

Janusz ŁUSZCZKIEWICZ

Zespół Szkół Zawodowych nr 3 MGIE

w Bytomiu

SIŁY DOCISKU W PROCESIE SKRAWANIA WĘGLA POJEDYNCZYM OSTRZEM PRZY ZMIANACH NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW NOŻA

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań wpływu sztywności poprzecznej noża skrawającego na proces skrawania węgla ze szczególnym uwzględnieniem siły docisku. Uwzględniono drgania noża pod wpływem zmian oporów skrawania i ich wpływu na składową siłę docisku. Skrawano węgiel o różnym nachyleniu płaszczyzn wyraźnej żupności w stosunku do poziomej płaszczyzny skrawania. Przeanalizowano wpływ na proces skrawania węgla, zmiany punktu przyłożenia składowej siły docisku w odniesieniu do osi trzonka noża. Posługując się otrzymanymi wynikami badań, określono wielkość zastępczego współczynnika tarcia na powierzchni przyłożenia. Otrzymane wyniki pomiarów oraz znajomość ciężaru wrębowin węgla pochodzących z doświadczeń pozwoliły na określenie wpływu usytuowania skrawu względem płaszczyzn żupności na kąt bocznego rozkruszania. Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresach. Zastępcze współczynniki tarcia zestawiono w tablicach. W wyniku analizy otrzymanych wyników stwierdzono, że: charakter zmian średnich sił docisku i średnich sił skrawania w funkcji sztywności jest do siebie podobny, położenie skrawu względem płaszczyzn żupności w małym stopniu wpływa na kąt bocznego rozkruszania, zastępczy współczynnik tarcia na powierzchni przyłożenia zależy od kierunku żupności i od częstotliwości drgań własnych noża.

1. CEL I PRZEDMIOT BADAŃ

W przedstawionej poniżej pracy podano wyniki badań wpływu sztywności poprzecznej noża skrawającego na proces skrawania węgla ze szczególnym uwzględnieniem siły docisku.

Ponieważ w procesie skrawania biorą udział masy rozłożone, co powoduje powstanie kilku częstotliwości, dlatego w poniższej pracy uwzględniono tylko jedno zagadnienie - drgań noża pod wpływem zmian oporów skrawania i ich wpływu na składową siłę wypadkową, siłę docisku. Wpływ ww. sztywności na siłę skrawania przedstawiono w pracach [4, 5].

Celem rozważań jest przedstawienie zachowania się składowej siły docisku przy zmianie sztywności poprzecznej noża, a co za tym idzie, zmiana częstotliwości drgań poprzecznych noża.

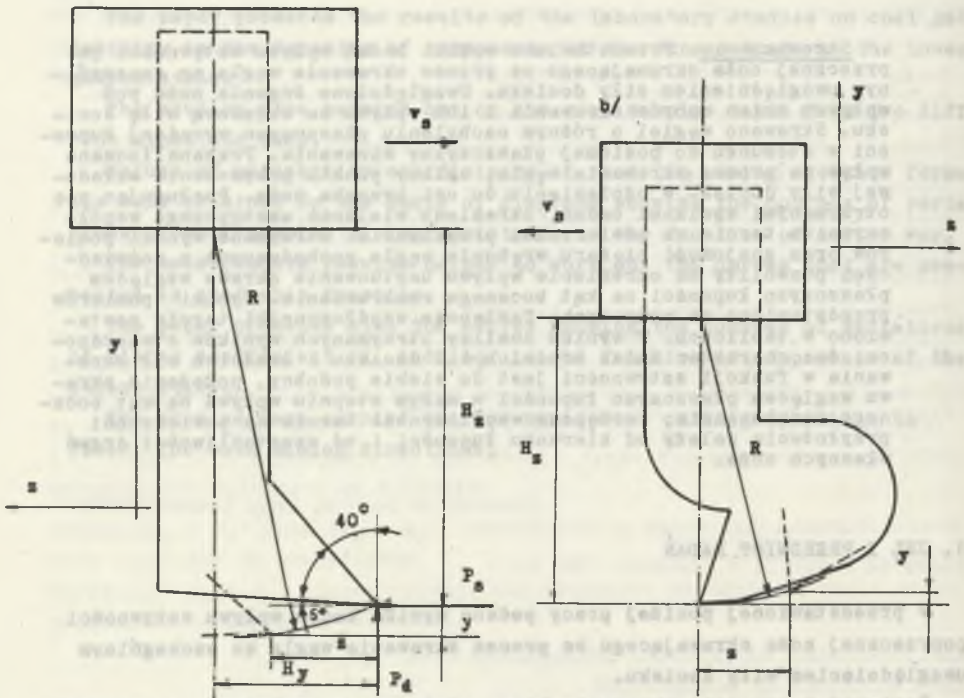
W rozważaniach przedmiotowego problemu pominięto wielkość powierzchni stępienia oraz powierzchni bocznych i przyłożenia stykających się ze ska-

łą, ponieważ badania przeprowadzono ostrym narzędziem o prawidłowej geometrii [10].

Zastosowana metoda pomiarowa umożliwiła rejestrację składowych wypadkowej siły skrawania przy użyciu rejestratora magnetycznego. Tym samym możliwe było powtarzne odtwarzanie przebiegów i przeanalizowanie ich na drodze elektronicznej.

2. SPOSÓB I ZAKRES PRZEPROWADZONYCH POMIARÓW

Badaniom oporów skrawania poddano węgiel z pokładu 418 typu 33 pochodzący z łaty przystropowej, przy czym płaszczyzny wyraźnej łupności były nachylone pod kątem 0° , 45° , 90° , 135° w stosunku do poziomej płaszczyzny-
a/



Rys. 1. Geometria noża skrawającego

a) nóż wykorzystywany w badaniach, b) nóż fajkowy

v_s - kierunek prędkości skrawania, H_s - długość ostrza, H_y - wysunięcie ostrza, P_s - siła skrawania, P_d - siła docisku, z - strzałka ugięcia w kierunku osi "z", y - strzałka ugięcia w kierunku osi "y", R - promień ostrza

Fig. 1. Cutting knife geometry

a) cutter used in investigations, b) pipe cutter

v_s - cutting speed direction, H_s - blade length, H_y - blade putting forward, P_s - cutting force, P_d - pressure force, z - deflection arrow in the direction of axis "z", y - deflection arrow in the direction of axis "y", R - blade radius

