

УДК 621.791.927.55:666.7.032.62

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ РОЗЧИНОНАСОСІВ

А.В. КАЛАШНИКОВ, В.Б. НАДОБКО

(Полтавський технічний університет)

Надійність роботи розчинонасосів, у першу чергу, обумовлена терміном довговічності деталей циліндро-поршневої групи, зокрема штока поршня та циліндра, які зазнають абразивного спрацьовування внаслідок безпосереднього контакту з дрібними мінеральними частками, що входять до складу будівельних розчинів, тобто піску.

Основними факторами впливу на швидкість спрацьовування поверхні тертя цих деталей є розмір ( $d$ , mm) та твердість ( $HV$ , GPa) абразивних часток. Піски з різних регіонів поставки відрізняються один від одного. Тому виникла необхідність дослідити ймовірність контакту частки мінералу з певними розмірами  $d$  та твердістю  $HV$  з поверхнею тертя  $\Delta F$ , а ця ймовірність є одночасно і ймовірністю експлуатації розчинонасоса в певному регіоні. Ймовірність контакту часток конкретного мінералу на поверхню  $\Delta F$  визначається як повна ймовірність настання події за формулою:

$$P(A) = P(B_1) \cdot PB_1(A) + P(B_2) \cdot PB_2(A) + \dots + P(B_n) \cdot PB_n(A), \quad (1)$$

де  $P(A)$  – повна ймовірність події  $A$  (попадання частки на площу  $\Delta F$ );

$P(B_1) \dots P(B_n)$  – ймовірність виникнення події  $B$  – гіпотези (ймовірність попадання насоса в один із 15 регіонів поставки піску);

$PB_n(A)$  – умови ймовірності виникнення події  $A$  в гіпотезі  $B_n$ .

Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл твердості мінералів у будівельних пісках України

| № з/п | Назва мінералів | Твердість, GPa | P(A)    |
|-------|-----------------|----------------|---------|
| 1     | Гіпс            | 0.29           | 0.00002 |
| 2     | Вапняк          | 1.23           | 0.00795 |
| 3     | Флюорит         | 1.72           | 0.00507 |
| 4     | Доломіт         | 3.61           | 0.00502 |
| 5     | Манганіт        | 5.73           | 0.00267 |
| 6     | Гематит         | 5.91           | 0.00166 |
| 7     | Хольцедон       | 9.07           | 0.00063 |
| 8     | Кремій          | 9.49           | 0.05629 |
| 9     | Кварцевий пісок | 9.52           | 0.90069 |
| 10    | Кварцит         | 11.07          | 0.00899 |
| 11    | Сірий граніт    | 13.62          | 0.00364 |

|    |  |       |         |
|----|--|-------|---------|
| 12 | Червонобурий граніт                      | 14.16 | 0.00149 |
| 13 | Топаз                                    | 14.45 | 0.00130 |
| 14 | Граніт рожевий                           | 15.58 | 0.00076 |
| 15 | Граніт рожевий з прошарком оксиду заліза | 16.46 | 0.00228 |
| 16 | Корунд                                   | 21.35 | 0.00001 |
| 17 | Рубін                                    | 23.38 | 0.00010 |

Математично сподівану величину твердості ( $M$ ) знаходимо за формулою:

$$M = P(A_1) \cdot A_1 + P(A_2) \cdot A_2 + \dots + P(A_n) \cdot A_n, \quad (2)$$

де  $P(A_n)$  – ймовірність контакту частки  $n$ -мінералу з поверхнею  $\Delta F$ ;

$A_n$  – твердість  $n$ -го мінералу.

За результатами розрахунків  $M=9.53$  GPa, що відповідає умовній середній твердості кварцевого піску.

Найбільш повною характеристикою дисперсного складу піску є розподіл часток за розмірами. Спостереженнями встановлено, що розподіл фракцій часток піску за їх розмірами у більшості випадків має один явно виражений максимум асиметричної форми з крутим спадом у бік дрібних і пологим – у бік крупних часток.

Для розрахунків асиметричних кривих розподілу часток використано формулу Колмогорова:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2 \cdot \delta^2}}, \quad (3)$$

де  $f(x)$  – щільність розподілу ймовірності безперервної випадкової величини;

$\mu$  – математичне сподівання натурального логарифму безперервно-випадкової величини;

$\delta$  – середньоквадратичне відхилення логарифму безперервно-випадкової величини.

