

УДК 621.9.048.4

**О. Ф. Сіса, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет, м.Кривницький, Україна**E-mail: sisaoleg@mail.ru*

## Обработка размерной электрической дугой шестигранных полостей пуансонов горячего прессования

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення поверхонь шестигранної порожнини пуансонів горячого пресування головок болтів, способом розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою сталі 5ХНМ з режимами обробки і геометричними параметрами.

**електрична дуга, матриця, пуансон, болт, горяче пресування, технологія, технологічні характеристики, обладнання**

**О. Ф. Сіса, канд. техн. наук***Кіровоградський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна*

### Обработка размерной электрической дугой шестигранных полостей пуансонов горячего прессования

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования поверхностей шестигранных полостей пуансонов горячего прессования способом размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой стали 5ХНМ с режимами обработки и геометрическими параметрами.

**электрическая дуга, матрица, пуансон, болт, горячее прессование, технология, технологические характеристики, оборудование**

**Постановка проблеми.** Зростаючі вимоги до конкурентноздатності вітчизняних сільськогосподарських агрегатів потребують безперервного підвищення їх надійності. Вплив на надійність машини, в цілому чинять основні елементи та різьбові з'єднання, які є ресурсовизначальними, оскільки вони витримують значні динамічні навантаження, а головним фактором підвищення несучої здатності високонавантажених болтів є підвищення пружності головки болта.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час роботи сільськогосподарської техніки різьбові з'єднання перебувають під впливом сумарного вібраційного навантаження, спрямованого вздовж та поперек осі різьбового стрижня. Діапазон частот коливань різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки лежить в межах від 0,1 до 120 Гц, амплітуда – від  $1 \cdot 10^{-6}$  м до  $5 \cdot 10^{-3}$  м [1]. Причинами цього явища є невірноваженість обертальних мас, криволінійність профілю доріг, варіювання характеристик оброблюваного матеріалу тощо. Частка різьбових з'єднань, що використовуються на сучасних зернозбиральних комбайнах, складає 1 % від маси або 1,1-1,8 % від вартості комбайна. Досліджено, що 15-25 % відмов зернозбиральних комбайнів першого року експлуатації відбуваються внаслідок відмов різьбових з'єднань

[2]. Головними експлуатаційними параметрами змонтованого різьбового з'єднання є значення зусилля притискання та збережуваність його протягом заданого терміну роботи [3]. Для підвищення напрацювання різьбових з'єднань до послаблення наразі використовують конструкційні та технологічні способи. Найбільшої уваги у вітчизняному сільгоспмашинобудуванні приділяється конструкційному способу – стопорінню. Експериментально підтверджено, що жоден із способів стопоріння не забезпечує стовідсоткового збереження зусилля притискання з'єднаних деталей протягом міжремонтного строку сільськогосподарської техніки. Найбільш дешевим та досконалим способом забезпечення необхідного напрацювання різьбового з'єднання до послаблення є відтворення необхідного зусилля притискання з'єднаних деталей, тобто технологічний спосіб. Він базується на науково обґрунтованих даних для конкретних умов роботи з'єднань в конкретній машині при відповідному зусиллі притискання з'єднаних деталей.

В умовах багатосерійного та масового типу виробництва виготовлення кріпильних виробів виконують методом холодного пластичного деформування на спеціальних холодновисаджувальних прес-автоматах, а в гарячому стані – на універсальному ковальсько-пресовому обладнанні. На прес-автоматах в холодному стані виготовляють болти з повною оформленою шестигранною головкою, але при цьому недоліками є нерівномірність розподілення механічних властивостей головки і стержньової частини та підвищена ступінь деформації, яка вимагає термічної обробки для зняття внутрішніх напружень. Виготовлення болтів з шестигранними головками методом гарячого висаджування виконується у відкритому штампі з подальшою обрізкою облою, накатування або нарізання різьби. Однак, виготовлення робочих деталей штампу (матриці і пуансона), які мають складний контур робочої частини є проблемним, так-як обробку потрібно вести в деталях, які вже мали термічну обробку і мають значну твердість 45..52 HRC.

Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для обробки матриць, окрім слюсарно-механічної, є: алмазне шліфування, електрохімічна і електроерозійна обробка. Однак, застосування алмазного шліфування для складнофасонної поверхні матриці не завжди можливо у силу кінетичних особливостей метода і конструкції інструмента. Слюсарно-механічний метод малопродуктивний і вимагає значних витрат висококваліфікованої ручної праці.

Електрохімічна обробка застосовується для обробки твердосплавного і сталевого матеріалу, вона характеризується високою продуктивністю знімання металу з поверхонь складної форми і малої жорсткості ( за рахунок відсутності високих тисків на заготовку), високою точністю і низькою шорсткістю.

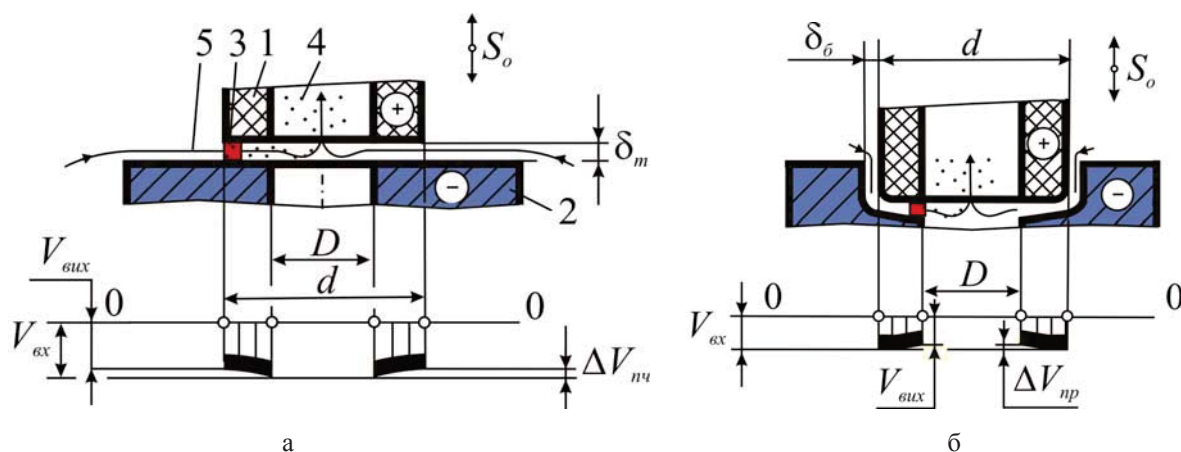
Для виготовлення отворів матриць (круглих, шестикутних, профільних) широко використовується спосіб електроімпульсного прошивання, який забезпечує потрібну якість та точність обробки. Даний спосіб застосовує для руйнування матеріалу електричну енергію у вигляді нестационарних форм електричних розрядів, зокрема імпульсних розрядів. Тому процес обробки супроводжується паузами, які негативно впливають на продуктивність обробки.

За роботами [4,5,6] відомий спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), при якому енергія підводиться в зону обробки безперервно. Завдяки цьому, а також тому, що спосіб дозволяє вводити в зону обробки великі потужності електричного струму, даний спосіб володіє високою продуктивністю обробки. Так, за даними роботи [6] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм<sup>2</sup>) в матеріалі сталь 45 при силі струму  $I = 1000\text{A}$ , досягає 27300 мм<sup>3</sup>/хв при  $Ra = 6,3$  мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей

міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД матриць та пуансонів гарячого пресування стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами отворів, які оброблюються. Проблема ще більш загострюється при отриманні отвору з визначеною шорсткістю поверхні калібруючої частини матриці чи пуансона. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання шестигранних порожнин матриць чи пуансонів гарячого пресування болтів є актуальною.

