

УДК 621.926.34

Б.В. ВІНОГРАДОВ, д-р техн. наук,

І.І. НАЧОВНИЙ, канд. техн. наук,

І.О. ОСТАШКО

(Україна, Дніпро, Державний ВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет")

ВІДЦЕНТРОВИЙ МЛИН ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ ЗАЛИШКІВ ПІРОЛІЗУ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

Вступ. В даний час широкого поширення набув спосіб утилізації зношених шин методом піролізу. У результаті піролізу одержують рідкі й газоподібні вуглеводні, що використовуються в якості палива, а також твердий залишок піролізу (ТЗП) котрий містить 80-90% вуглецю [1]. Дослідження показали, що подрібнений твердий залишок піролізу до розмірів близько 10 мкм, в ряді випадків може бути використаний як альтернатива промислового технічного вуглецю. Наприклад, при виготовленні нашпальних прокладок рейкових шляхів заміна 50% технічного вуглецю П-803 на подрібнений ТЗП не призводить до погіршення їх якості [2]. Отже, отримання класу близько 10 мкм при мінімальних питомих енерговитратах є важливою технічною та технологічною задачею.

Метою роботи є розробка та обґрунтування параметрів відцентрового млина для тонкого подрібнення твердих залишків піролізу зношених автомобільних шин при мінімальних питомих енерговитратах.

Аналіз основних досягнень і літератури. В ДВНЗ УДХТУ розроблено та досліджено відцентровий млин з робочим органом, що дозволяє здійснювати тонке подрібнювання ТЗП з відносно низькими питомими енерговитратами. Загальний вид млина наведено на рис. 1 [3].

Модельний відцентровий млин містить порожнистий вал 1 з робочим органом 2, периферійна частина якого створює бильний елемент 4, що закріплений на валу 1, котрий розташований у підшипниковому вузлі 3. До нижньої частини підшипникового вузла 3 прикріплений розвантажувальний пристрій 5, що виконано у формі відцентрового вентилятора з робочим колесом 6. Вихідний патрубок 7 розвантажувального пристрою 5 обладнаний засувкою. Передня стінка розвантажувальної камери 5 виконана у формі шайби 8, що утворює кільцевий зазор навколо порожнистого валу 1 та сполучає робоче колесо 6 з помольною камерою 9. Патрубок завантажувального пристрою 10 розташований з зазором в порожнистому валу 1. Завантажувальний пристрій 12 кріпиться до корпусу підшипникового вузла 3. В верхній частині порожнистого валу 1, між завантажувальним пристроєм 10 і підшипниковим вузлом 3 установлений шків 11, з'єднаний клиновим ременем 12 зі шківом 13, який закріплений на валу електродвигуна 14. Підшипниковий вузол 3 та електродвигун 14 змонтовані на стійці 15.

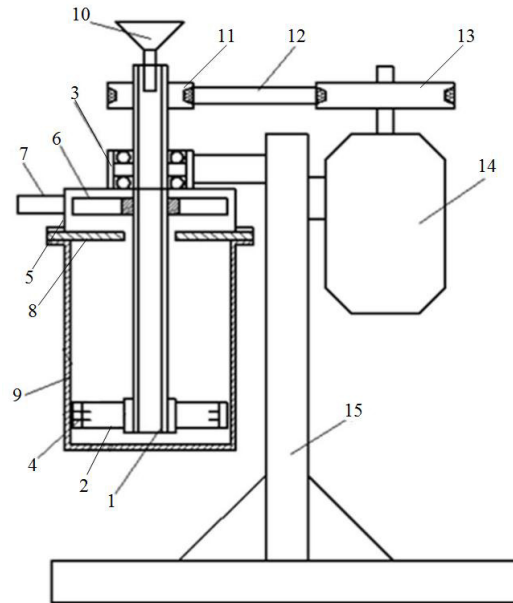


Рис. 1. Відцентровий млин ударної дії

При вмиканні електродвигуна 14 порожнистий вал 1, через передачу, що складається із шківів 11 і 13 та клинових ременів 12, отримує обертовий рух разом з робочим колесом 6 та робочим органом ротора 2. Матеріал за допомогою завантажувального вузла 10 через патрубок та порожнистий вал 1 надходить до помольної камери 9 і через кільцевий зазор шайби 8 за допомогою робочого колеса розвантажувального пристрою 6 подається до вихідного патрубку 7. Регулювання режиму роботи здійснюється за допомогою засувки розташованої на патрубку 7. При зменшенні продуктивності за допомогою засувки час перебування матеріалу в помольній камері збільшується і відповідно крупність подрібненого матеріалу зменшується.

