

OCENA OBLICZENIOWA ZUŻYCIA UZBROJENIA ŚWIDRÓW GRYZOWYCH

ANALYTICAL ESTIMATION OF DRILLING BITS EQUIPMENT WEAR

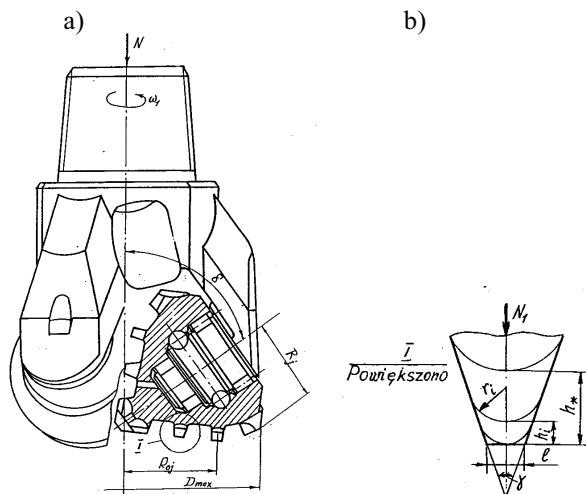
Przedstawiono wyniki badań zużycia uzbrojenia świdra trójgryzowego w oparciu o opracowany dla niego model kinetyki kontaktu tribologicznego z urabianą calizną. Przeprowadzono diagnozę obliczeniową wspomnianego parametru.

In the article are presented some results of tricone bit equipment wear tests basing oneself on worked out the model of tribological contact of this element with mining undisturbed soil. To confirm the validity of the model the numerical calculation of parameter mentioned above were performed.

1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych czynników decydującym o wydajności i trwałości świdra jest zużycie ich uzbrojenia. Główną przyczyną zużycia się uzbrojenia świdra jest poślizg zębów względem calizny w otworze. Powstające przy tym zużycie zębów ma charakter zużycia ściernego w ośrodku smarnym jakim jest płuczka wiertnicza. Modelowanie matematyczne procesu zwiercania skał oraz symulacja na tej podstawie tak ważnego czynnika procesu jakim jest zużycie uzbrojenia świdra, pozwala na zoptymalizowany wybór narzędzia.

Rozpatrzmy świder trójgryzowy (rys.1a) z uzbrojeniem w postaci klina (rys.1b), który pod wpływem siły osiowej wgnębia się w calizną, a pod wpływem momentu obrotowego przetacza się względem niej z pewnym poślizgiem. Na skutek tego, wstępnie płaska po-



Rys. 1. Schemat świdra trójgryzowego

wierzchnia zęba o szerokości l , zaokrąglą się. Zakładamy, że tworzy się przy tym powierzchnia cylindryczna zmiennego promienia r_i (rys.1b). W celu badania kinetyki procesu zużywania się zębów stosujemy równanie różniczkowe [1]:

$$\frac{1}{V} \frac{dh(x,t)}{dt} = \Phi^{-1}(\tau) \quad (1)$$

gdzie:

- $h(x, t)$ - zużycie liniowe zębów,
- V - prędkość poślizgu zęba względem calizny,
- t - czas trwania procesu tribologicznego,

- $\Phi(\tau)$ - funkcja wytrzymałości tarciowej materiału, przyjęta jako miara jego odporności na zużywanie się,
- τ - jednostkowa siła tarcia, przyjęta jako charakterystyka obciążenia kontaktu tribologicznego.

Wartości dyskretne parametru $\Phi_j(\tau_j)$ (gdzie $j = 1, 2, 3, \dots$) określone są na drodze laboratoryjnych badań tribologicznych według wzoru:

$$\Phi_i(\tau_i) = \frac{L}{h_i} \quad (2)$$

gdzie:

- $L = Vt$ - droga tarcia poślizgu,
- h_i - zużycie liniowe próbki na drodze L przy obciążeniu jej siłą tarcia τ_i .

