

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, О.В. Кислюк, магістр

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: sisaoleh@gmail.com

Технологія виготовлення зовнішньої бічної поверхні катків гранулятора

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення зовнішньої бічної поверхні катка гранулятора, 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 ШХ15СГ з режимами обробки і геометричними параметрами.

електрична дуга, каток, гранулятор, технологія, обладнання

О. Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, О.В. Кислюк, магістр
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Технология изготовления внешней боковой поверхности катков гранулятора

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования внешней боковой поверхности катка гранулятора 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 ШХ15СГ с режимами обработки и геометрическими параметрами.

электрическая дуга, каток, гранулятор, технология, оборудование

Постановка проблеми. В останні роки використання біопалива розглядається як альтернатива традиційним видам палива. Технології отримання енергії з біопалива розвиваються і удосконалюються, тому технології переробки відходів удосконалюють і роблять виробництва безвідходними і екологічно чистими. Багато проблем, які пов'язані з вторинною переробкою відходів деревини, в процесі виробництва вирішує переробка відходів в паливні брикети або гранули, тому виробництво брикет і гранул є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах спустошення природних ресурсів і постійно зростаючих цін на енергоносії необхідно застосовувати альтернативні джерела енергії – біопаливо. В даний час в якості твердого біопалива застосовуються різні матеріали: відходи деревопереробки, кора, сіно, солома, стебла кукурудзи та соняшнику, відходи від переробки сільськогосподарських культур (костриця льону, соняшникове та гречане лушпиння), а також спеціально вирощувані для цієї мети рослини (енергетичні ліси, енергогаї).

Гранули і брикети мають величезні переваги, в порівнянні з традиційними видами палива [1]. Для виробництва гранул чи брикетів витрачається біля 3% енергії. При цьому, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10%, а при виробництві електроенергії 60%. Їх теплотворна здатність складає 4,5 - 5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини. При спалюванні 2000 кг гранул або брикет виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³

© О.Ф. Сіса, В.В. Пукалов, О.В. Кислюк, 2017

газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Брикети отримують прямим пресуванням на гідравлічному або механічному пресі, а гранули у грануляторах за рахунок видавлювання через отвір матриці катками. Високі вимоги в галузі охорони навколишнього середовища щодо якості виготовлення паливних гранул і брикетів, привели до значного технічного прогресу в розробці обладнання для їх виготовлення.

Головним робочим елементом обладнання для отримання брикету та гранул є матриця, де відбувається процес агрегування. В залежності від геометричних розмірів отвору матриці і шорсткості бічної поверхні забезпечується умова пресування. Результати досліджень пресування матеріалу брикет та гранул показують, що найкращі умови створення сил стиснення в калібруючій частині матриці забезпечує шорсткість бічної поверхні, яка повинна складати в межах $Ra = 3,2..6,3$ мкм в залежності від матеріалу, який застосовується. Головним елементом створення сили тиску є каток, який накатується на шихту і зтягує шихту в матрицю гранулятора, але під час роботи катки зношуються внаслідок абразивності суміші і потребують постійного ремонту – відновлення зношеної поверхні.

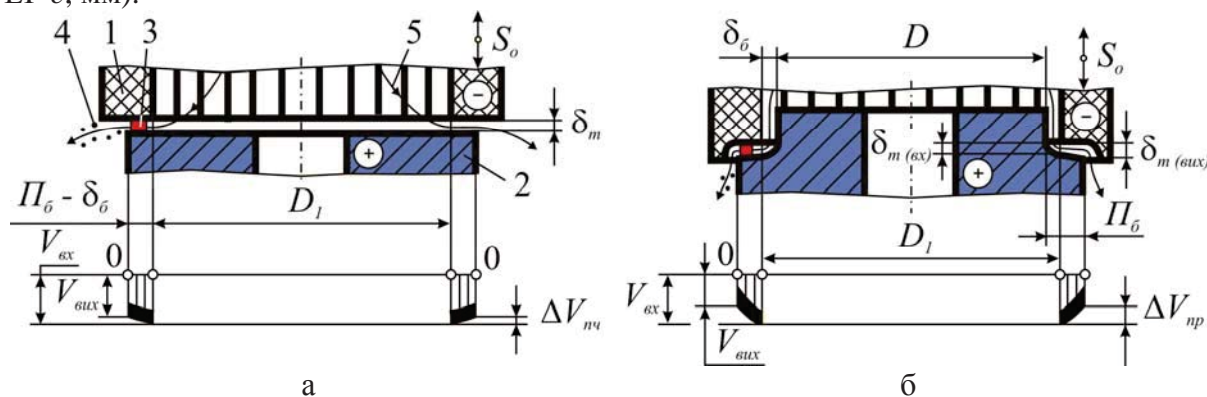
Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для обробки катків гранулятора, окрім слюсарно-механічної, є: механічна обробка (точіння, фрезерування, шліфування) і електроерозійна обробка. Однак, застосування шліфування для складноконтурної поверхні катка не завжди можливо у силу кінетичних особливостей метода і конструкції інструмента. Слюсарно-механічний метод малопродуктивний і вимагає значних витрат висококваліфікованої ручної праці. Тому, необхідно виготовляти зовнішній контур бічної поверхні катка, застосовуючи технології, які будуть альтернативними обробці різанням.