Особливістю конструкції запропонованого млина є форма робочого органу та спосіб відвантаження готового класу, що дає змогу суттєво знизити питомі енерговитрати на процес подрібнення, а також проводити класифікацію подрібнюваного матеріалу безпосередньо в самому млині.

Експериментальні дослідження показали, що найбільш раціональним є робочий орган з чотирма більними елементами. Питомі енерговитрати на процес подрібнення до заданого класу робочим органом з двома більними елементами в 2,2 рази вищі, за робочий орган з чотирма більними елементами. Одночасно зі зниженням питомих енерговитрат збільшення більних елементів з двох до чотирьох призводить до підвищення продуктивності процесу подрібнення. Подальше збільшення кількості більних елементів не збільшує продуктивності при збільшенні питомих енерговитрат. Це може бути обумовлене тим, що при двох більних елементах робочий орган не охоплює всю зону інтенсивного подрібнення, а при більшій кількості виходить за цю зону.

Попередні дослідження показали: зона інтенсивного подрібнення знахо-

Підготовчі процеси збагачення

диться в області периферійної ділянки робочого органу (поблизу стінок помольної камери), залежить від частоти обертання ротора і складає 15-35% довжини робочого органу; раціональний зазор між бильними елементами складає 3-5 мм, Розрахунки на міцність підтвердили доцільність замкнутої конструкції робочого органу. Зважаючи на це було розроблено нову конструкцію робочого органу (рис. 2) в основу якої покладено ідею зниження енерговитрат на процес надтонкого подрібнення за рахунок зміни механізму руйнування частинок.

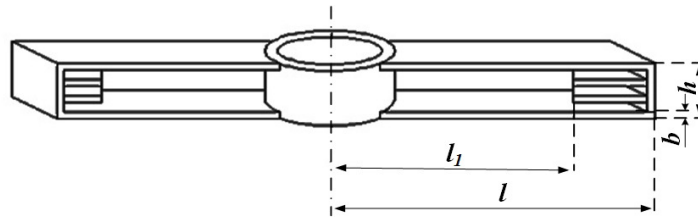


Рис. 2. Конструкція робочого органу з 4-ма бильними елементами

Експериментальні дослідження показали, що найменшим питомим енерговитратам відповідають зазор між бильними елементами 4 мм, довжина яких складає 14-36% від радіусу робочого органу при відповідних кутових швидкостях обертання $492-132 \text{ c}^{-1}$ [4].

У зв'язку з відсутністю лопатей на робочих органах та малою їх поверхнею втрати на подолання гідродинамічних опорів будуть значно меншими в порівнянні з типовими конструкціями, а розташування кільцевого зазору та розвантажувального пристрою над помольною камерою дозволить більш ефективно здійснювати сепарацію подрібненого матеріалу.

Аналіз зображення зразків подрібненого ТЗП рис. 3, що отримане за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-106І, показав, що кінцевий продукт подрібнення на виході з відцентрового млина має розміри частинок менше 30 мкм.

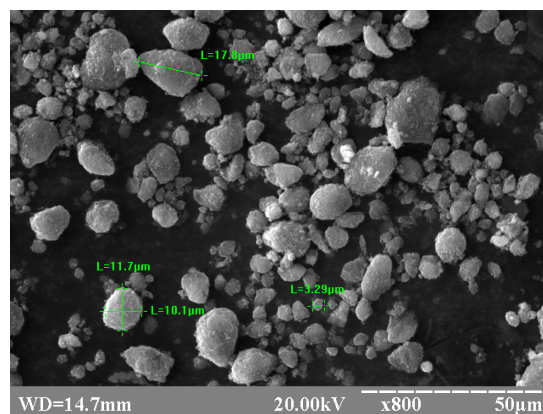


Рис. 3. Зображення ТЗП з рукавного фільтру отримане за допомогою РЕМ-106І

Для отримання залежності розподілу частинок матеріалу по класам була проведена обробка зображення з електронного мікроскопу за допомогою нанесення на нього еталонної сітки, аналогічно сити, та визначено розміри частинок ТЗП. На рис. 4 наведено данні аналізу дисперсного складу ТЗП уловленому рукавним фільтром.