Wartości $\Phi_i(\tau_i)$ mogą być aproksymowane następującą postacią funkcji:

$$\Phi(\tau) = A \left(\frac{\tau_i}{\tau} \right)^m \quad (3)$$

gdzie:

- A, m - bezwymiarowe wskaźniki wytrzymałości tarciowej badanego materiału w skojarzeniu tribologicznym i przyjętych warunkach badania,

$\tau_i = 0.5\sigma_{0.2}$ - granica plastyczności materiału na ścinanie,

$\sigma_{0.2}$ - umowna granica plastyczności materiału na rozciąganie.

Obciążenie styku tribologicznego, którego charakterystyką - jak świadczą badania tribologiczne - jest τ , może być wyznaczone według prawa Coulomba, tzn:

$$\tau(x, h) = fp(x, h) \quad (4)$$

gdzie:

- f - współczynnik tarcia ślizgowego, którego wartości ustala się podczas kontaktu materiału ze skałą, lub przyjmuje się z literatury,
- p - naciski stykowe.

Uwzględniając w (1) wyrażenia (3,4), po rozdzieleniu zmiennych i scałkowaniu, otrzymano równanie na obliczanie czasu kontaktu tribologicznego w postaci:

$$t = \frac{A\tau_i^m h_{0.2}^m}{V} \int_0^{h_{0.2}} [fp(0, h)]^m dh \quad (5)$$

Na obliczenie nacisków maksymalnych $p(0, h) = p_{max}$ stosuje się rozwiązanie zagadnienia stykowego, w którym cylinder (zab zaokrąglony u wierzchołka) zmiennego promienia r_i (rys.1.b) jest wciskany siłą N_i w jednorodną, izotropową, liniowo (sprężyste) odkształcalną półpłaszczyznę z właściwościami mechanicznymi skały. Rozwiązanie takiego zagadnienia znane jest w postaci [3]:

$$p_{i\max} = \sqrt{\frac{N_i E}{r_i \pi (1 - \nu^2)}} \quad (6)$$

gdzie:

E, ν - moduł Younga i liczba Poissona skały,

$N_i = N/l_E$ - obciążenie jednostkowe zęba,

N - nacisk osiowy na świder,

l_{nj} - długość linii styku poszczególnych zębów,

\tilde{n}_j - liczba zębów na każdym wieńcu, jednocześnie stykających się z calizną,

$l_\Sigma = \sum_1^{\tilde{n}_j} l_{nj}$ - długość sumarycznej linii styku zębów świdra z calizną [2].

Na podstawie analizy zależności geometrycznych (rys.1.b) ustalono, że:

$$r_i = \left(\frac{l}{2} \cos \frac{\gamma}{2} + h_i \sin \frac{\gamma}{2} \right) \left(1 - \sin \frac{\gamma}{2} \right)^{-1} \quad (7)$$

Z uwzględnieniem podanego wzoru, funkcja (6) przybiera postać:

$$p_{i\max} = \sqrt{\frac{EN [1 - \sin(0.5\gamma)]}{\pi (1 - \nu^2) l_\Sigma [0.5l \cos(0.5\gamma) + h_i \sin(0.5\gamma)]}} \quad (8)$$

W celu określenia zużycia liniowego h_j poszczególnych zębów, przeprowadzono na stanowisku badawczym wiercenie świdrem trójgryzowym (parametry konstrukcyjne podano w tabeli 1) granitu o wytrzymałości kontaktowej $P_k = 1860 \text{ MPa}$ i ścierności $a = 38 \text{ mg}$, oraz $E = 2 \cdot 10^4 \text{ MPa}$. Zęby stalowe świdra (stal 20HN3A $\tau_t = 385 \text{ MPa}$) osiągnęły po hartowaniu twardość HRC 58 ... 61. Siła osiowa działająca na świder wynosiła $N = 140 \text{ KN}$, a prędkość obrotowa $n_i = 130 \text{ obr/min}$. Wiercenie granitu odbywało się przy płukaniu wodą w czasie 90 min. Co 10 min przeprowadzano pomiary zużycia liniowego h_{nij} wszystkich zębów. W efekcie badań wyliczono także średnie zużycie \tilde{h}_j zębów każdego wieńca (tabela 2).