За роботами [2,3,4,5,6] 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 [5] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм²) в матеріалі сталь 45 при силі струму $I = 1000$ А, досягає 27300 мм³/хв при $Ra = 6,3$ мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД катків гранулятора стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами порожнин, які оброблюються. Проблема ще більш загострюється при отриманні складно профільної зовнішньої бічної поверхні з визначеною шорсткістю та механічними властивостями. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання складно профільної зовнішньої бічної поверхні є актуальною.

Постановка завдання. Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД катків гранулятора, як вискоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

Виклад основного матеріалу. В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання-копіювання. 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 перефії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки M , мм³/хв; питома

продуктивність обробки M_a , $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв}$; питома витрата електроенергії a , $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$; бічний зовнішній МЕЗ δ , мм ; відносний лінійний знос ЕІ γ , %; шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм . Будівництво математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі ШХ15СГ 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^2 ; висота пояска ЕІ c , 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

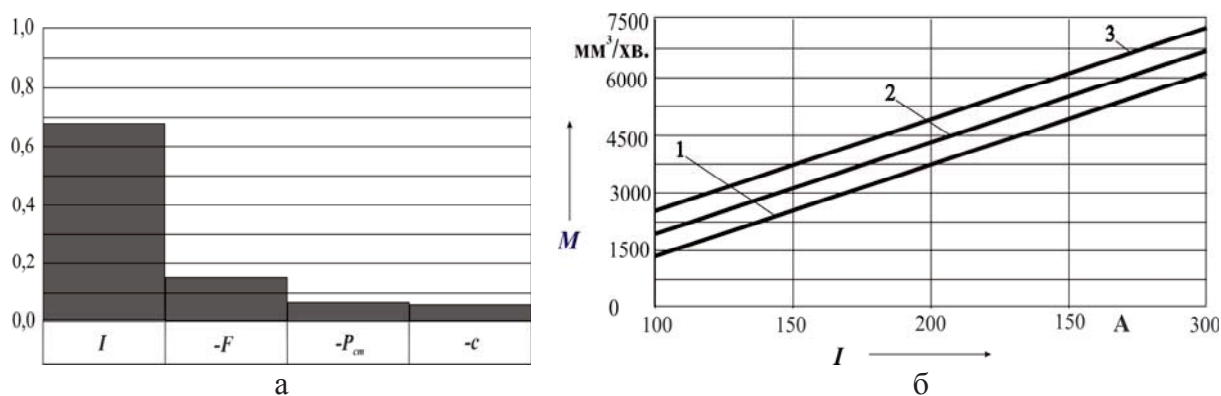
Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотня; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі ШХ15СГ

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – сталь» з використанням способу зворотного прокачування	
$M = 4321 + 2400x_1 + 569x_2 - 275x_3 - 2300x_4$	$x_1 = (X_1 - 200)/100$ $x_2 = (X_2 - 1)/0,2$ $x_3 = (X_3 - 1106)/399$ $x_4 = (X_4 - 6)/3$
$M_a = 20,8 + 7,6x_2 - 3,74x_3 + 1,58x_1 - 1,55x_4$	
$a = 2,866 + 0,491x_3 - 0,443x_1 - 0,319x_4 + 0,096x_2$	
$R_a = 14,1 + 6,775x_1 - 1,125x_2 + 0,85x_4 - 0,6x_3$	
$\delta_a = 0,0719 - 0,0344x_4 - 0,0231x_3 - 0,0031x_1 - 0,0019x_2$	
$\gamma_e = 0,5188 - 0,0863x_1 - 0,0763x_2 - 0,0238x_3 + 0,0063x_4$	
де: $X_1 \rightarrow I$, А; $X_2 \rightarrow P_{cm}$, МПа; $X_3 \rightarrow F$, мм^2 ; $X_4 \rightarrow c$, мм	

В рамках експерименту: продуктивність M процесу РОД сталі 20Г2Р змінювалась в межах від 1360 до 6010 $\text{мм}^3/\text{хв.}$; питома продуктивність обробки M_a – від 12,55 до 30,92 $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв.}$; питома витрата електроенергії a – 1,16 до 4,89 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$; бічний зовнішній МЕЗ δ – 0,020 до 0,055 мм ; відносний лінійний знос ЕІ γ – 0,48 до 1,89 %; шорсткість обробленої поверхні Ra – 6,3 до 25 $\mu\text{м}$.