**Постановка завдання.** Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД матриць чи пуансонів для гарячого пресування болтів, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

**Виклад основного матеріалу.** В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі (МЕЗ) під технологічним тиском, за напрямком від перефірії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки  $M$ , мм<sup>3</sup>/хв; питома продуктивність обробки  $M_a$ , мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$ , кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$ , мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$ , %; шорсткість обробленої поверхні  $Ra$ , мкм. Будування математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі 5ХНМ здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану  $2^{4-1}$ . На підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки ( сила технологічного струму  $I$ , А; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{cm}$ , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки ( площа обробки  $F$ , мм<sup>2</sup>; глибина обробки  $h$ , мм).



а – початкова фаза обробки; б – проміжна фаза обробки (1 – графітовий ЕІ; 2 – сталева заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік)

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ

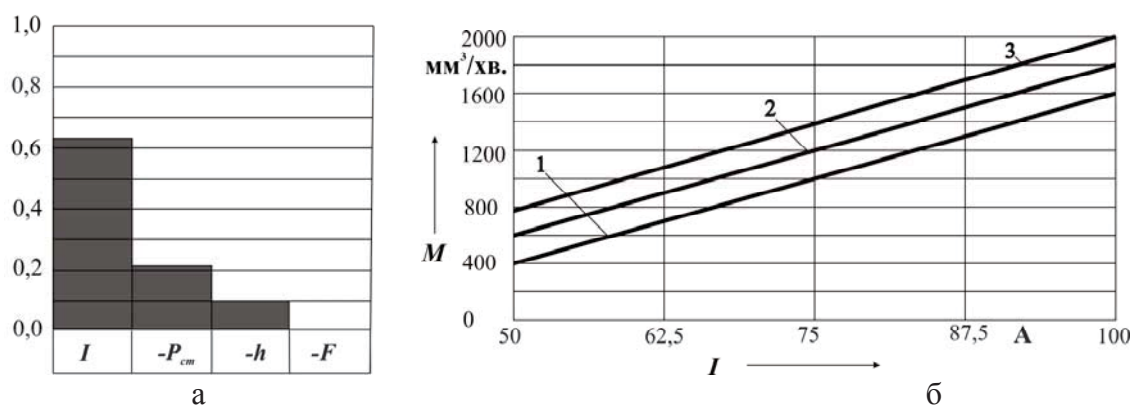
Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотня; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі 5ХНМ

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – сталь» з використанням способу зворотного прокачування	
$M = 1225 + 596x_1 - 203x_2 - 156x_4$	$x_1 = (X_1 - 75)/25$ $x_2 = (X_2 - 1)/0,2$ $x_3 = (X_3 - 560)/161$ $x_4 = (X_4 - 3,5)/1,5$
$M_a = 7,699 + 1,387x_1 - 1,7088x_2 - 0,992x_4$	
$a = 1,23 - 0,275x_1$	
$R_a = 5,124 + 2,124x_1 - 0,384x_2 + 0,205x_4$	
$\delta_a = 0,0082 - 0,00225x_2$	
$\gamma_{\bar{e}} = 0,387 - 0,136x_2 - 0,083x_4 - 0,034x_1 + 0,009x_3$	
де $X_1 \rightarrow I, \text{ А}; X_2 \rightarrow P_{cm}, \text{ МПа}; X_3 \rightarrow F, \text{ мм}^2; X_4 \rightarrow h, \text{ мм}$	

В рамках експерименту: продуктивність  $M$  процесу РОД сталі 5ХНМ змінювалась в межах від 590 до 2444 мм<sup>3</sup>/хв.; питома продуктивність обробки  $M_a$  – від 5,04 до 12,22 мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$  – 0,48 до 1,83 кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$  – 0,010 до 0,025мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$  – 0,19 до 0,74 %; шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  – 2,5 до 8 мкм.