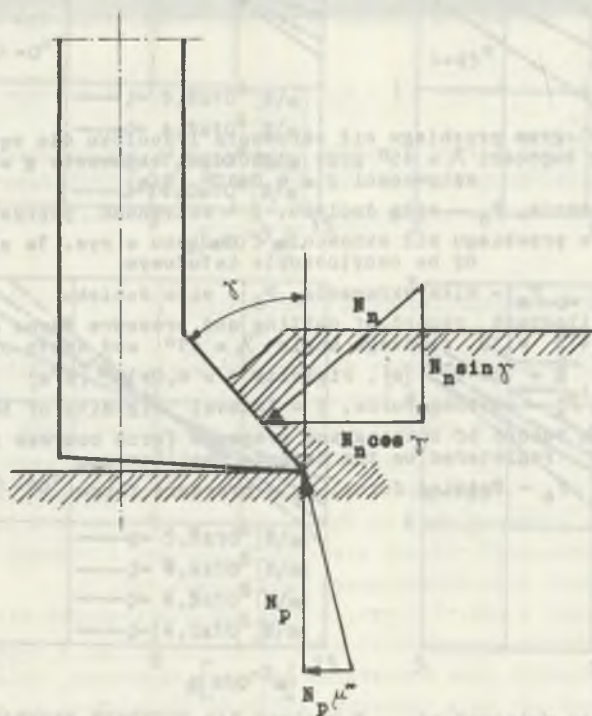
ny skrawania. Prędkość skrawania wynosiła 0,4 m/s. Zastosowano nóż, którego sztywność zmieniano przez zmianę długości czynnej i o geometrii podanej na rys. 1.

Przy skrawaniu ostrym ostrzem pomiędzy siłami działającymi na nóż istnieją zależności (rys. 2):

$$P_s = Q_n \cos(\rho_n - \gamma),$$

$$P_d = Q_n \sin(\rho_n - \gamma),$$

$$P_d : P_s = \operatorname{tg}(\rho_n - \gamma).$$



Rys. 2. Siły działające na powierzchnię natarcia noża skrawającego dla kąta natarcia $\gamma > 0$

N_n - składowa normalna do powierzchni natarcia, N_p - składowa normalna do powierzchni przyłożenia, μ^* - zastępczy współczynnik tarcia na powierzchni przyłożenia

Fig. 2. Forces influencing the on-friction area of the cutting knife for on-friction angle $\gamma > 0$

N_n - normal component to the on-friction area, N_p - normal component to the applying area, μ^* - replacing friction coefficient on the applying area



Rys. 3a) Oscylogram przebiegu sił skrawania i docisku dla węgla z pokładu 418 o kącie łupności $\lambda = 45^\circ$ przy głębokości skrawania $g = 12 \times 10^{-3}$ [m] sztywności $j = 6,0 \times 10^6$ [N/m]

P_s - siła skrawania, P_d - siła docisku, j - sztywność poprzeczna noża
b) oscylogram z przebiegu sił skrawania i docisku z rys. 3a zarejestrowany na oscyloskopie katodowym

P_s - siła skrawania, P_d - siła docisku

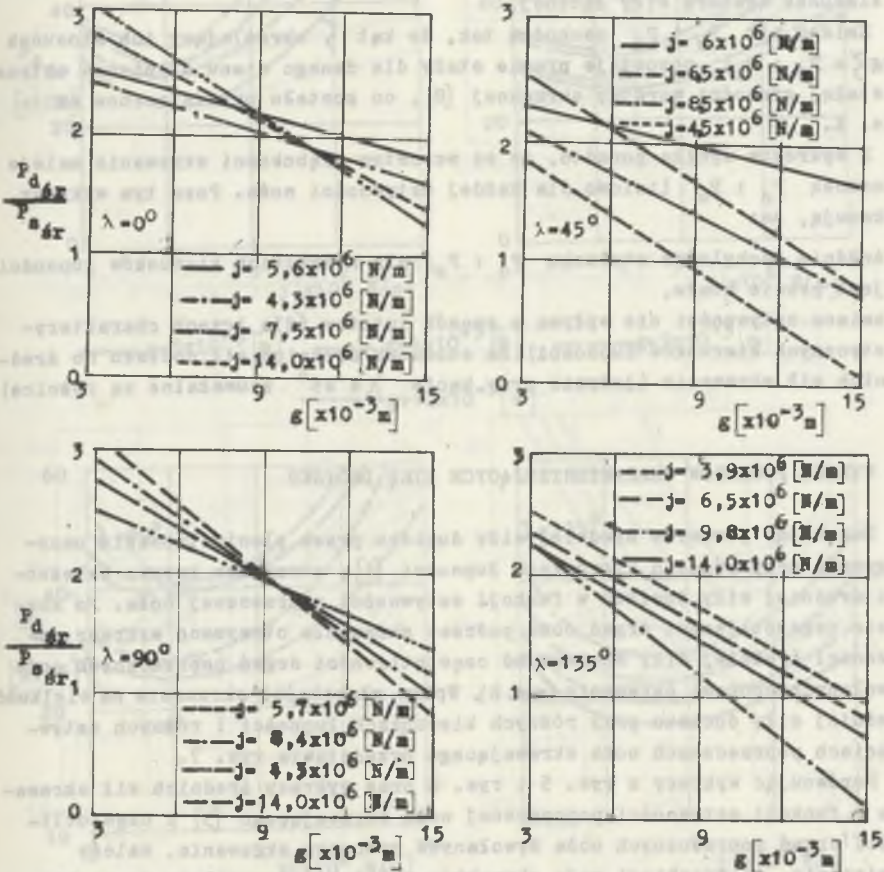
Fig. 3a) Oscillograph record of cutting and pressure force courses for coal from bed 418 with cleavage angle $\lambda = 45^\circ$ and depth of cutting $g = 12 \times 10^{-3}$ [m], rigidity $j = 6,0 \times 10^6$ [N/m]

P_d - pressure, P_s - cutting force, j - lateral rigidity of the cutter
b) Oscillograph record of cutting and pressure force courses from fig.3a registered on the cathode oscilloscope

P_s - cutting force, P_d - pressure force

gdzie:

- P_s - siła skrawania,
- P_d - siła docisku,
- Q_n - reakcja siły działającej na powierzchnię natarcia ostrza,
- φ - kąt natarcia ostrza,
- Q_p - kąt tarcia na powierzchni natarcia.



