УДК 621.86

© А.Є.Дячун к.т.н., В.О.Дзюра к.т.н., В.М.Клендій к.т.н., О.Л.Третьяков
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ 3D СКАНУВАННЯ ШОРСТКОСТІ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ ПІСЛЯ ПРОЦЕСУ УДАРНОГО ЗМІЦНЕННЯ

У статті наведені аналітичні залежності апроксимації різних видів, що описують вплив технологічних факторів на шорсткість гвинтової поверхні, отримані в результаті експериментальних досліджень. Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень дозволив визначити характер впливу окремих технологічних факторів на значення шорсткості обробленої поверхні.

ШОРСТКІСТЬ, ГВИНТОВА ПОВЕРХНЯ, ГВИНТОВИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН

Постановка проблеми Для виробництва твердого палива використовуються рослинні відходи сільськогосподарського виробництва. До таких відходів можливо віднести: солому, лушпиння соняшнику, рису, фуражне зерно та інше. З цієї сировини отримають тверде паливо шляхом пресування шнековим пресом. В зв’язку з тим, що рослинна сировина у своєму вмісті має значний рівень кислотності, це призводить до зменшення ресурсу шнека, терміну експлуатації екструдера, збільшення витрат та зменшення зносостійкості екструдерів для виробництва твердого палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виробництві паливних брикетів відходи зернового виробництва, а також мінеральні частинки (пісок, ґрунт та невелике каміння) [1], при контакті з робочими органами призводять до механічного руйнування їх поверхонь [2, 3]. Цей вид зношування характерний для всіх зон екструдера [4]. Для екструдерів воно характерне в зоні стиснення, при цьому найбільш схильні до зносу останні два витки екструдера [5]. На поверхні витка шнека виникають зони пластичної деформації та вторинні структури, які спричинені абразивними частками матеріалу [6]. Під дією високої температури, високої вологи відбувається хімічна реакція з поверхнею металу, яка провокує корозійно-механічне зношування [8]. Внаслідок цього виникають нові вторинні структури, товщина яких коливається в межах 0,05-0,1 мкм [9]. Як правило, це

зношування характерне для зони формування та спікання, але найбільше проявляється в зоні стиснення. Корозійно-механічне зношування відбувається тільки в трибосистемі пресований матеріал – елемент конструкції [6]. В роботі [7] експериментально оцінено негативний вплив активної кислотності, абразивності та навантаження на швидкість зношування, силу тертя та сумісність матеріалів шнека екструдера для виробництва паливних брикетів з рослинної сировини. Підібрано найбільш сумісні матеріали та умови при яких буде відбуватися найменше зношування робочих органів екструдера. Одним з визначальних факторів, що характеризують якість поверхні, є шорсткість, що надає великий вплив на експлуатаційні властивості деталей.

Тому **метою дослідження** є прогнозування геометричних і фізико-механічних властивостей гвинтової поверхні для дослідження впливу технологічних факторів процесу обробки на параметри поверхневого шару.

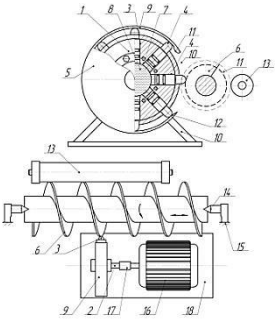
Результати дослідження. Основними експлуатаційними дефектами гвинтових робочих органів є сколи, тріщини, випадання і зношення основного матеріалу та захисних елементів поверхонь витків. За розміщенням на поверхнях витків гвинтових робочих органів дефекти можна поділити на: локальні (тріщини, риски, неметалічні включення); розміщені в обмежених зонах (на зовнішній крайці, на ”штовхаючій” гвинтовій поверхні тощо); розміщені по всьому об’єму витка або по усій її поверхні (якість механічної обробки, хімсклад тощо).

