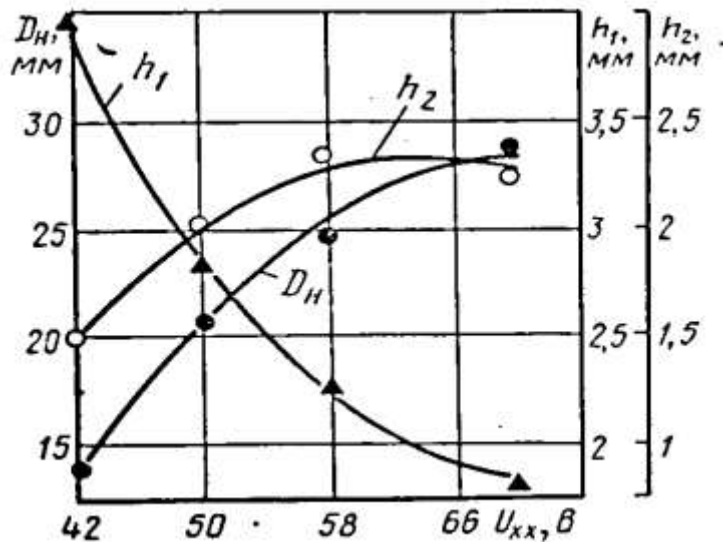


Рис. 4. Залежність геометричних параметрів точок зміцнення від напруги холостого ходу  $U_{xx}$  джерела живлення.

Вплив напруги  $U_{xx}$  холодного ходу джерело живлення на параметри точок зміцнення показано на рис. 4.

Збільшення в обмежених межах напруги дуги покращує геометрію точки, глибина проплавлення змінюється незначно, на 1,5-2 мм. При недостатній напрузі дуги в центрі наплавлення утворюється поглиблення, а при надлишковому – бугорок. При цьому збільшується розбризування електродного металу.

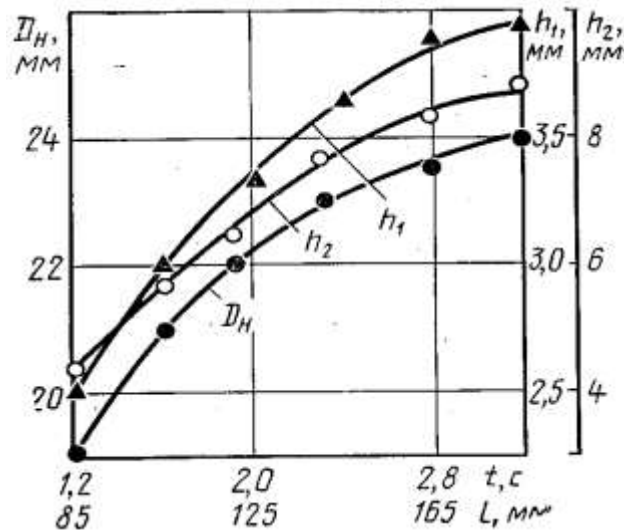


Рис. 5. Залежність геометричних параметрів точок зміцнення від часу  $t$  наплавлення і довжини  $l$  електродного дроту.

Збільшення часу наплавлення призводить до зростанню усіх трьох параметрів –  $D_H$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  (рис. 5), але інтенсивність зростання глибини проплавлення помітно менше.

Оптимальну висоту наплавлення точки зміцнення (висота голівки) обираємо в залежності від функціонального призначення робочого органу. Вона повинна забезпечувати захист основного металу від абразивного зношування. Висота точки зміцнення повинна бути такою, щоб надійно захищати зношену поверхню, не створюючи значних додаткових опорів пересуванню робочого органу в ґрунті. На плужному лемеші, наприклад, висота наплавлення по лезу не повинна перевищувати 2 мм, а на ножах виноградникових машин – 0,5 мм, інакше зростає тяговий опір, відбувається залипання ґрунту і не виконуються агротехнічні вимоги по підрізуванню бур'янів [7, 8].

Діаметр голівки точок зміцнення у відповідності з вибраним варіантом їх розташування, який визначається характером зношування робочого органу, можна визначати за висотою  $h_1$  голівки і глибини  $h_2$  проплавлення, що задається з врахуванням товщини деталі і агротехнічних вимог, діаметру  $d_e$  і довжині  $l$  порошкового дроту, яка використовується на утворення точки зміцнення. Досліди показують, що при ДТЗ необхідно враховувати кількість як основного металу, так і порошкового дроту, що формують точку зміцнення за допомогою відповідно коефіцієнтів  $k_M$  і  $k_P$ , які відображають відношення основного і твердосплавних металів в загальному об'ємі наплавленої точки.