Ймовірність зустрічі часток даного діаметра в пісках родовищ знаходимо по залишках на стандартних ситах, виражених у відсотках до маси.

Визначаємо математично-сподівану величину логарифма розміру частки для кожного родовища:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \ln x_{ij} (P_{ij}), \quad (4)$$

де  $i$  – номер регіону поставки;

$j$  – кількість фракцій в піску;

$x$  – середній розмір фракцій.

Математичне сподівання логарифма розміру для всіх регіонів:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i. \quad (5)$$

Середнє квадратичне відхилення для кожного регіону поставки визначено залежністю:

$$d_i = \sum_{j=1}^n (\ln x_{ij} - \mu_i)^2 P_{ij}. \quad (6)$$

Середнє квадратичне відхилення для всіх регіонів поставки становить:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d_i}{i-1}}. \quad (7)$$

У відповідності з наведеними формулами за допомогою ПЕОМ визначено параметри розподілу розмірів часток у будівельних пісках України в кожному з регіонів поставки (таблиця 2).

На основі проведеної обробки статистичних даних можна стверджувати, що найбільша ймовірність вступу у контакт часток піску з твердістю  $HV 9.52 \text{ GPa}$  та крупністю  $d=0,3 \text{ mm}$ . Ймовірність контакту по твердості  $P(A)=0.90069$ , а математичне сподівання по крупності  $M1=0.297$ . Ці результати покладено у основу проведення досліджень.

Вивчення процесу абразивного спрацьовування пари тертя "плунжер-циліндр" у присутності води та абразиву між поверхнями тертя при перекачуванні будівельних розчинів практично ніким не проводилось. Існує декілька робіт присвячених цьому питанню, але тільки для бурових насосів.

Таблиця 2 – Щільність ймовірностей розмірів піску по Україні, враховуючи всі регіони поставок

$$0 < d < 1.3$$

| Номери точок | Крупність d, mm | Щільність f(x) | Математичне сподівання |
|--------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 1            | 0.1             | 0.515          |                        |
| 2            | 0.2             | 2.118          |                        |
| 3            | 0.3             | 2.315          |                        |
| 4            | 0.4             | 1.771          |                        |
| 5            | 0.5             | 1.191          |                        |
| 6            | 0.6             | 0.762          | M1=0.3974195           |
| 7            | 0.7             | 0.479          |                        |
| 8            | 0.8000001       | 0.301          |                        |
| 9            | 0.9000001       | 0.19           |                        |
| 10           | 1.0             | 0.121          |                        |
| 11           | 1.1             | 0.078          |                        |
| 12           | 1.2             | 0.051          |                        |
| 13           | 1.3             | 0.034          |                        |

При перекачуванні будівельних розчинів процес спрацьовування – це тертя при напіврідкому змащуванні у присутності абразиву, яким виступають мінеральні високоміцні частки. При такому виді тертя дві поверхні повністю або частково розділені одна від одної плівкою рідини з включенням абразивних часток, що руйнують цю плівку і вступають у взаємодію з поверхнею.

Рушійними тілами при цьому виді спрацьовування є мінеральні високотверді частки з неметалевими зв'язками, для яких адгезія та зчеплення дуже незначні, що обумовлює відносну простоту фізичних поцесів, які викликають спрацьовування.

На основі аналізу недоліків існуючих теорій оцінювання швидкості спрацьовування під впливом різних факторів пропонується формула інтенсивності спрацьовування залежно від фізичних властивостей поверхні тертя:

$$h = c \cdot \frac{\rho \cdot d \cdot t}{\rho \cdot HV \cdot (1 - \bar{I} / 100) \cdot \pi \cdot D}, \quad (8)$$

де  $h$  – висота шару, що спрацьовується за весь період експлуатації плунжера;

$p$  – тиск, МПа;

$S$  – шлях тертя, м;

$d$  – діаметр абразиву, мм;

$HV$  – твердість поверхні тертя, МПа;

$c$  – коефіцієнт пропорційності (залежить від властивостей пари тертя);

$t$  – час спрацьовування, h;

$\rho$  – щільність порошку,  $\text{kg/m}^3$ ;

$\Pi$  – пористість покриття, %;

$D$  – діаметр плунжера, мм.