В результаті аналізу зображень з мікроскопу отримали, що середній діаметр подрібненого матеріалу у циклоні складає 15,6 мкм, а у рукавному фільтрі 9,8 мкм.

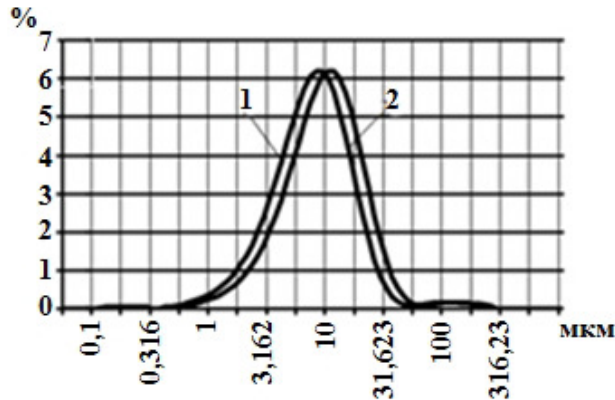


Рис. 4. Гранулометричний склад подрібненого ТЗП визначений методом електронної мікроскопії: 1 – циклон; 2 – рукавний фільтр

Споживання енергії при подрібненні для млина з діаметром помольної камери 0,3 м та її завантаженні на рівні 25 % об'єму складає 11,5 кВт·год/т. Млин з вищенаведеними параметрами дає змогу отримувати 320 кг на добу

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень отримана загальна формула для визначення потужності, що споживається робочим органом на процес подрібнення ТЗП [5].

$$N = 2,31 \cdot \xi \cdot \rho_c \cdot d_{cp}^{0,3} \cdot A_0 \cdot \omega_p, \quad (1)$$

де ξ – коефіцієнт лобового опору, (залежить від профілю); ρ_c – щільність середовища, у якому обертається робочий орган (кг/м^3); d_{cp} – середній діаметр часток матеріалу; ω_p – кутова швидкість ротора; A_0 – геометричні параметри робочого органу

$$A_0 = b \cdot \left(\frac{1}{8} l^4 + \frac{1}{2} l_2 \cdot l^3 + \frac{1}{4} \cdot (l^4 - (l - l_1)^4) \right), \quad (2)$$

де l, l_1, b – геометричні параметри робочого органу (рис. 2).

Вищерозглянутий млин є модельним, тобто млином на якому проводилися ви-

Підготовчі процеси збагачення

пробування и визначалися його раціональні параметри та закономірності процесу подрібнення ТЗП до класу менше 10 мкм (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри модельного млина		
Найменування параметра	Позначення	Значення
1	2	3
Продуктивність	Q_M	327 кг/добу
Діаметр помольної камери	D_M	0,3 м
Висота помольної камери	H_M	0,3 м
Ступінь заповнення помольної камери	V_M / V_k	0,27
Кутова швидкість робочого органу	ω_M	375 c^{-1}
Довжина бильної ділянки робочого органу	l_M	0,145 м
Висота робочого органу	h_M	0,05 м
Товщина бильного елемента	b_M	0,003 м
Споживана потужність на процес подрібнення	N_M	3,57 кВт
Середній діаметр часток матеріалу в помольній камері	d_{cp}	$46 \cdot 10^{-6}$ м.
Середня діаметр часток матеріалу на виході млина	d_{cp}	$9,8 \cdot 10^{-6}$ м.

Для визначення основних параметрів відцентрового млина з заданою продуктивністю Q_H , який надалі будемо називати натурним, скористаємося методами теорії подібності.

Припускаючи, що відношення продуктивності натурального і модельного млинів пропорційні відношенню діаметрів їх помольних камер, дістанемо:

$$\frac{Q_H}{Q_M} = \frac{D_H}{D_M}. \quad (3)$$

Звідки, визначмо діаметр робочої камери

$$D_H = D_M \cdot \frac{Q_H}{Q_M}, \quad (4)$$

де Q_H , D_H – продуктивність та об'єм матеріалу у натурному млині; Q_M , D_M – продуктивність та об'єм матеріалу у модельному млині.