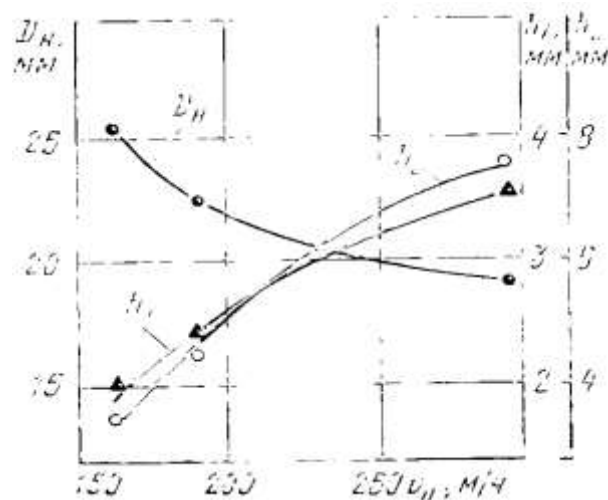


Рис. 6. Залежність геометричних параметрів точок зміцнення від швидкості  $v_H$  подача електродного дроту.

Форма точки зміцнення представляє сферичний сектор об'ємом:

$$V_{\text{сф}} = \pi (4 h_2^2 + D_H^2) h_1 / 6, \quad (1)$$

який заповнює, об'єм розплаву

$$V_p = \pi k_M D_H^2 h_2 / 12 + \pi k_P d_e^2 l / 4. \quad (2)$$

Умова рівності об'ємів дозволяє визначити діаметр точки зміцнення

$$D_n = [(3 k_n d_e^2 l - 8 h_2^2 h_1) / (2 h_1 - k_m h_2)]^{1/2}. \quad (3)$$

Коефіцієнти  $k_n$  і  $k_m$  залежать від режиму ДТЗ, марки і стану поверхні зміцнення, марки і виду порошкового дроту.

У дійсності діаметр точки зміцнення декілька більше розрахункового (25 мм) внаслідок затікання сплаву за краї кратера проплавлення.

Кількість зв'язаних або таких, що перекриваються точок зміцнення по довжині  $L$  або ширині  $B$  захисної поверхні робочого органа при вибраному діаметрі точки  $D_n$  і перекриття  $\Delta D_n$  визначаються за формулою:

$$n = [L (B) - D_n] / (D_n - \Delta D_n). \quad (4)$$

Розрахункове значення округляється до найближчого цілого числа.

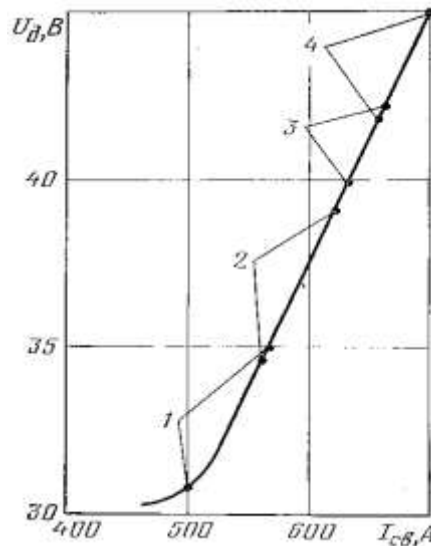


Рис. 7. Оптимальна залежність напруги  $U_d$  дуги від сили струму  $I_{св}$  для електродного дроту ПП-Нп-80Х20РТЗ-Н-С-3,2 (ГОСТ 26101-84); 1, 2 – носок і лезо лемеша; 3 – боковина; 4 – грудина полиці.