Rys. 4. Stosunek średnich sił docisku $P_{d, \text{sr}}$ do średnich sił skrawania $P_{s, \text{sr}}$ w funkcji głębokości skrawania dla różnych kierunków żupności g - głębokość skrawania, j - sztywność poprzeczna noża, λ - kierunek żupności węgla

Fig. 4. Ratio of the average pressure force $P_{d, \text{sr}}$ to the average cutting forces $P_{s, \text{sr}}$ in cutting density function for different directions g - cutting depth, j - lateral rigidity of the cutter, λ - direction of coal cleavage

Siły działające na powierzchnię przyłożenia zmieniają się cyklicznie i zgodnie z cyklem zmian sił działających na powierzchnię natarcia. Mierząc tensometrycznie siły i przyłożywszy do pionowych płytek oscyloskopu katodowego sygnał siły docisku, a do poziomych sygnał siły skrawania, otrzymano oscylogramy (rys. 3) wskazujące na zgodność liczby cykli sił skrawania i sił docisku (w przybliżeniu linia prosta). Posługując się takimi oscylogramami można wyznaczyć stosunek P_d do P_s oraz wielkość i kierunek wektora siły łącznej.

Zmiany sił P_s i P_d zachodzą tak, że kąt ζ określający ich stosunek ($\text{tg } \zeta = P_d : P_s$) pozostaje prawie stały dla danego stanu stępienia ostrza i stałej grubości warstwy skrawanej [8], co zostało przedstawione na rys. 4.

Z wykresów wynika ponadto, że ze wzrostem głębokości skrawania maleje stosunek $P_d : P_s$ liniowo dla każdej sztywności noża. Poza tym wykresy wskazują, że:

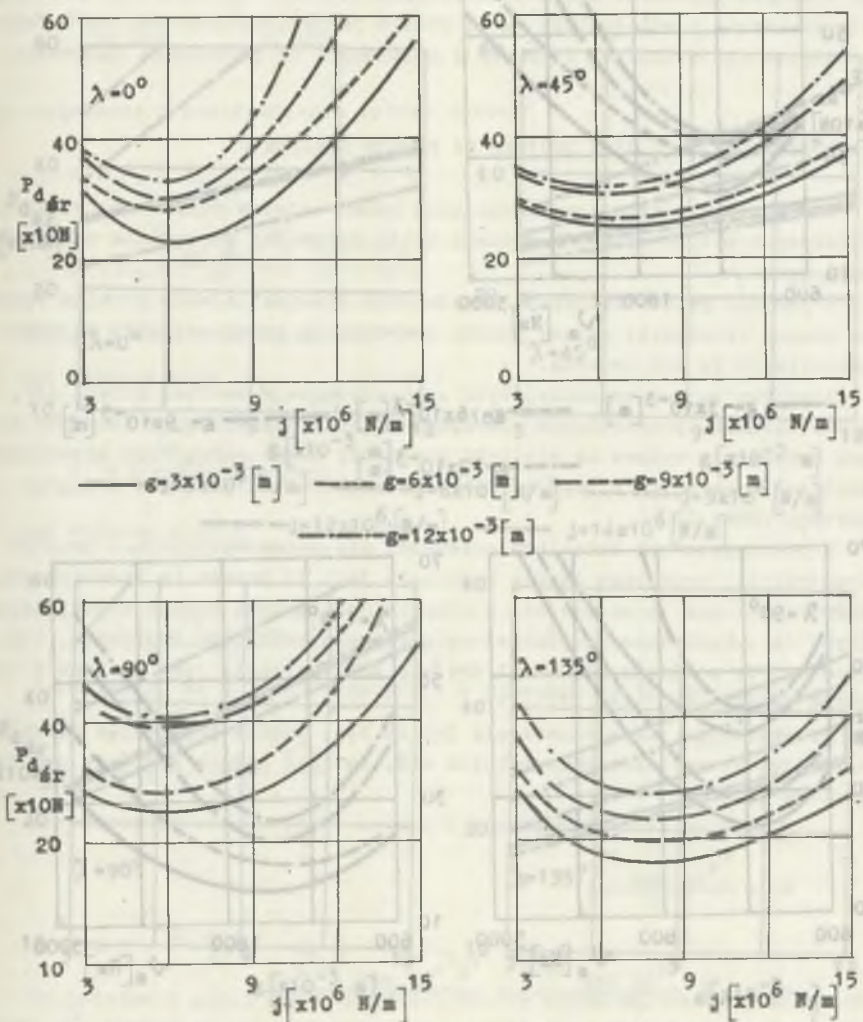
- średnie nachylenie stosunku $P_d : P_s$ dla wszystkich kierunków łupności jest prawie stałe,
- zmiana sztywności nie wpływa w sposób istotny (dla trzech charakterystycznych kierunków łupności) na stosunek średnich sił docisku do średnich sił skrawania (jedynie przy kącie $\lambda = 45^\circ$ zauważalne są różnice).

3. WYNIKI POMIARÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH SIŁĘ DOCISKU

Dokonując pomiarów średniej siły docisku przez planimetrywanie oscylogramów przy różnych kierunkach łupności [1], otrzymano krzywe zależności średniej siły docisku w funkcji sztywności poprzecznej noża. Po analizie częstotliwości drgań noża podczas skrawania otrzymano wykresy zależności średniej siły docisku od częstotliwości drgań poprzecznych noża wywołanych oporami skrawania (rys. 6). Wpływ głębokości skrawania na wielkość średniej siły docisku przy różnych kierunkach łupności i różnych sztywnościach poprzecznych noża skrawającego przedstawia rys. 7.

Porównując wykresy z rys. 5 i rys. 6 oraz wykresy średnich sił skrawania w funkcji sztywności poprzecznej noża skrawającego [5] i częstotliwości drgań poprzecznych noża wywołanych procesem skrawania, należy stwierdzić, że przebiegi mają charakter zbliżony odpowiednio do siebie, ponieważ, jak już wcześniej wspomniano, siły docisku są w zgodnej fazie z siłami skrawania. Podobnie jak dla średnich sił skrawania, w przypadku średnich sił docisku występują minima w przedziale sztywności $(6 \div 9) \times 10^6$ [N/m], co odpowiada częstotliwości drgań noża podczas skrawania ok. 1,1 ÷ 1,4 [kHz].