Zgodnie z wynikami badań \tilde{h}_j według wzoru (8), obliczone zostały naciski $p_{ij\max}$ na każdym wieńcu [5]. Zakładamy, że na każdym odcinku wiercenia średnie naprężenia wyniosą $\tilde{p}_{i,i+1} = (p_{i\max} + p_{(i+1)\max})/2$.

Droga tarcia ślizgania zębów po cali nie została obliczona według metody podanej w literaturze [4].

Tab. 1. Parametry konstrukcyjne badanego świdra trójgryzowego

gryz/wieniec	$R_{oj}[mm]$	$R_j[mm]$	$n_j[szf.]$	$\gamma_j[stopni]$	$s_j[mm]$	$l_{nj}[mm]$	$L_j[mm]$
I/1	143	92	20	42	29.7	18	67.42
I/2	103	73	17	44.9	28.3	10	57.24
I/3	65	45	12	43.6	25.7	10	47.30
I/4	17	13	5	41.4	25.4	27	29.86
II/1	145	92	19	42	31.3	13	68.11
II/2	110	80	19	43.8	27.9	12	58.79
II/3	78	55	14	43.7	26.2	10	50.85
II/4	40	28	7	43.3	27.3	10	39.21
III/1	140	90	21	42	28.3	27	66.80
III/2	90	64	16	44	26.5	10	53.98
III/3	55	38	10	44.3	25	10	44.28

Tab. 2. Średnie zużycie liniowe zębów gryza [mm]

gryz/wieniec	Czas trwania procesu ribologicznego[min.]									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I/1	0	1	1.8	2.25	3	3.5	4	4.5	4.7	4.8
I/2	0	1.3	2	2.6	3.1	3.6	4.1	4.5	4.9	5.2
I/3	0	0.9	1.5	2	2.4	2.8	3.1	3.4	3.7	3.95
I/4	0	0.6	1.1	1.4	1.7	2	2.3	2.5	2.7	2.85
II/1	0	1	1.8	2.5	3.05	3.5	4	4.5	4.7	4.85
II/2	0	0.9	1.6	2.2	2.7	3.1	3.5	3.8	4.1	4.4
II/3	0	1.5	2.2	2.7	3.1	3.5	3.9	4.2	4.5	4.7
II/4	0	0.8	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.6	2.8	3
III/1	0	1.05	1.85	2.45	2.95	3.55	4.05	4.45	4.65	4.8
III/2	0	1	1.8	2.4	2.9	3.4	3.7	4	4.3	4.5
III/3	0	0.5	0.9	1.4	1.8	2.2	2.5	2.8	3	3.2

Obliczone według wzoru Simpsona wartości drogi tarcia w jednym obrocie gryza L_{ij} podano w tab.1. Uwzględniając ustalone wcześniej wartości \tilde{h}_{ij} na każdym odcinku wiercenia, obliczono Φ_{ij} , a następnie zgodnie z (3) określono, że $A = 1.27 \cdot 10^5$, $m = 10,8$ [5].

Obliczanie czasu ciągłego styku tribologicznego elementu (zęba), podczas którego osiągnięte zostanie jego zużycie dopuszczalne h_* , przeprowadza się według równania (5). Jednak podczas obracania się gryzów, ząb styka się ze skałą tylko w przeciągu pewnej części tego obrotu. Dlatego rzeczywisty czas pracy świdra T , jaki jest potrzebny aby zęby osiągnęły zużycie h_* , jest większy i oblicza się według wzoru:

$$T = \frac{t}{60 \tilde{n}_2}, \quad n_2 = \frac{30 \omega_2}{\pi} \quad (9)$$

gdzie czas współpracy zęba z calizną przypadający na jeden obrót można określić:

$$\tilde{t} = \frac{60 R_j}{n_1 n R_{oj}} \quad (10)$$

$n = \frac{2\pi R_j}{s_j}$ - ilość zębów na wieńcu,

s_j - skok między zębami.