Якість поверхні прийнято оцінювати геометричними параметрами і станом поверхневого шару, який визначається фізико-механічними властивостями і структурою. Характеристика геометричних властивостей поверхні включає макро- і мікрогеометричні параметри. При обробці поверхні деталі, що супроводжується зміцненням металу, відбувається руйнування або деформування поверхневих шарів металу внаслідок контактної взаємодії з інструментом, в результаті чого в поверхневих шарах металу і на поверхні деталі можуть відбуватися зміни фізико-механічних властивостей і структур.

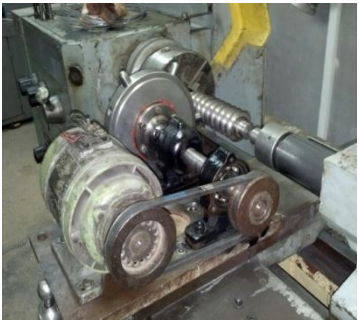
На основі тверджень запропоновано обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів (рис.1. [10]), який виконано у вигляді диска 1, що встановлено на осі 2 з можливістю кругового провертання. На периферії поверхні диска виконані рівномірно по колу циліндричні отвори 3 з певним кроком. В радіальних отворах 3 з можливістю осьового переміщення встановлені деформуючі пуансони 4, кінці яких виконані плоскими 5 і є загартовані і які є у взаємодії з

зовнішнім торцевим контуром гвинтового робочого органу 6. Крім цього центральний отвір 7 диска 1 заповнений під тиском мастилом 8.

Співвісно до зовнішньої поверхні диска 1 жорстко встановлено пружнє кільце 9 з відкритою зоною 10, де кінець зони виконано з радіальним виступом 11 для створення додаткового тиску на деформуючі пуансони 4, а кінець відкритої зони виконано з загостренням 12 для плавного заходу формувальних пуансонів 4. Крім цього з протилежної сторони від зони зміцнення зовнішньої поверхні гвинтовий робочий орган 6 є у взаємодії з опорним роликом 13 довжиною 3…5 витків шнека і з ним є у взаємодії при обертанні і вигладжуванні. Гвинтовий робочий орган 6 з двох кінців встановлено в центри 14 з під ставкою знизу 15 для забезпечення надійності технологічного зміцнення.



а)



б)

Рис. 1 – Конструктивна схема інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів а) та експериментальна установка для проведення досліджень б)

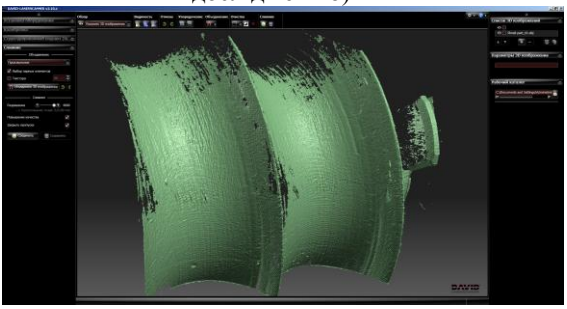


Рис. 2 – Результат 3D сканування частини поверхневого шару шнека

Обкатний інструмент обертається з високою швидкістю. Робоча частина деформуючих елементів при оброблені наносить численні удари, пластично деформуючи оброблювану поверхню і миттєво відскакують від неї. Крім удару деформуючі елементи за час контакту здійснюють вигладжування оброблюваної поверхні. Пластична деформація металу здійснюється керованою імпульсною дією, що забезпечується силою ударів системи бойків інструменту, що статично навантажений силою. Використання статичного підтискування інструменту до оброблюваної поверхні дозволяє збільшити її площу контакту з інструментом, сприяючи зменшенню спотворень ударного імпульсу, що передається і зменшуючи втрати енергії удару. Оскільки деталь в процесі обробки обертається, то сила створює контактні сили тертя. Довговічність і працездатність значною мірою визначаються шорсткістю гвинтової поверхні робочих органів. Підвищена шорсткість призводить до прискорення зносу робочих поверхонь деталей і зниження експлуатаційних характеристик передачі. Необхідна технічними умовами шорсткість гвинтових поверхонь робочих органів в межах Ra = 2,5 ÷ 0,8 мкм досягається при зміцненні поверхні. Для визначення параметрів поверхневого шару скористаємося наступною методикою:

- сканування поверхні шнека за допомогою 3D сканера David LaserScanner SLS-1 ззастосуванням програмного забезпечення David LaserScanner Professional Edition;
- обробка відсканованої поверхні за допомогою програми PowerShape;
- визначення необхідних геометричних характеристик відсканованої частини поверхні шнеку.