Średnie siły docisku rosną w miarę oddalania się poza omawiany przedział sztywności. Ze wzrostem głębokości skrawania dla określonej sztywności poprzecznej noża siły P_d rosną liniowo (rys. 7) w zakresie badanych

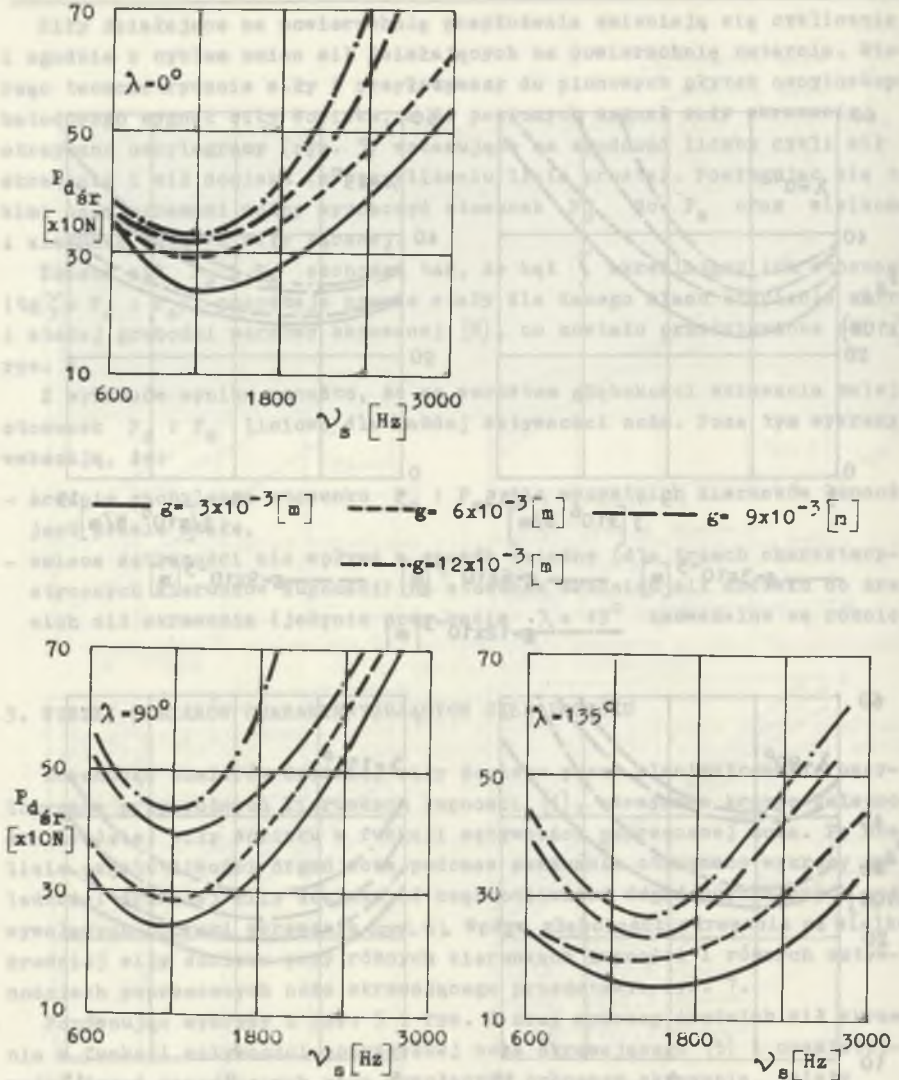


Rys. 5. Średnia siła docisku P_{dgr} w funkcji sztywności noża dla różnych kierunków łupności

g - głębokość skrawania, j - sztywność poprzeczna noża, λ - kierunek łupności węgla

Fig. 5. Average pressure force P_{dgr} in the rigidity function of the cutter for different cleavage directions

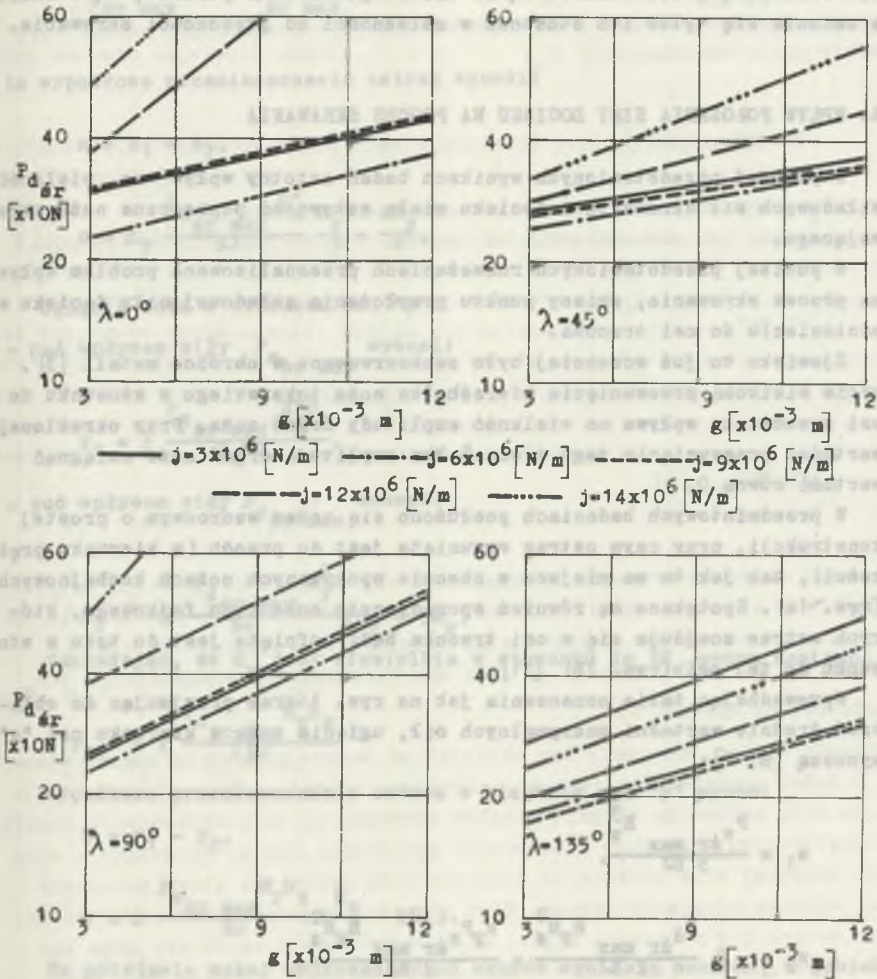
g - cutting depth, j - lateral rigidity of the cutter, λ - direction of coal cleavage