Для спряжених точок перекриття  $D_n = 0$ . У випадку необхідності  $\Delta D_n$  змінюється в ту або іншу сторону в залежності від функціонального призначення робочого органа. Великий вплив на параметри точок зміцнення надає швидкість  $v_n$  подачі порошкового дроту (рис. 6). Як бачимо, з її зростанням діаметр  $D_n$  головки точки зменшується, що зв'язано з скороченням часу наплавлення при однаковій витраті дроту. При цьому на форму точки значно впливає відведення тепла в сторони від її меж, а так як з скороченням часу наплавлення цей параметр в поперечному перетині менше, чим у поздовжньому, то розплавлення виникає з більшою швидкістю в глибину основного металу, ніж у сторони. Це дозволяє проплавити



лезо на всю товщину, що дуже важливо для самогострювання лемешів, так як у процесі зношування збільшується перепад твердості між наплавленими і не наплавленими ділянками і при експлуатації в результаті самогострювання третього роду утворюється хвилясто-ступінчасте лезо (рис. 8).

Технологічні параметри точкового зміцнення і режими ДТЗ відпрацьовані і уніфіковані для наступних робочих органів ґрунтообробних машин, що піддаються зміцненню (табл. 1): лемешів плугів і пласкорізів зі сталі Л53, польових дощок, боковин, долот культиваторів із сталі 45, розпушувальних лап і ножів культиваторів, долот і наральників плугів розпушувачів зі сталі 65Г, грудин полиць і полиць зі тришарової сталі.

### 1. Режими наплавлення точок зміцнення.

Найменування деталі	Підпал дуги	Проплавлення	Формування голівки	$I_{св}, A$	$U_{д}, B$	$t, c$	Виліт електрода, мм
	$t_{1,2,3}'$	$c/v_{п1,2,3}'$	мм/с				
Боковини:	0,5/17	2,1/96	0,4/21	620-	38-	3	27
ПЛЖ				660	43		
51.200У						2,5	27
ПГЦ	0,5/17	1,6/44	0,4/21				
61.200У				650-	42-		
ПЛЄ				700	45		
21.500У	0,4/17	1,9/69	0,4/21			2,7	23
Грудина	0,4/17	1,2/15,5	0,4/21			2	25
полиці ПЛЄ	0,4/17	1,6/44	0,4/21	510-	32-	2,5	27
21.401У				560	36		
Леміш	0,5/17	2,1/96	0,4/18	570-	35-	3	27
ПНЧС 702У:	0,4/17	1,9/69	0,4/18	620	39	2,7	23
носок				650-	42-		
лезо				700	45		
Ніж КФХ							
06.070У				620-	38-		
Лапи:				640	40		
КФХ				510-	32-		
00.070У				560	36		
8,5 (ГОСТ 1343-82)							

Для наплавлення точок зміцнення використовують тврдосплавний дріт ПП-Нп-80Х20Р3Т-Н-С-3,2 (ГОСТ 26101-84), яка забезпечує твердість 60-65 HRC<sub>e</sub>.

Довжина порошкового дроту, що витрачається на утворення точки зміцнення, визначається у відповідності з режимом ДТЗ:

$$L = v_{п1} t_1 + v_{п2} t_2 + v_{п3} t_3, \quad (5)$$

де  $v_{п1}$ ,  $v_{п2}$ ,  $v_{п3}$  швидкості подачі порошкового дроту для трьох режимів ДТЗ. При встановлених режимах ДТЗ довжину дроту, що витрачається визначають за ваговим її витратам  $G$  при відомому діаметрі  $d_e$ :

$$l = 4 G / (\pi d_e^2 \gamma), \quad (6)$$

де  $\gamma$  – густина матеріалу твердосплавного порошкового дроту.

Перед наплавленням порошковий дріт для видалення вологи прожарюють при температурі 200-250°C протягом 40хв, а деталі зачищають від корозії, оливи і забруднень. Наявність нормального шару окалини після прокатки не впливає на якість точки зміцнення.

Точкове зміцнення на деталях здійснюємо в горизонтальному або близькому до нього положеннях.

Стійкість збудження дуги і продуктивність наплавлення визначають режими ДТЗ. Відносно стабільне збудження дуги забезпечується при щільності струму не менше 150 А/мм<sup>2</sup>. При однаковій щільності струму більш високої напруги холостого ходу джерела живлення створює більш сприятливі умови для збудження і горіння дуги. Досліди показують, що якщо між закінченням наплавлення точки і подальшим збудженням дуги проходять не більше 5-7 с, кінець електрода не встигає остигнути і подальше запалення відбувається без труднощів. Велике значення для підпалу дуги має початкова швидкість подачі порошкового дроту: при  $v_{п1} > 80$  м/год. повторне збудження дуги відбувається 1-2 рази на 100 точок зміцнення, при  $v_{п1} > 100$  м/год. значно рідше. Встановлено, що оптимальна швидкість  $v_{п1}$  знаходиться у межах 30-70 м/год.