Введемо наступні критерії подібності:

Геометрична подібність передбачає подібність геометричних розмірів і кутів відцентрових млинів.

$$k_{г.п.} = \frac{D_H}{D_M} = \frac{H_H}{H_M} = \frac{l_H}{l_M} = \frac{h_H}{h_M} = \frac{b_H}{b_M}, \quad (5)$$

де $k_{\text{г.н.}}$ – геометричний коефіцієнт подібності; D_H, H_H, l_H, h_H, b_H – діаметр і висота помольної камери, довжина висота та товщина робочого органу натурального відцентрового млина; D_M, H_M, l_M, h_M, b_M – то же для модельного млина.

Коефіцієнт динамічної подібності знайдемо з умов рівності сил інерції, що діють на частку матеріалу масою m модельного та натурального відцентрового млина.

$$m \cdot \omega_M^2 \cdot l_M = m \cdot \omega_H^2 \cdot l_H. \quad (6)$$

де $l_M = 0,48 D_M, l_H = 0,48 D_H$ – довжина робочого органу модельного та натурального відцентрових млинів; D_M, D_H – діаметри робочої камери модельного та натурального млина.

Тоді, коефіцієнт динамічної подібності дорівнює:

$$k_{\text{д.н.}} = \frac{\omega_H^2}{\omega_M^2} = \frac{D_M}{D_H}. \quad (7)$$

Для визначення потужності, що споживається робочим органом на подрібнення твердих залишків піролізу зношених автомобільних шин, візьмемо формулу (1). Натурний млин буде мати енергетичні характеристики подібні модельному млину при умові збереження динамічної подібності. На підставі формули (5) визначимо, кутову швидкість натурального відцентрового млина, що має задану продуктивність Q_H та робочий орган діаметром D_H .

$$\omega_H = \omega_M \cdot \sqrt{\frac{D_M}{D_H}}. \quad (8)$$

Тоді, потужність, що споживається робочим органом, натурального млина визначається за формулою:

$$N = 2,31 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot d_{\text{ср}}^{0,3} \cdot A_{0H} \cdot \omega_M \cdot \sqrt{\frac{D_M}{D_H}}, \quad (9)$$

де A_{0H} геометричні параметри робочого органу натурального млина, що можуть бути обчислені в метрах за формулою (2).

Розрахунки показують, що залежність параметра A_0 від діаметра робочої камери $D_{M(H)}$ можна представити лінійною функцією $A_{0M(H)} = \chi D_{M(H)}$, де $\chi = 3,42 \cdot 10^{-4}$ – коефіцієнт пропорційності (рис. 5).

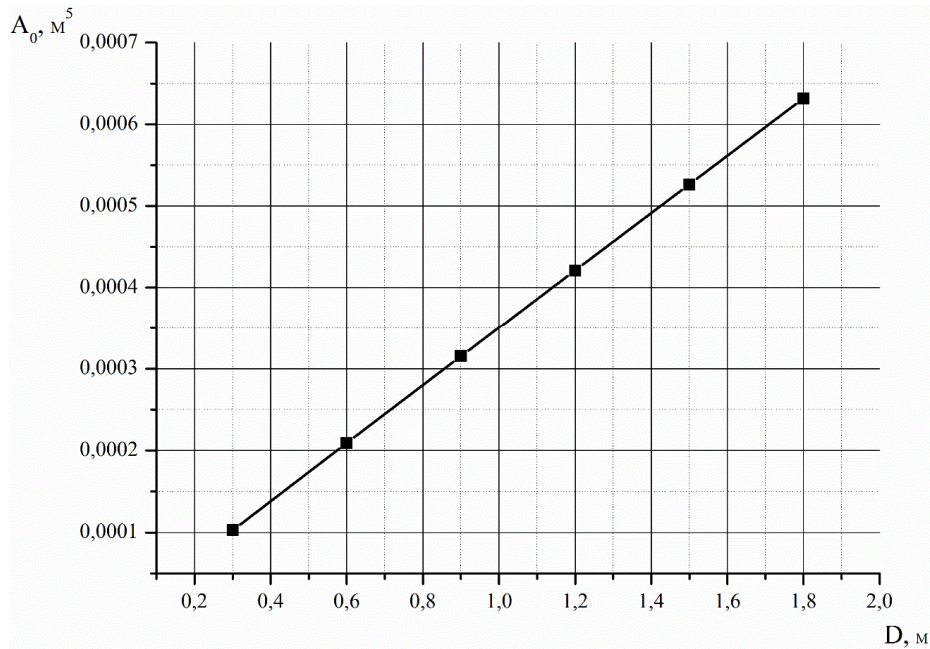


Рис. 5. Залежність A_0 від діаметру помольної камери

Тоді формулу (4) можемо представити у вигляді:

$$N = 2,31 \cdot \rho_{cp} \cdot d_{cp}^{0,3} \cdot \omega_M \cdot \chi \cdot D_M \sqrt{\frac{Q_H}{Q_M}}, \quad (10)$$

На підставі рівняння (1) дістанемо

$$\frac{N_H}{N_M} = \frac{A_{0H}}{A_{0M}} \cdot \frac{\omega_{pH}}{\omega_{pM}}. \quad (11)$$

де величини з індексом M та H відносяться відповідно до модельного та натурального млина.

Враховуючи залежність (6), отримаємо:

$$N = \sqrt{\frac{D_H}{D_M}}. \quad (12)$$

Отже потужність, що споживається робочим органом відцентрового млина подібного модельному залежить від діаметру робочого органу і камери в степені 0,5.

Як приклад, визначимо основні геометричні параметри та потужність двигуна відцентрового млина подібного модельному і призначеного для подрібнення ТЗП продуктивністю $Q_H = 20$ т/добу.

За формулою (4) визначимо необхідний діаметр і висоту робочої камери:

$$D_H = D_M \cdot \frac{Q_H}{Q_M} = 0,3 \cdot \frac{2}{0,237} = 2,53, \text{ м.}$$

Кутова швидкість обертання робочого органу визначаємо за формулою (5)

$$\omega_H = \omega_M \cdot \sqrt{\frac{D_M}{D_H}} = \sqrt{\frac{0,3}{2,53}} \cdot 372 = 128, \text{ с}^{-1}.$$

Потужність, що споживається робочим органом визначається на підставі виразу (7)

$$N_H = N_M \cdot \sqrt{\frac{Q_H}{Q_M}} = 3699 \cdot \sqrt{\frac{2}{0,237}} = 10745, \text{ Вт.}$$

При к.п.д. механічної передачі млина $\eta=0,8$ потужність двигуна відцентрового млина дорівнює:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_H}{\eta} = \frac{10745}{0,8} = 13431, \text{ Вт.}$$

Висновки

1. Розроблено відцентровий млин з робочим органом, що забезпечує надтонке подрібнення твердих залишків піролізу зношених автомобільних шин з відносно низькими питомими енерговитратами.

2. Наведені основні параметри модельного відцентрового млина, зокрема його робочого органу. Отримані аналітичні залежності споживаної потужності від швидкості обертання геометричних параметрів робочого органу та властивостей подрібнюваного матеріалу.

3. На підставі теорії подібності представлена методика перерахунку параметрів модельного відцентрового млина на натурний в залежності від його заданої продуктивності.

Список літератури

1. Виноградов, Б.В., Осташко И.А., Емельяненко В.И. Измельчение твердых остатков процесса пиролиза изношенных автомобильных шин в центробежной мельнице / Б.В. Виноградов, // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. – №2. – С. 159-161.

2. Виноградов Б.В., Осташко И.А. Об энергетических характеристиках центробежных мельниц с S-образным рабочим органом // Вісник НТУ "ХПІ". – 2009. – № 25. – С. 164-169.

3. Повышение эффективности применения твердого остатка пиролиза изношенных шин в качестве наполнителя эластомерных материалов / Б.В. Виноградов, И.А. Осташко,

Підготовчі процеси збагачення

Ю.Н. Ващенко, В.И. Емельяненко // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – №1. – С. 199-202.

4. Осташко І.О., Виноградов Б.В. Динаміка механічної системи відцентрового млина // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – №6. – С. 218-220.

5. Виноградов, Б.В., Осташко И.А. Дослідження робочого органу відцентрового млина // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – №5. – С. 182-184.

© Виноградов Б.В., Начовний І.І., Осташко І.О., 2017

Надійшла до редколегії 12.09.2017 р.

Рекомендовано до публікації к.т.н. К.А. Левченко