Rys. 6. Średnia siła docisku $P_{d\delta r}$ dla różnych kierunków żupności w funkcji częstotliwości drgań poprzecznych noża wywołanych oporami skrawania g - głębokość skrawania, j - sztywność poprzeczna noża, λ - kierunek żupności węgla, ν_s - częstotliwość drgań poprzecznych noża wywołanych oporami skrawania

Fig. 6. Average pressure force $P_{d\delta r}$ for different cleavage directions in the function of lateral vibration frequency of the cutter caused by cutting resistance

g - cutting depth, j - lateral rigidity of the cutter, λ - coal cleavage direction, ν_s - frequency of cutter lateral vibrations caused by cutting resistance



Rys. 7. Średnia siła docisku $P_{d_{sr}}$ dla różnych kierunków żupności w funkcji głębokości skrawania

g - głębokość skrawania, j - sztywność poprzeczna noża, λ - kierunek żupności węgla

Fig. 7. Average pressure force $P_{d_{sr}}$ for different cleavage directions in the function of cutting depth

g - cutting depth, j - cutter lateral rigidity, λ - coal cleavage direction

głębokości skrawania. Ze względu na duży rozrzut średnich sił docisku dla $\lambda = 45^\circ$ utrudniający analizę na rys. 5 i rys. 6 pominięto wykresy dla tego kierunku łupności. Z wyżej omówionych wykresów wynika, że przebiegi sił skrawania i sił docisku są do siebie jakościowo podobne, są w fazie, a zmienia się tylko ich stosunek w zależności od głębokości skrawania.

4. WPŁYW POŁOŻENIA SIŁY DOCISKU NA PROCES SKRAWANIA

W powyżej przedstawionych wynikach badań istotny wpływ na wielkość składowych sił skrawania i docisku miała sztywność poprzeczna noża skrawającego.

W poniżej przedstawionych rozważaniach przeanalizowano problem wpływu na proces skrawania, zmiany punktu przyłożenia składowej siły docisku w odniesieniu do osi trzonka.

Zjawisko to już wcześniej było zaobserwowane w obróbce metali [3], gdzie wielkość przesunięcia wierzchołka noża tokarskiego w stosunku do osi przedmiotu wpływa na wielkość amplitudy drgań noża. Przy określonej wartości przesunięcia tego wierzchołka amplituda drgań może osiągnąć wartość równą 0.

W przedmiotowych badaniach posłużono się nożem wzorcowym o prostej konstrukcji, przy czym ostrze wysunięte jest do przodu (w kierunku prędkości), tak jak to ma miejsce w obecnie spotykanych nożach kombajnowych (rys. 1a). Spotykane są również sporadycznie noże typu fajkowego, których ostrze znajduje się w osi trzonka bądź cofnięte jest do tyłu w stosunku do tej osi (rys. 1b) [11].

Wprowadzając takie oznaczenia jak na rys. 1 oraz przyjmując do obliczeń średnie wartości maksymalnych sił, ugięcia noża w kierunku osi "z" wynoszą [6, 7]:

$$z_1 = \frac{P_{s\text{sr max}} H_z^3}{3 EJ}$$

$$z_2 = -\varepsilon \frac{P_{d\text{sr max}} H_y H_z^2}{2 EJ} = \frac{k_y P_{s\text{sr max}} H_y H_z^2}{2 EJ}$$

gdzie:

- z_1 - ugięcie noża w kierunku osi "z" pod wpływem siły $P_{s\text{sr max}}$,
- z_2 - ugięcie noża w kierunku osi "z" pod wpływem siły $P_{y\text{sr max}}$,
- ε - współczynnik uwzględniający sprężystość zamocowania noża,
- E - moduł sprężystości podłużnej,
- J - moment bezwładności przekroju.

Przyjmując, że:

$$P_{d \text{ } \dot{s}r \text{ max}} = k P_{s \text{ } \dot{s}r \text{ max}}$$

to wypadkowe przemieszczenie ostrza wynosi:

$$z = z_1 - z_2,$$

$$z = \epsilon_r \frac{P_{s \text{ } \dot{s}r \text{ max}} H_z^2}{EJ} \frac{H_z}{3} - \frac{kH_y}{2}.$$

Ugięcie noża w kierunku osi "y":

- pod wpływem siły $P_{s \text{ } \dot{s}r \text{ max}}$ wynosi:

$$y_1 = \epsilon \frac{P_{s \text{ } \dot{s}r \text{ max}} H_y^2}{2 EJ},$$

- pod wpływem siły $P_{d \text{ } \dot{s}r \text{ max}}$ wynosi:

$$y_2 = -\epsilon \frac{P_{d \text{ } \dot{s}r \text{ max}} H_y^2}{EJ} (H_y + 3H_z)$$

Zakładając, że H_y jest niewielkie w stosunku do $3H_z$ można napisać:

$$y_2 = -\epsilon \frac{P_{d \text{ } \dot{s}r \text{ max}} H_y H_z}{3 EJ}$$

Wypadkowe przemieszczenie ostrza w kierunku osi "y" wynosi:

$$y = y_1 - y_2,$$

$$y = \epsilon \frac{P_{s \text{ } \dot{s}r \text{ max}} H_y H_z}{EJ} \left(\frac{H_z}{2} - kH_y \right).$$

Na podstawie wyżej wyprowadzonych wzorów wynikają warunki, w jakich mogą nie wystąpić odkształcenia noża, czyli skrawanie bez drgań. W kierunku działania siły P_s drgania nie wystąpią, gdy:

$$z = z_1 - z_2 = 0, \text{ tzn.}$$

$$H_z = \frac{3}{2} kH_y.$$

W kierunku działania siły docisku P_y drgania zanikną, gdy:

$$y = y_1 - y_2 = 0, \text{ tzn.}$$

$$H_z = 2kH_y.$$

Zależności te wskazują, że stosunek ($H_z : H_y$) ma taki sam charakter przebiegu jak wielkość "k", tzn. jak stosunek maksymalnych średnich sił docisku $P_{d\text{śr max}}$ do maksymalnych średnich sił skrawania $P_{s\text{śr max}}$. Średnie maksymalnych sił działające na nóż [9] wyznacza się mnożąc siły średnie przez współczynnik K_m :

$$P_{s\text{śr max}} = P_{s\text{śr}} K_m$$

gdzie K_m - współczynnik nierównomierności siły skrawania. Ponieważ siły docisku zmieniają się prawie proporcjonalnie do sił skrawania, więc:

$$P_{d\text{śr max}} = P_{d\text{śr}} K_m$$

Dzieląc stronami dwa ostatnie równania, otrzymujemy:

$$\frac{P_{d\text{śr max}}}{P_{s\text{śr max}}} = \frac{P_{d\text{śr}}}{P_{s\text{śr}}}$$