Із аналізу моделі (рис. 2) випливає, що на продуктивність обробки  $M$  найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив площі обробки  $F$  на продуктивність значно менший, а статичний тиск  $P_{cm}$  та глибина обробки суттєвого впливу не створювали. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки порожнин пуансонів гарячого пресування.

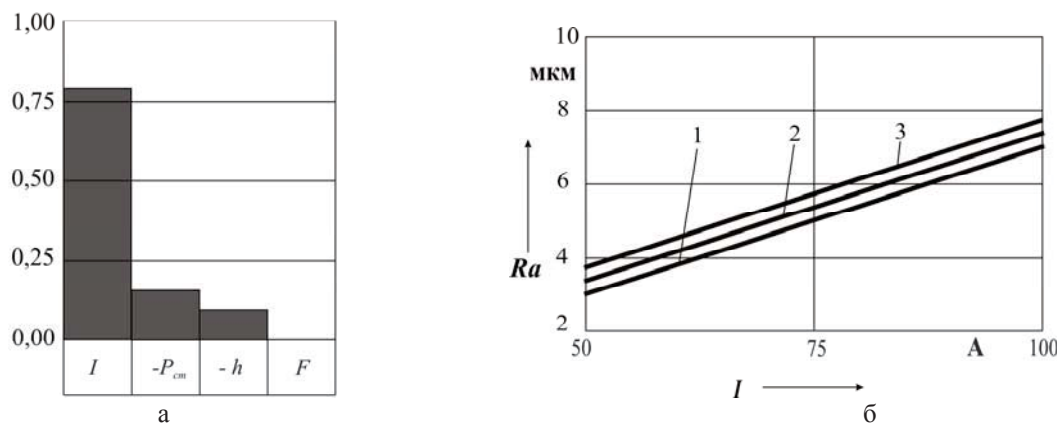


а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $M$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2$  МПа;  
2 –  $P_{cm} = 1,0$  МПа; 3 –  $P_{cm} = 0,8$  МПа

Рисунок 2 – Продуктивність  $M$  чорнової РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ- сталь» з використанням способу зворотного прокачування

Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні  $R_a$  в повній мірі визначається силою технологічного струму  $I$  (ступінь впливу – 78,3 %) та

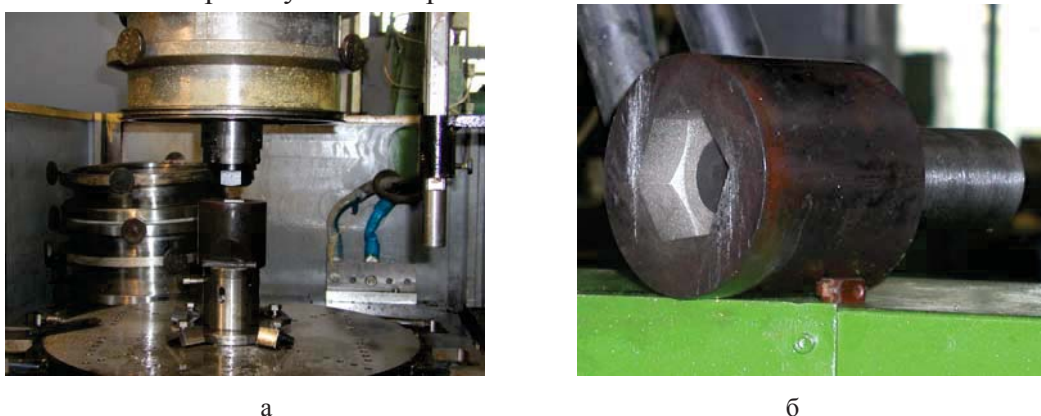
залежить від статичного тиску  $P_{cm}$ , а також глибини обробки  $h$ . Із підвищенням  $I$  шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила технологічного струму  $I$  по відношенню до шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  є головним керуючим фактором. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша імовірність утворення лунок. При виконаних експериментальних дослідженнях шорсткість вимірювалася на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалася у межах від  $Ra$  – 2,5 до 8 мкм.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $Ra$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2$  МПа; 2 –  $P_{cm} = 1,0$  МПа; 3 –  $P_{cm} = 0,8$  МПа