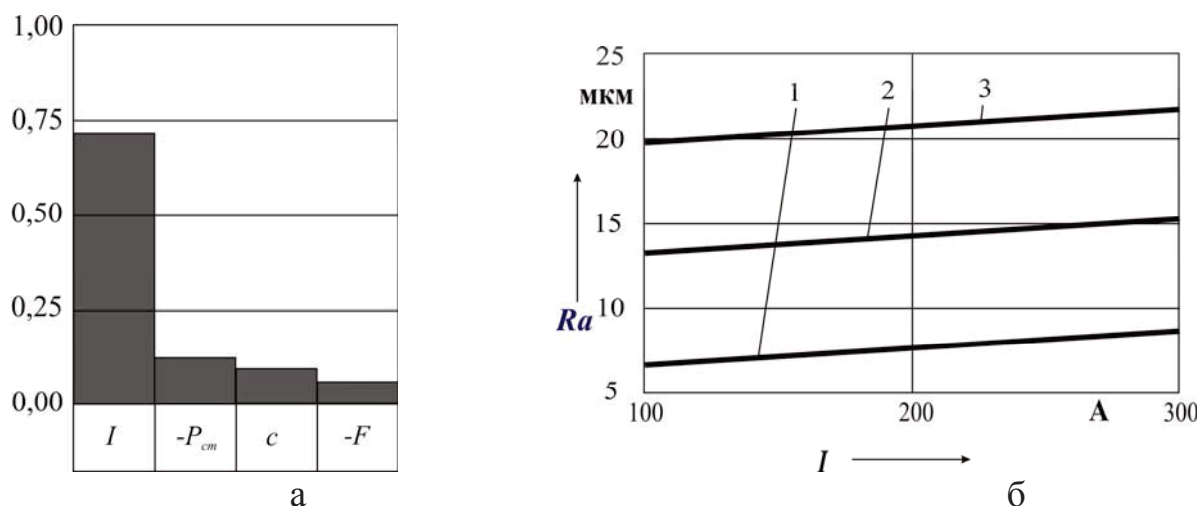
Із аналізу моделі (рис. 2) випливає, що на продуктивність обробки M найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив статичного тиску $P_{ст}$ робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор на продуктивність обробки M значно менший, але має суттєве значення, з його підвищенням продуктивність буде зменшуватись. Вплив висоти пояса ЕІ c приблизно у 0,8 рази менше в порівнянні з статичним тиском $P_{ст}$ робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор, але має істотне значення, з підвищенням c продуктивність обробки M зменшується. Останнє пояснюється зростанням температури електричної дуги у зв'язку зі стисненням її більш динамічним потоком робочої рідини. Вплив площі обробки F на продуктивність обробки M має значення, з підвищенням F продуктивність M знижується. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки катків гранулятора.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність M від I ; 1 – $F = 1505 \text{ мм}^2$;
2 – $F = 1106 \text{ мм}^2$; 3 – $F = 707 \text{ мм}^2$

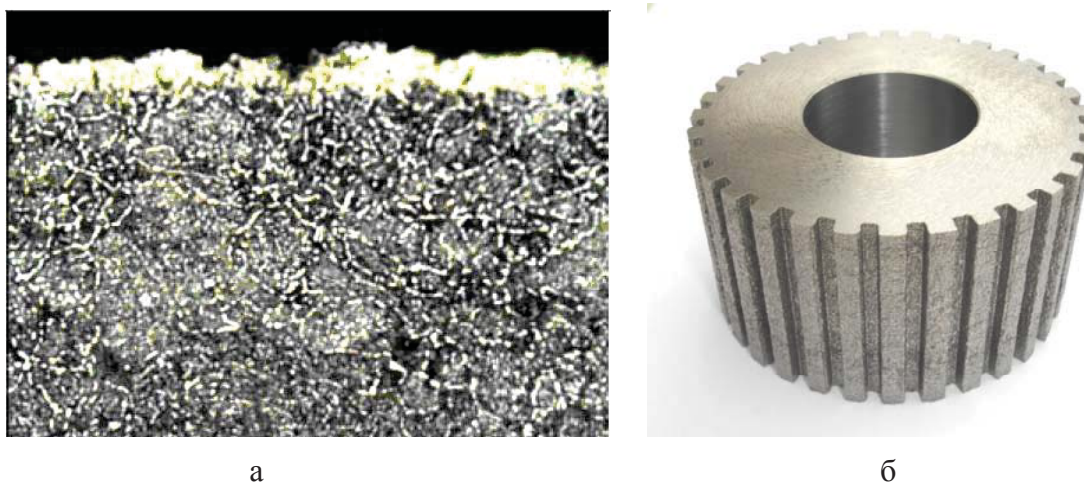
Рисунок 2 – Продуктивність M РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу прямого прокачування

Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні Ra 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 вимірювалась на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалась у межах від Ra – 6,3 до 25 $\mu\text{м}$. За результатами металографічних досліджень (рис. 4,а) мікротріщин у поверхневому шарі сталюого зразка після РОД не виявлено.