При використанні газотермічних покриттів (ГТП) для створення стійких абразивному спрацьовуванню поверхонь ця формула дає можливість з достатньою достовірністю прогнозувати їх довговічність.

Коефіцієнт пропорційності (спрацьовування) " $c$ " є і критерієм спрацьовування для різних матеріалів. Він визначався для певних матеріалів на основі експериментів, а його величина знаходиться у межах 1.0...2.0 (таблиця 3).

Такі величини, як  $h$ ,  $D$ ,  $t$ ,  $p$ ,  $d$  – легко піддаються вимірюванню, а  $\rho$ ,  $\Pi$ ,  $HV$  – зв'язані між собою факторами технології нанесення покриття (до яких відносяться:  $I$  – сила струму у плазмотроні, А;  $L$  – дистанція напилення, мм;  $G$  – витрати плазмоутворюючого газу,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $J$  – витрати порошку,  $\text{kg/h}$ ) та хімічного складу порошку, що забезпечується концентрацією компонентів " $C$ ".

Таблиця 3 – Визначення коефіцієнта спрацьовування для ГТП, виконаних різними матеріалами

| № з/п | Марка покриття                                   | И, mG/h | HV, GPa | p, МПа | d, mm | n, 1/min | Величина коефіцієнта "с" |
|-------|--|---------|---------|--------|-------|----------|--------------------------|
| 1     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +25% ПХ20Н80      | 10.01   | 9.63    | 2.5    | 0.315 | 120      | 1.02                     |
| 2     | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 25%<br>Ю 20І 80 | 9.17    | 11.27   | —      | —     | —        | 1.09                     |
| 3     | TiC+25% ПХ20Н80                                  | 9.02    | 16.43   | —      | —     | —        | 1.57                     |
| 4     | В <sub>4</sub> С+25%Ni                           | 7.72    | 24.21   | —      | —     | —        | 1.98                     |
| 5     | Сталь 20 цемент. ТВЧ HRC 58...62                 | 15.84   | 6.14    | —      | —     | —        | 1.03                     |

За математичну модель процесу, що описує інтенсивність спрацьовування, прийнято поліном другого степеня:

$$y(a, x) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + \dots + a_n \cdot x_n + a_{n+1} \cdot x_1^2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n^2 + a_{2n+1} \cdot x_1 \cdot x_2 + \dots + a_k \cdot x_{n-1} \cdot x_n \quad (9)$$

Кінцевою метою розробки абразивностійкого газотермічного покриття є забезпечення необхідної довговічності плунжера диференціального розчинонасоса для перекачування будівельних розчинів. Гарантований ресурс плунжерної пари в умовах абразивного спрацьовування – основний критерій ГТП.

Для забезпечення довговічності роботи газотермічного покриття поверхні тертя використано порошок карбіду бора, плакований нікелем, який має найменшу інтенсивність спрацьовування у порівнянні з іншими матеріалами.

Основою для одержання порошку карбіду бора використано відходи виробництва. Крупність фракції сировини становить 5...15 мкм.

З метою захисту часток порошку карбіду бора від дії високої температури плазми їх поверхня попередньо плакувалась нікелем. Концентрація нікелю приймалась у відсотках від ваги порошку, а у відповідності з вимогами технології по створенню ГТП було проведено його грануляцію (80...120 мкм). В основу технології грануляції покладено рекомендації Інституту матеріалознавства НАН України, де пластифікатором використано 5 % розчин картопляного крохмалу.

Нанесення ГТП на деталь проведено у плазмі продуктів горіння. Ідеологічно ця технологія заснова на використанні плазми продуктів горіння вуглеводневих газів, а апаратно – на використанні плазмотрона з видовженою електричною дугою. На відміну від плазмових струменів,

утворених традиційними методами, плазмовий струмінь продуктів горіння має довшу високотемпературну зону.

Завдяки високій рівномірності температурних полів потоку та доброму прогріву часток використання плазми продуктів згорання характеризується високими значеннями коефіцієнта використання матеріалу, що напилюється.

Право на використання цього методу захищене патентом.

Результатом проведених досліджень є забезпечення довговічності роботи поверхні тертя під дією абразиву на протязі 275...315 годин при оптимальних значеннях твердості ( $HV\ 24...26\ GPa$ ), пористості ( $\Pi=2.76\ \%$ ) і тиску ( $p=2.0\ MPa$ ).