Charakter stosunku średnich maksymalnych sił docisku do średnich maksymalnych sił skrawania jest taki sam jak stosunek średnich sił docisku do średnich sił skrawania. Wypływa stąd wniosek, że stosunek $H_z : H_y$ w funkcji głębokości skrawania ma taki sam przebieg jak stosunek $P_{d\text{śr}} : P_{s\text{śr}}$ przedstawiony na rys. 4.

Ciągły proces skrawania bez odkształceń będzie trudny do zaobserwowania z dwóch powodów. Po pierwsze - chwilowe wartości stosunku siły docisku do siły skrawania ulegają ciągłym zmianom, co jest spowodowane charakterystycznym sposobem pokonywania spoiściwości skały. Po drugie - stosunek średniej siły docisku do średniej siły skrawania ulega zmianie w miarę wzrostu stępienia ostrza. Mimo obserwowanego zjawiska pokonywania przez ostrze sił spójności węgla, siły rejestrowane na ostrzu mogą być stosunkowo niewielkie, a nawet chwilami równe zero. Powodem tego mogą być czujniki tensometryczne na nożu, które rejestrują, jak wiadomo, odkształcenie trzonka a nie siły działające na niego. Dlatego fakt, że chwilowe siły skrawania osiągają wartości maksymalne przy sile docisku równej zero (lub odwrotnie), należy tłumaczyć m.in. możliwością pojawienia się takich ich wartości, że niemożliwe jest ugięcie noża w kierunku osi y (lub z) (rys. 3b). Należy zdać sobie również sprawę z tego, że gdy ostrze noża jest usytuowane na lewo od osi trzonka noża (rys. 1), podczas jednego cyklu skrawania chwilowa głębokość skrawania rośnie osiągając maksimum w chwili odłupania. Natomiast gdy wierzchołek noża znajdu-

je się na prawo od osi trzonka, zachodzi zjawisko odwrotne. Na dnie bruzdy powstają więc nierówności spowodowane nie tylko odłupywaniem większych odłamków, ale także nierówności spowodowane położeniem ostrza względem osi trzonka. Nierówności te zwiększają się [6] w miarę wzrostu głębokości skrawania, zwięzłości skały, szerokości noża, a zmniejszają się w miarę wzrostu stępienia ostrza.

5. WPŁYW CZĘSTOTLIWOSCI DRGAŃ NOŻA WYWOŁANYCH OPORAMI SKRAWANIA NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA

W przedstawionych powyżej wynikach badań siły docisku P_d są większe od sił skrawania, co wypływa z faktu skrawania na głębokości do 15 mm [1]. Aby wyznaczyć współczynnik tarcia na powierzchni przyłożenia, przyjmuje się pewne uproszczenia. Pomija się tarcie wywołane siłą P_s [8] oraz siły działające na boczną krawędź skrawającą P_b . Zamiast rzeczywistego współczynnika tarcia na powierzchni przyłożenia noża stosuje się zastępczy współczynnik tarcia μ^* odnoszący się tylko do powierzchni przyłożenia. Wyznacza się go z układu czterech równań:

$$P_{s1} = N_{n1} \cos \delta + N_{p1} \mu^*$$

$$P_{d1} = N_{p1} - N_{n1} \sin \delta$$

$$P_{s2} = N_{n2} \cos \delta + N_{p2} \mu^*$$

$$P_{d2} = N_{p2} - N_{n2} \sin \delta$$

gdzie:

$$N_{n1} = A g_1$$

$$N_{n2} = A g_2$$

- $P_{s1}, P_{s2}, P_{d1}, P_{d2}$ - siły skrawania i siły docisku otrzymane w analogicznych warunkach przy dwóch różnych głębokościach skrawania,
 A - wielkość zależna od jakości węgla oraz od kąta natarcia ostrza,
 δ - kąt natarcia ostrza,
 N_{p1}, N_{p2} - siły normalne na powierzchni przyłożenia noża.