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 прямого прокачування



а – мікроструктура (x200) поверхневого шару сталі ШХ15СГ після РОД бічної поверхні зразка графітовим ЕІ ($I = 100$ А, $P_{cm} = 0,8$ МПа, $F = 707$ мм², $c = 3$ мм);
б – каток гранулятора після РОД зовнішньої бічної поверхні графітовим ЕІ ($I = 100$ А, $P_{cm} = 0,8$ МПа, $F = 1010$ мм², $h = 42$ мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД катка гранулятора

Обробку бічної поверхні, а саме фасонної циліндричної калібруючої напрямної (рис 4,б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму $I = 100$ А, напруга на дузі $U = 27$ В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор $P_{cm} = 0,8$ МПа, площа обробки $F = 1010$ мм², полярність обробки зворотня (заготовка «плюс»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – пряма (від центра до периферії отвору заготовки). В результаті обробки катка гранулятора з сталі ШХ15СГ, була зафіксована продуктивність обробки $M = 1700$ мм³/хв., що в 4,1...8,2 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.

Висновки. В результаті аналізу сучасних методів обробки катків гранулятора показано, що найбільш продуктивним є спосіб РОД в умовах уніполярного режиму.

Шляхом математичного моделювання, встановлено аналітичні зв'язки та досліджено вплив фізико-технологічних факторів, що обумовлюють режим обробки (силу струму, статичний тиск рідини, частоту зміни полярності обробки), та геометричні параметри на технологічні характеристики процесу. Отримані моделі дозволяють керувати продуктивністю та питомою продуктивністю обробки, питомою витратою електроенергії, якістю та точністю обробленої поверхні, прогнозувати та оптимізувати дані характеристики.

Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки катків гранулятора, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби катка, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення паливних гранул.

Список літератури

1. Сарана, В.В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур та деревини [Текст] / В.В. Сарана, М.М.Гудзенко, С.М.Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип.. 144, ч. 4, С.190-197.
2. Verfahren zur elektroerosiven Bearbeitung von Metallen: pat. 621279 Schweiz, B 23 P 1/06. / Nosulenko V. I., Mescheryakov G. N.; inhaber Kirovogradsky Institut Selskokhozyaistvtnnogo Mashinostroenia. Anmeldungsdatum 12.07.1977; Patentschrift veröffentlicht 30.01.1981.
3. Meshcheriakov, G. N. Physical and Technological Control of Dimensinal Machining [Text] / Meshcheriakov G. N., Nosulenko V. I., Meshcheriakov N. G., Bokov V. M. // Process and Metal Transfer. Annals of the CIRP Vol. 37/1/1988, p. 209-212.
4. Носуленко, В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 1. – С. 8–17.
5. Боков, В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В.М. Боков . – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
6. Носуленко, В. І. Комбинированные процессы металлообработки с использованием электрического дугового разряда как новые возможности и высокоэффективная альтернатива традиционной технологии [Текст] // П. Н. Великий, О. Ф.Сиса, О. С. Чумаченко // Сварщик. – 2001. – № 5. – С. 30–32.

Oleh Sisa, Assoc. PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. PhD tech. sci., Olesya Kislyuk, master.

Central Ukrainian National Technical university, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Technology of Manufacturing the Outer Lateral Surface of the Rollers of Granulators

The article is dedicated to the development of technology and equipment a roller of granulators processing with dimensional electric arc as high-performance alternative to traditional methods of processing.

It is suggested to get the lateral surface by dimensional electric arc with a given roughness of $Ra = 6,3..22\text{mkm}$, which allows you to take great allowances material at the lowest cost processing time. In such a case the cycle of matrix processing decreases in 4,1-8,2 times.

The objectivity of technological schema the roller of a granulator by the method of dimensional processing by electric arc with consideration of specialties of physical mechanism of creation and hydrodynamic phenomena in electrode period was performed. The analytical connections of technological processing characteristics of sized processing by electrical arc of steel SHH15SG were established, with the modes of processing and geometrical parameters.

electric arc, roller, granulator, technology, equipment

Одержано 01.11.17