При автоматичному нанесенні точок зміцнення збудження зварювальної дуги повинно бути стабільним. З цією ціллю ІЕЗ ім. Є.О. Патона розробив програмний пристрій змінення швидкості ОБ 1448 і приставку РП-13, яка забезпечує пробивання повітряного проміжку 1-1,5 мм. Цей принцип закладений в автоматичній лінії У1062 для точкового зміцнення лемешів.

При точковому зміцненні деталей одна із основних умов, які забезпечують стабільну якість зміцнення – узгодження зварювального струму і напруги дуги. Така залежність для дроту ПП-Нп-80Х20РЗТ-Н-С-3,2 показана на рис. 7. Наплавлення рекомендується проводити при максимальній щільності струму. Середня потужність ДТЗ при ККД джерела живлення, що дорівнює 85%, складає від 15 до 40 кВт [9, 10].

У табл. 1 наведені режими ДТЗ для деяких робочих органів плугів. Забезпечення якості точкового зміцнення досягається контролем на всіх етапах виробництва. Перевірка режиму ДТЗ здійснюється не менш чим на трьох контрольних зразках деталі. Глибину проплавлення перевіряють за перерізом деталі по центру

точки. Якщо обраний режим наплавлення витримується то глибину проплавлення визначають за заміряними діаметрами  $D_H$  і висоті  $h_1$  за формулою

$$h_2 = (h_{2 \max} + h_{2 \min}) / 2, \quad (7)$$

$$\text{де } h_{2 \max, \min} = \frac{k_m D_H^2}{16h_1} \pm \sqrt{\left(\frac{k_m D_H^2}{16h_1}\right)^2 + \frac{3k_n d_e^2 l}{8h_1} - \frac{D_H^2}{4}} \quad (8)$$

Дефектами точок зміцнення можуть бути пори в наплавленому шарі, нерівномірність голівки, пропалювання деталі, не провар, які легко виявляються при зовнішньому огляді. У наплавлених точках допускаються окремі тріщини без виходу в основний метал деталі. Наявність бризок від ДТЗ на поверхні деталей не впливає на її функціональні властивості.

Непряма ознака не провару – занижений і нестабільний діаметр точки. Для попередження явища необхідно контролювати струм і напругу. Ознакою хорошої якості наплавлення слугують кольори наплавлення зі зворотньої сторони деталі.

Такі дефекти, як низька голівка точки і одиничні пори, практично не впливають на зносостійкість робочих органів. Недопустимими є дефекти, що знижують міцність деталі (пропалювання і тріщина по основному металу) і зносостійкість (непровар).

Ґрунтообробні машини з робочими органами, зміцненими ДТЗ, пройшли польові випробування в 1983-1988 рр. і 2004-2011рр.у різних ґрунтово-кліматичних зонах держави. Точкове зміцнення в порівнянні з індукційним наплавленням підвищують зносостійкість робочих органів у 1,5-3 рази, при цьому витрати на їх виготовлення знижуються за рахунок значного зменшення витрат електроенергії (в 5 разів і більше), в 4-5 разів підвищується продуктивність праці, значно скорочуються виробничі площі.

Точки наплавлення виступають над поверхнею лицевої сторони деталі на величину 1...3 мм та проникають в основний метал на глибину 4...6 мм, утворюючи на поверхні лицевої сторони деталі твердосплавну точку діаметром 18...25 мм і твердістю HRC 60...66 (рис. 8, рис. 9).

Пряма полярність струму знижує стійкість технологічного процесу, призводить до утворення бризок, зменшує глибину проплавлення і збільшує висоту точки зміцнення.

Тому параметри точкового зміцнення відпрацювали на оберненій полярності. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення. Наприклад, зі збільшенням зварного струму від 400 до 650А, діаметр точки зміцнення зростає з 14,5 до 31 мм, висота з 2,3 до 4,3 мм, а висота наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм [7].



Рис. 8. Леміш плуга після наробітку 49 га.