При скануванні отримуємо хмару точок, які об’єднуються в поверхню, результат проведеної роботи наведено на рис. 2.

Наступний етап у визначенні шорсткості та хвилястості поверхневого шару це виріз ділянки відсканованої поверхні розміром 10 х 10 мм в програмному забезпеченні PowerShape, з якою в подальшому проведено дослідження. Результат роботи наведено на рис. 3. Для отримання профілограм в поздовжньому (вздовж осі шнеку) і поперечному (на циліндричній поверхні шнеку) необхідно побудувати дві перпендикулярні площини (рис. 4.), що будуть розрізати ділянку.

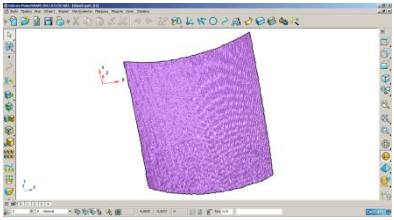


Рис. 3 – Фрагмент ділянки розміром 10 х 10 мм

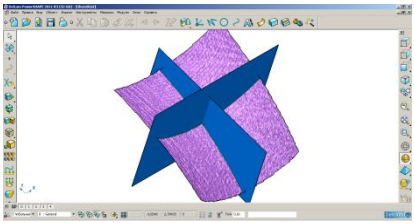


Рис. 4 – Побудовані дві перпендикулярні площини, що розрізають дослідну ділянку

Скористаємося функціональними можливостями програми PowerShape і утворимо дві криві лінії в місцях перетину площин з ділянкою. В результаті отримаємо дві профілограми (рис. 5).

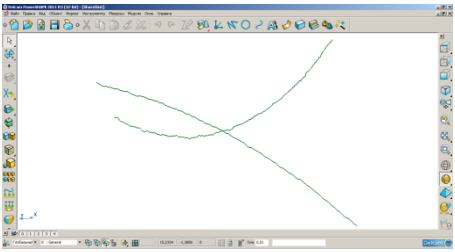


Рис. 5 – Дві профілограми ділянки поверхні шнеку

В подальшому необхідно побудувати центральну лінію, що проходить крізь профілограму та провести перпендикуляри, які будуть сполучати вершини чи впадини з центральною лінією. Варто відмітити, що в нашому випадку профілограми та відповідно центральні лінії мають форму дуги, оскільки дослідна ділянка має кривизну таку як і поверхня шнеку. Фрагмент поздовжньої профілограми з точками (вершинами і впадинами) зображено на рис. 6. Аналогічні операції проводимо і з поперечною профілограмою, фрагмент якої з точками вершин і впадин зображено на рис. 7.

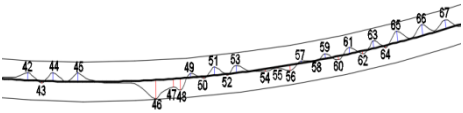


Рис. 6 – Фрагмент поздовжньої профілограми з точками вершин та впадин

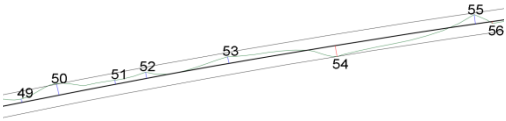


Рис. 7 – Фрагмент поперечної профілограми з точками вершин та впадин

Далі визначаємо довжини перпендикулярів від впадин чи вершин до центральної лінії і результати. Скористаємося формулою визначення шорсткості: $R_a = \frac{\sum_i^n |Y_i|}{n}$, де n – кількість точок (в нашому випадку 107);

$\sum_i^n |Y_i|$ – сума довжин усіх перпендикулярів (в нашому випадку 2038 мкм).