Tablica 1

| Lp. | Kierunek łupności | Szttywność $\times 10^6$ [N/m] | Głębokość skrawania $\times 10^{-3}$ [m] | P_{s1} [N] | P_{d1} [N] | P_{s2} [N] | P_{d2} [N] | μ^* | $\mu^*_{\text{śr}}$ |
|-----|-------------------|--------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|---------------------|
| 1 | 0° | 14,0 | 3 | 174,0 | 504,0 | 250,0 | 575,0 | 0,22 | 0,26 |
| 2 | | | 6 | | | | | | |
| 3 | | 14,0 | 6 | 393,0 | 786,0 | 522,0 | 965,0 | 0,31 | |
| 4 | | | 9 | | | | | | |
| 5 | | 8,4 | 3 | 89,0 | 261,0 | 136,0 | 337,0 | 0,22 | 0,22 |
| 6 | | | 6 | | | | | | |
| 7 | | 7,5 | 3 | 87,0 | 278,0 | 123,0 | 302,0 | 0,20 | 0,20 |
| 8 | | | 6 | | | | | | |
| 9 | | 7,0 | 3 | 87,8 | 285,0 | 130,0 | 292,0 | 0,16 | 0,16 |
| 10 | | | 6 | | | | | | |
| 11 | | 6,0 | 3 | 146,0 | 393,0 | 202,0 | 485,0 | 0,29 | 0,28 |
| 12 | | | 6 | | | | | | |
| 13 | | 5,7 | 6 | 202,0 | 485,0 | 236,0 | 485,0 | 0,27 | |
| 14 | | | 9 | | | | | | |
| 15 | | 5,6 | 3 | 93,0 | 264,0 | 149,0 | 313,0 | 0,17 | 0,17 |
| 16 | | | 6 | | | | | | |
| 17 | | 5,6 | 3 | 91,0 | 240,0 | 134,0 | 281,0 | 0,24 | 0,30 |
| 18 | | | 6 | | | | | | |
| 19 | | 4,3 | 6 | 134,0 | 281,0 | 157,0 | 306,0 | 0,36 | |
| 20 | | | 9 | | | | | | |
| 21 | | 4,3 | 3 | 93,0 | 261,0 | 117,0 | 271,0 | 0,21 | 0,32 |
| 22 | | | 6 | | | | | | |
| 23 | | 4,3 | 6 | 117,0 | 271,0 | 166,0 | 344,0 | 0,15 | |
| 24 | | | 9 | | | | | | |
| 25 | | 4,3 | 9 | 166,0 | 344,0 | 170,0 | 337,0 | 0,54 | |
| 26 | | | 12 | | | | | | |
| 27 | 45° | 14,0 | 9 | 352,0 | 457,0 | 449,0 | 493,0 | 0,17 | 0,17 |
| 28 | | | 12 | | | | | | |
| 29 | | 8,5 | 3 | 123,0 | 258,0 | 185,0 | 314,0 | 0,30 | 0,30 |
| 30 | | | 6 | | | | | | |
| 31 | | 6,5 | 3 | 137,0 | 327,0 | 86,0 | 164,0 | 0,38 | 0,37 |
| 32 | | | 6 | | | | | | |
| 33 | | 6,5 | 9 | 136,0 | 223,0 | 124,0 | 137,0 | 0,35 | |
| 34 | | | 12 | | | | | | |
| 35 | | 6,0 | 3 | 144,0 | 348,0 | 192,0 | 414,0 | 0,34 | 0,27 |
| 36 | | | 6 | | | | | | |
| 37 | | 6,0 | 6 | 192,0 | 414,0 | 218,0 | 421,0 | 0,34 | |
| 38 | | | 9 | | | | | | |
| 39 | | 6,0 | 9 | 218,0 | 421,0 | 275,0 | 445,0 | 0,13 | |
| 40 | | | 12 | | | | | | |
| 41 | | 5,7 | 3 | 121,0 | 257,0 | 169,0 | 249,0 | 0,27 | 0,27 |
| 42 | | | 6 | | | | | | |
| 43 | 4,5 | 3 | 119,0 | 226,0 | 191,0 | 257,0 | 0,22 | 0,22 | |
| 44 | | 6 | | | | | | | |
| 45 | 3,7 | 3 | 122,0 | 242,0 | 189,0 | 296,0 | 0,26 | 0,26 | |
| 46 | | 6 | | | | | | | |

Tablica 2

| Lp. | Kierunek żupności | Sztynność $\times 10^6$ [N/m] | Głębokość skrawania $\times 10^{-3}$ [m] | P_{s_1} [N] | P_{d_1} [N] | P_{s_2} [N] | P_{d_2} [N] | μ^* | μ_{sr}^* |
|-----|----------------------|----------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|--------------|
| 1 | 90° | 14,0 | 3 | 162,0 | 469,0 | 279,0 | 669,0 | 0,16 | 0,16 |
| 2 | | | 6 | | | | | | |
| 3 | | | 9 | | | | | | |
| 4 | | 8,4 | 3 | 99,0 | 354,0 | 115,0 | 285,0 | 0,25 | 0,24 |
| 5 | | | 6 | | | | | | |
| 6 | | | 9 | | | | | | |
| 7 | | 7,5 | 3 | 100,0 | 257,0 | 119,0 | 257,0 | 0,31 | 0,31 |
| 8 | | | 6 | | | | | | |
| 9 | | | 9 | | | | | | |
| 10 | | 7,0 | 3 | 100,0 | 285,0 | 130,0 | 274,0 | 0,23 | 0,23 |
| 11 | | | 6 | | | | | | |
| 12 | | | 9 | | | | | | |
| 13 | | 6,5 | 3 | 95,0 | 264,0 | 130,0 | 384,0 | 0,41 | 0,43 |
| 14 | | | 6 | | | | | | |
| 15 | | | 9 | | | | | | |
| 16 | | 6,2 | 3 | 219,0 | 572,0 | 219,0 | 650,0 | 0,44 | 0,44 |
| 17 | | | 6 | | | | | | |
| 18 | | | 9 | | | | | | |
| 19 | | 5,7 | 3 | 91,0 | 278,0 | 130,0 | 281,0 | 0,18 | 0,18 |
| 20 | | | 6 | | | | | | |
| 21 | | | 9 | | | | | | |
| 22 | | 5,6 | 3 | 84,0 | 273,0 | 136,0 | 306,0 | 0,13 | 0,12 |
| 23 | | | 6 | | | | | | |
| 24 | | | 9 | | | | | | |
| 25 | | 4,3 | 3 | 97,0 | 247,0 | 138,0 | 299,0 | 0,24 | 0,22 |
| 26 | | | 6 | | | | | | |
| 27 | | | 9 | | | | | | |
| 28 | | 5,6 | 3 | 215,0 | 428,0 | 261,0 | 445,0 | 0,20 | |
| 29 | | | 6 | | | | | | |
| 30 | | | 9 | | | | | | |
| 31 | 135° | 14,0 | 6 | 180,0 | 270,0 | 258,0 | 361,0 | 0,27 | 0,34 |
| 32 | | | 9 | | | | | | |
| 33 | | | 12 | | | | | | |
| 34 | | 8,2 | 3 | 80,0 | 163,0 | 127,0 | 230,0 | 0,34 | 0,34 |
| 35 | | | 6 | | | | | | |
| 36 | | | 9 | | | | | | |
| 37 | 6,5 | 3 | 88,0 | 205,0 | 136,0 | 212,0 | 0,31 | 0,31 | |
| 38 | | 9 | | | | | | | |

Wyniki przedstawione w tablicach 1 i 2 otrzymano przy skrawaniu skrawaniem otwierającym, przy różnych kierunkach żupności. Średni współczynnik tarcia μ_{sr}^* wyznaczono jako średnią arytmetyczną współczynników μ^* .