Рисунок 3 – Шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу зворотного прокачування

Обробку порожнини пуансону гарячого пресування (рис. 4, б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму  $I = 50$  А, напруга на дузі  $U = 27$  В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор  $P_{cm} = 1,2$  МПа, площа обробки  $F = 721$  мм<sup>2</sup>, полярність обробки зворотня (заготовка «мінус»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – зворотній (від периферії до центра отвору заготовки). В результаті обробки пуансону гарячого пресування з сталі 5ХНМ, була зафіксована продуктивність обробки  $M = 610$  мм<sup>3</sup>/хв., що в 1,6...2,2 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.



а – обробка пуансона на електроерозійному верстаті моделі "АМ-1";  
б – пуансон горизонтально-кувальної машини В1136 для висаджування головок болта розмірами під ключ  $S = 54$  мм, висотою до 24 мм графітовим ЕІ ( $I = 50$  А,  $P_{cm} = 1,2$  МПа,  $F = 721$  мм<sup>2</sup>,  $h = 24$  мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД порожнин пуансонів гарячого пресування

**Висновки.** Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки шестигранних порожнин пуансонів гарячого пресування, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби інструменту, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення кріпильних виробів.

## Список літератури

1. Рубець А.М. Збільшення ресурсу різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки [Текст] / А.М. Рубець // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 10(49). – С. 20–22.
2. Михайлович Я. М. Використання різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів [Текст] / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільського господарства ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27). – С. 301–310.
3. Михайлович Я. М. Підвищення наробітку різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення [Текст] / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2012. – Вип. 170, ч. 2, – С. 178–185.
4. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: дис. ... доктора техн. наук: 05.03.07 [Текст] / Носуленко Віктор Іванович. – Кіровоград, 1998. – 389 с.
5. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В.И. Носуленко, Г.М. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. - № 1. – С.19-23.
6. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.

**Oleh Sisa, PhD tech. sci.**

*Kirovohrad National Technical University, Kropyvnickiy, Ukraine*

### **Processing of hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc**

The article is dedicated to the development of technology and accessories of the method for processing of hexagonal cavities of hot-pressing punches by electrical arc, as high-performance alternative to traditional processing methods.

An important factor in increasing the carrying capacity of heavy duty bolts is the increasing of the elasticity of the bolt head. This condition is fully met by the high-strength bolts with hexagon head produced by the method of hot pressing. The use of an elastic flange ensures continuous operation under alternating loadings without loss of pre-tightening efforts. When developing equipment and tools, it is necessary to take into account the conditions which ensure the formation of the bolt head. The most important parameter for pressing is the dimensional accuracy, hot impact resistance of the tool, material ductility, burr tool cavity walls, since the pressure force on the transmission side surface is proportional to the pressure in the longitudinal direction. It is found that the optimum parameters hex hot pressing punch cavity walls during the processing performance of  $M = 610 \text{ mm}^3 / \text{min}$ . by electrical arc, is the roughness  $Ra = 2,5..6,3 \text{ mkm}$  that provides frictional force required to fill the cavity of the bolt head.

It is suggested to get the hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc with the set roughness  $Ra = 2,5..6,3 \text{ mkm}$  of side walls, which allows you to take great allowances material at the lowest cost to the processing time. At the same time the cycle of processing is decreased 2-4,5 times.

The objectivation of technological scheme of formation of hexagonal cavities of hot pressing punches by dimension electrical arc was made taking into account features of the physical mechanism of formation and hydrodynamic phenomena in the electrode gap. The analytical processing characteristics of process of sizing by electric arc of steel 5HNM with treatment regimes and geometrical parameters were established.

**electric arc, matrix, punch, bolt, hot pressing, technology, process characteristics, equipment**

Одержано 4.11.16