Отже,

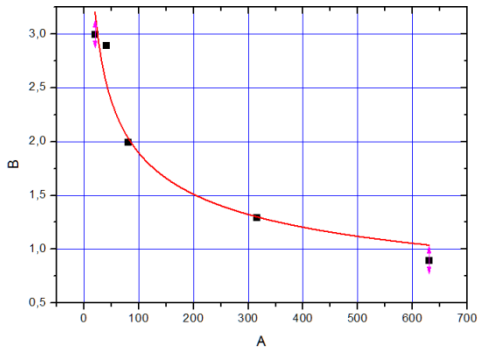
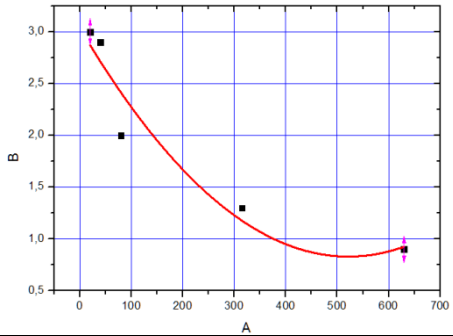
$$R_{a_1} = \frac{203,8}{107} = 1,905 \text{ (мкм).} \qquad R_{a_2} = \frac{104,7}{64} = 1,6 \text{ (мкм).}$$

Аналіз результатів експериментальних досліджень за допомогою пакету OrginPro8 здійснювався шляхом апроксимації аналітичними залежностями різних видів, зокрема степеневими функціями типу $y = a \cdot x^{-b}$, $y = a - b \cdot x + c \cdot x^2$ і $y = a\ 1 + x^{-b}$, які найточніше описують результати експериментальних досліджень. Методика визначення аналітичної залежності полягає в тому, що за результатами експериментальних даних на координатну площину в середовищі OrginPro8 наносять точки $R_a = f\ n$, в даному випадку в кількості 4. Використовуючи функцію апроксимації, знаходять такий вид степеневої функції, значення якої проходять максимально близько від значень отриманих в результаті експериментальних досліджень.

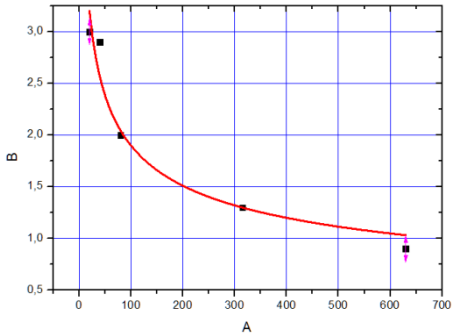
Визначивши тип функції, якою будуть апроксимувати експериментальні дані, знаходять її параметри (коефіцієнти та показники степеня). Отримавши всі значення параметрів функції апроксимації, будують теоретичну залежність $R_a = f\ n$ при тих самих значеннях змінного параметра n. Після цього визначають різницю між експериментальними значеннями та значеннями отриманими за запропонованими степеневими функціями.

Визначають відносну похибку між отриманими значеннями, яку представляють у відсотках та порівнюють ці значенні між собою. Функція, яка забезпечує найменшу похибку і буде шуканою, яка описує залежність $R_a = f\ n$.

Таблиця – Результати дослідженн

Частота обертання, *n*	20	40	80	315	630
Значення пара метра шорсткості	3	2,9	2	1,3	0,9
Графічне представлення					
Аналітичне представлення	$R_a = 8,528 \cdot n^{-0,326}$				
Значення параметра шорсткості за формулою	3,20496	2,556	2,037	1,302	1,03836
Різниця значень	-0,205	0,344	-0,037	-0,002	-0,138
Відносна похибка у %	6,8	11,8	1,85	0,15	17,25
Графічне представлення					
Аналітичне представлення	$R_a = 3,038 - 0,008 \cdot n + 8 \cdot 10^{-6} \cdot n^2$				
Значення параметра шорсткості за формулою	2,872	2,713	2,413	1,177	0,925
Різниця значень	0,128	0,187	-0,413	0,123	-0,025
Відносна похибка у %	4,26	6,44	20,65	9,46	0,14

Продовження табл.