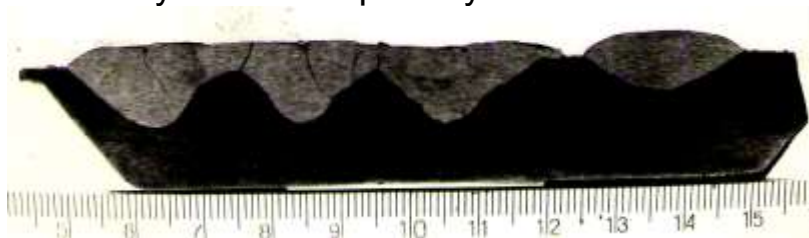


Рис. 9. Геометричні параметри точок зміцнення.

Необхідна глибина проплавлення, як і інші параметри точкового зміцнення досягається зміною сили зварного струму, напруги і тривалості горіння дуги. Оранка здійснювалася на глибині 25...27 см після збирання зернових культур. В процесі проведення випробувань регулярно здійснювали вимірювання параметрів робочих органів, визначали величину їх зносу. Всі робочі органи пройшли первинну технічну експертизу, промарковані. Показники умов і якості роботи визначали відповідно ГОСТ 20915-75 і ОСТ.4.1-80.

Експериментальні лемеші з точковим зміцненням леза і носової частини встановлювалися на серійному плузі ПЛН-5-35, що агрегувався з трактором Т-150К. З показників якості роботи експериментальні лемеші по глибині обробки і ширині захвату відповідають технічним умовам. В процесі випробувань експериментальних лемешів налипання ґрунту не спостерігалось. Експериментальні лемеші з точковим зміцненням підвищеної зносостійкості (ПНЧС-702У) відповідають вимогам по обробці ґрунту.

Питомий опір ПЛН-5-35 з експериментальними лемешами при швидкості руху 2,08 м/с складає 6,27 Н/см<sup>2</sup>, що на 2,5% менше (в межах похибки вимірювань), ніж ПЛН-5-35 з серійними лемешами. Так як різниця питомих показників знаходиться в межах похибки вимірювань, значення питомих показників агрегатів, що порівнюються, можна вважати однаковими. По тяговим показникам потужності трактор Т-150К в агрегаті з ПЛН-5-35 з

експериментальними лемешами забезпечує стійке виконання технологічного процесу, завантаження двигуна при русі зі швидкістю 2,08 м/с складала 94,6%.

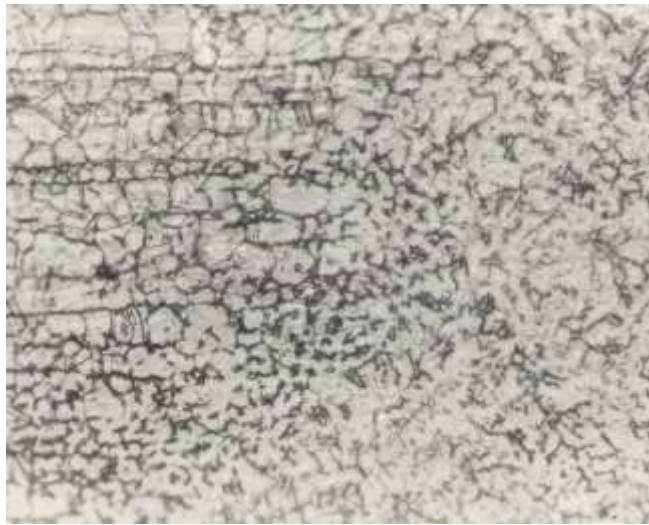


Рис. 10. Мікроструктура точки зміцнення лемеша плуга,  $\times 250$ .



Рис. 11. Лінія сплавлення з верхнім і середнім шаром,  $\times 250$ .

Висока зносостійкість експериментальних лемешів в умовах абразивного зношування передбачає наявність в структурі наплавленого шару карбідів тугоплавких металів.

Утворення карбідної фази, в основному, можливо двома шляхами: за рахунок роздільного легування карбідоутворюючими елементами і вуглецем наплавленого сплаву або за рахунок комплексного легування, коли в покриття вводяться готові карбідні з'єднання. Другий спосіб дозволяє значно спростити регулювання структури наплавленого металу. Мікроструктура точки зміцнення, це карбіди бору  $B_4C$  (рис. 10), бор знаходиться в складі шихти, в чистому вигляді. При точковому зміцненні, спостерігаємо (рис. 11), що боріди розподілені по границя зерен, з відсутністю загартованих

структур і тріщин. При використанні таких матеріалів експлуатаційне навантаження діє в основному на включення твердої пружно-пластичної матриці та відбувається релаксація напружень.