Jeżeli do równania (5) podstawimy $p(\theta, h)$ w postaci (8), to po uwzględnieniu (9) i (10) otrzymamy funkcję trwałości uzbrojenia świdra T_j w postaci:

$$T_j = M(K - D) \quad (11)$$

gdzie:

$$M = \frac{R_{oj} A \tau_r^m}{30 u^2 f^m R_j n_1 s_j} \left[\frac{\pi (1 - v^2) k_\Sigma}{NE (1 - \sin \frac{\gamma}{2})} \right]^{\frac{m}{2}} \left[\left[\left(\frac{m}{2} + 1 \right) \sin \frac{\gamma}{2} \right]^{-1} \right]$$

3. Literatura

- [1] Andrejkiw A. E., Czerniec M. W.: *Ocenka kontaktowego wzajemodziajstwa truszczihsja detalej maszin.* - Kijew, Nauk. Dumka, 1991. - 170 s.
- [2] Aleksejew Ju. F.: *Ispolzowanie danych po mechaniczeskim i abrazivnym swojstwam gornych porod pri burenii skważyn.* Moskwa, Nedra, 1968. - 176 s.
- [3] Spiwak A. J., Popow A. N.: *Razruszenije gornych porod pri burenii skważyn.* Moskwa, Nedra, 1986.
- [4] Szamansurow J. J., Stjeklanow B. L.: *Kinematika szaroszczecznych dołot.* Taszkent, FAN, 1977. - 102s.
- [5] Czerniec M., Jaremek P.: *Badanie trwałości uzbrojenia świdrów gryzowych i ich efektywności.* Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz, tom 16/1999.

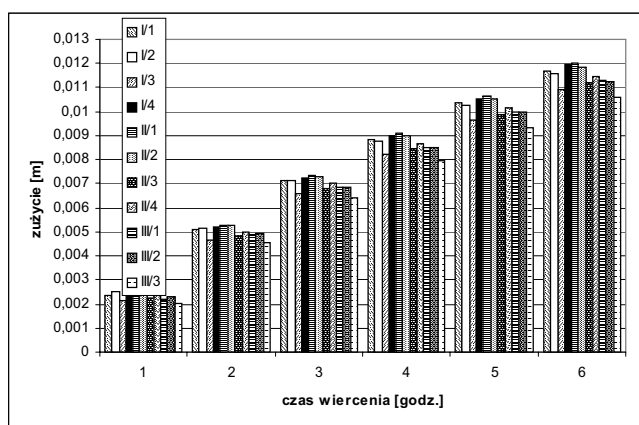
Przekształcając wyrażenie (11) otrzymamy wzór na obliczenie zużycia zębów świdra gryzowego:

$$h_j = \left[\left(\frac{T_*}{M} - D \right)^{\frac{2}{m+2}} - \frac{l}{2} \cos \frac{\gamma}{2} \right] \sin^{-1} \frac{\gamma}{2} \quad (12)$$

gdzie: T_* - wybrana trwałość pracy świdra (czas pracy świdra).

2. Przykład

Obliczymy na każdym wieńcu średnie zużycie h_j zębów świdra, którego parametry konstrukcyjne podano w tab.1. Do obliczeń przyjmujemy następujące wartości $T_* = 1, 2, 3, \dots, 6$ godz. Pozostałe dane do obliczeń: $N = 0.14 MN$, $n_1 = 130 \text{ obr/min}$, $u = 1.57$, $f = 0.3$, $l_E = 0.002m$, $l = 0.002m$, $h_* = 0.01m$, skała - granit, wartości parametrów τ_s , A , m , E , v podano powyżej. Wyniki rozwiązania numerycznego podano na rys.2. Analiza wykresu świadczy, że przyjęte zużycie dopuszczalne $h_* = 0.01m$, zostanie osiągnięte dla poszczególnych wieńców po około 5 godzinach pracy świdra.



Rys. 2. Wykres zużycia wieńców gryza w zależności od czasu trwania procesu wiercenia