Графічне представлення					
Аналітичне представлення	$R_a = 8{,}811\ 1 + n^{-0{,}332}$				
Значення параметра шорсткості за формулою	3,2	2,563	2,043	1,299	1,032
Різниця значень	-0,2	0,337	-0,043	0,0009	-0,132
Відносна похибка у %	6,66	11,6	2,15	0,07	14,6

Для оцінки шорсткості дослідної ділянки поверхні вважаю за доцільне усереднити отримані показники шорсткості знайшовши їх середнє арифметичне, тобто:

$$R_a = \frac{R_{a_1} + R_{a_2}}{2} = \frac{1{,}905 + 1{,}635}{2} = 1{,}77 \text{ (мкм)}.$$

Скориставшись таблицею стандартно прийнятих величин *Ra*, можна визначити, що дослідна ділянка має шорсткість в межах *Ra* 1,6 та *Ra* 2,0.

Висновки. Встановлено, що із збільшенням зовнішнього тиску шорсткість поверхні знаходиться в межах Ra = 1,6 мкм та Ra = 2,5мкм, при цьому подальшого зниження шорсткості не відбувається. Тому збільшення швидкості інструменту понад 1,8 ... 2,0 м/с недоцільно, так як при практично незмінній шорсткості споживана потужність значно зростає. Виконані дослідження показали, що при обробці гвинтових поверхонь деталей, необхідна шорсткість досягається в межах Ra=2,5÷1 мкм.

Література.

1. Сырье для брикетирования топливных брикетов [Электронный ресурс]: (Сайт) / Топливные брикеты. Оборудование для производства топливных брикетов. – Электорон. дан. – 2016.

2. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б. И Костецкий. – М. : Машгиз, 1959. – 478 с.

3. Измалков Л. И. К вопросу об оптимальной чистоте поверхности деталей шнекпрессов / Л.И. Измалков // Пищевая технология. – 1959. – № 3.

4. Гончар В.А. Підвищення зносостійкості і довговічності екструдерів для переробки фуражного зерна з домішками мінералів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.02.04 – «Тертя та зношування в машинах» / В.А. Гончар. – Хмельницкий, 2014. – 20 с.

5. Гончар В.А. Дослідження зносостійкості азотованої сталі Х12 в корозійно-абразивному сере- довищі / В.А. Гончар // Інформатика та механіка : тези доповідей VIII українсько-польської конференції молодих науковців. – Хмельницький, 2011. – С. 45-46.

6. Износ оборудования при переработке пластмасс / [Стамбурский Е.А. Бейль А.И., Кар- ливан В. П., Беспалов Ю.А.]. – М.: Химия, 1985. – 208 с.

7. Войтов В.А., Експериментальна оцінка впливу факторів на зношування та сумісність матеріалів деталей екструдера / В.А. Войтов, Б.М. Цимбал// Проблеми трибології (Problems of Tribology) Харківський національний технічний університет с/г ім. П. Василенка, –Харків 2016, № 1– С. 90-99.

8. Briquettes de biomasse de presse [Ressource électronique]: (Site Web) // Anyang Gemco Energy Machinery Co., Ltd. - Mode d'accès: WWW.URL: www.biodiesel-machine.com/fr/biomass-briquettepress.html. - Dernière visite: 2016. - Titre de l'écran.

9. Васильків В.В. Види зношення спіралей гвинтових робочих органів / В.В. Васильків, Д.Л. Радик // Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 197 – 202.

10. Патент на корисну модель № 108422. Україна, МПК(2006.01) B24B 39/04. Обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів/ Ляшук О.Л.; Сокіл М.Б.; Третьяков О.Л.; Навроцька Т.Д.; Клендій В.М.; Марчук Р.М. (Україна). – u201601511. Заявл. 18.02.2016.; Опубл. 11.07.2016р., Бюл.№13.- 4с.;

Рецензент д.т.н. Б.М.Гевко