### Висновки

1. Точкове (дугове точкове зварювання) дозволяє створити технологію, яка забезпечує збільшення довговічності лемеша в 1,5-3 рази в порівнянні з індукційним наплавленням при оранці на ґрунтах з різним гранулометричним складом і інтенсивністю зношування.

2. Теоретично обґрунтовано можливість утворення самозагострювання лемеша плуга в результаті точкового зміцнення і утворення зубчастого леза в процесі експлуатації.

3. Виробничі випробування показали, що при зношуванні лемеша відбувається його самозагострювання за рахунок різниці твердості дільниць підкладки (основного металу) і леза робочого органу.

### Список літератури

1. *Новиков В.С.* Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. на соис ученой степени докт. техн. наук: спец.05.20.03 технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / *В.С. Новиков*. – М., 2008. – 43 с.
2. *Ткачев В.Н.* Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / *В.Н. Ткачев*. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
3. *Киселев Г.И.* Абразивный износ металла при различных температурах и скоростях / *Г.И. Киселев*. – М., ДАН СССР: 1952. – Т. XXXVII, №5. – С. 129.
4. *Розенбаум А.Н.* изнашивание лезвий в почвенной среде / *А.Н. Розенбаум*. – М.: Машгиз, 1960. – Сб. Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. – С. 148.
5. *Клюенко В.Н.* Универсальные самозатачивающиеся плужные лемеха повышенной износостойкости / *В.Н. Клюенко*. – М.: Тракторы и сельхозмашины, 1986. – С. 31.
6. *Ермаков И.Н.* Самозатачивающиеся чугуновые лемеха / *И.Н. Ермаков*. – М.: Машгиз, 1956. – Сб. «Повышение износостойкости лемехов». – С. 204.
7. *Денисенко М.* Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / *М. Денисенко, А. Опальчук*. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2011. – С. 201–210.
8. *Денисенко М.І.* Зміцнення та відновлення деталей автотракторної техніки і сільськогосподарських машин шляхом використання захисних зносостійких покриттів / *Денисенко М.І. Войтюк В.Д., Рубльов В.І.* // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х., 2010. – Вип. 101. – С. 93–103.
9. *Терещенко В.И.* Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом / *Терещенко В.И., Шаровольский А.Н., Сидоренко К.А.* // Автоматическая сварка. – 1983. – № 9. – С. 51–53.
10. *Крагельский И.В.* Трение и износ / *И.В. Крагельский*. – М.: Машгиз, 1962. – С. 142.



*В работе дан анализ современных методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, рассмотрены их преимущества и недостатки. Показано, что наиболее эффективным методом упрочнения рабочих поверхностей деталей почвообрабатывающих машин является точечное упрочнение – дуговая точечная сварка порошковой проволокой.*

***Абразивное изнашивание, точечное упрочнение, лемех плуга, лапа культиватора, диск бороны.***

*In paper present introduce the present method hardening working tool cultivation machine them advantage and defect Demonstrate what the greatest effective method hardening force surface part cultivation machine have-point hardening point consumable-electrode are welding flux cored electrode.*

***Abrasive wear, pointwise reinforcement, plough share, sweep, harrow disk.***

УДК 681.513.5

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

***В.С. Ловейкін, доктор технічних наук  
Ю.О. Ромасевич, кандидат технічних наук  
В.А. Голдун, аспірант\****

*У статті розв'язана задача оптимального керування динамічною системою, яка описується диференціальним рівнянням другого порядку. Показаний зв'язок між відомими методами оптимального керування: варіаційним численням, принципом максимуму та динамічним програмуванням. Оптимальне керування знайдено у вигляді зворотного зв'язку при врахуванні обмежень на величину керування.*

***Динамічне програмування, принцип максимуму, варіаційне числення, обмеження на керування.***

**Постановка проблеми.** Експлуатація сучасних технічних систем пов'язана із значними динамічними навантаженнями, енергетичними витратами та швидкоплинними перехідними процесами. Явища, які супроводжують протікання перехідних

\*Науковий керівник – доктор технічних наук В.С. Ловейкін

© В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.А. Голдун, 2013