Średnie wartości zastępczego współczynnika tarcia μ_{sr}^* na powierzchni przyłożenia przyjmują wartości w zależności od sztywności noża:

- od 0,16 do 0,32 dla żupności $\lambda = 0^\circ$,
- od 0,13 do 0,38 dla żupności $\lambda = 45^\circ$

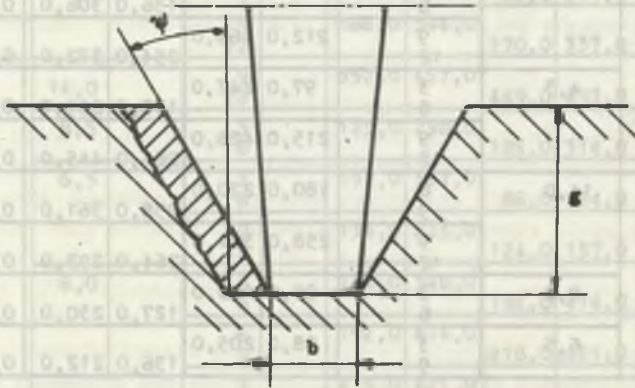
- od 0,11 do 0,46 dla żupności $\lambda = 90^\circ$,
- od 0,27 do 0,42 dla żupności $\lambda = 135^\circ$.

Powyższe wartości pozwalają określić średni zastępczy współczynnik tarcia na powierzchni przyłożenia dla poszczególnych żupności:

- dla żupności $\lambda = 0^\circ$, $\mu_{sr}^* = 0,24$,
- dla żupności $\lambda = 45^\circ$, $\mu_{sr}^* = 0,26$,
- dla żupności $\lambda = 90^\circ$, $\mu_{sr}^* = 0,27$,
- dla żupności $\lambda = 135^\circ$, $\mu_{sr}^* = 0,26$.

6. WPŁYW USYTUOWANIA SKRAWU WZGLĘDEM PŁASZCZYZN ŻUPNOŚCI NA KĄT BOCZNEGO ROZKRUSZANIA

Jak wiadomo [1, 8], kąt boczny rozkruszania bruzdy ψ przy skrawaniu z wyrównanej powierzchni zależy od własności węgla, głębokości skrawania oraz od kształtu ostrza. Zwięzłość węgla, własności plastyczne, słabo zaznaczająca się żupność oraz wzrost naprężeń poziomych górotworu σ_z [2] powodują zmniejszenie się tego kąta, kruchość i wyraźne powierzchnie żupności sprzyjają jego zwiększeniu. Ponadto istotny wpływ na kąt ψ ma sztywność noża skrawającego oraz usytuowanie skrawu względem płaszczyzn żupności, co przedstawiono poniżej.



Rys. 8. Przekrój poprzeczny bruzdy

ψ - kąt boczny rozkruszania, g - głębokość skrawania, b - szerokość krawędzi skrawającej noża

Fig. 8. Furrow lateral section

ψ - side crumbling angle, g - cutting depth, b - width of the cutting edge

Kąt bocznego rozkruszania (rys. 8) wyznacza się ze wzoru:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1}{g} \left(\frac{G}{\gamma l g} - b \right),$$

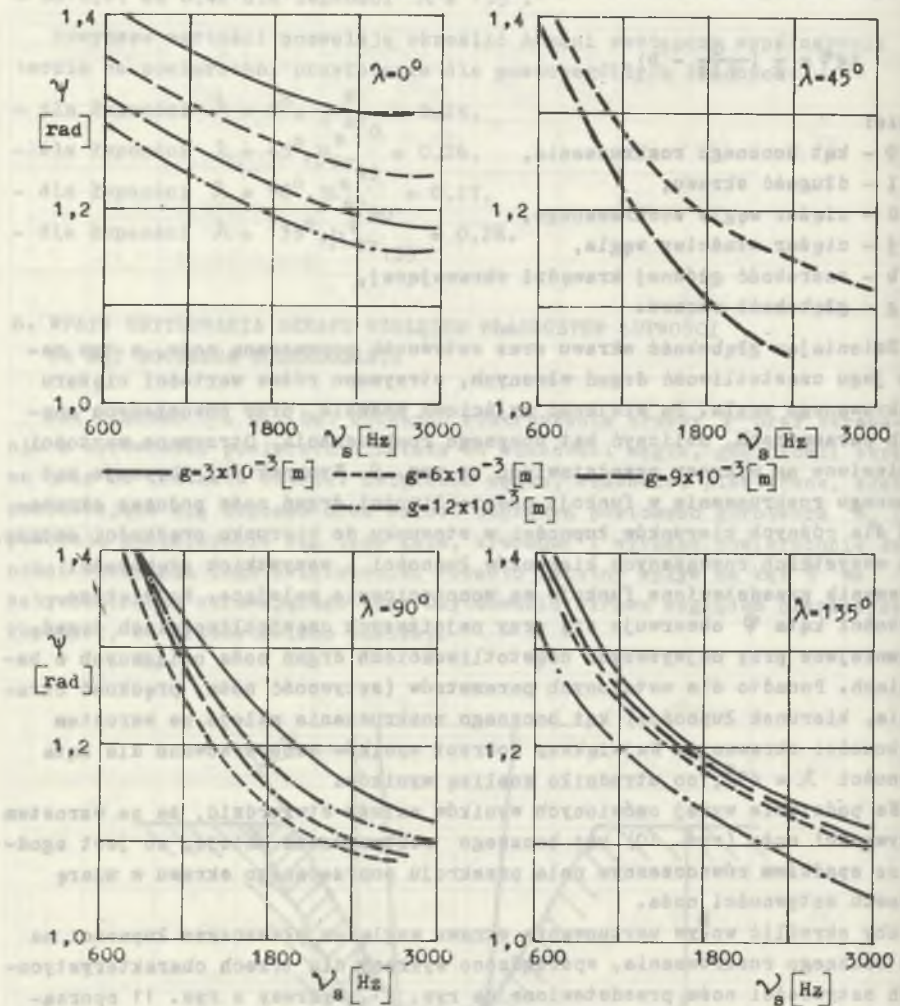
gdzie:

- ψ - kąt bocznego rozkruszania,
- l - długość skrawu,
- G - ciężar węgla zeskrawanego,
- γ - ciężar właściwy węgla,
- b - szerokość głównej krawędzi skrawającej,
- g - głębokość skrawu.

Zmieniając głębokość skrawu oraz sztywność poprzeczną noża, a tym samym jego częstotliwość drgań własnych, otrzymano różne wartości ciężaru zeskrawanego węgla. Ta wielkość wyjściowa pozwala, przy pozostałych znanych parametrach, obliczyć kąt bocznego rozkruszania. Otrzymane wartości naniesione na wykresy przedstawiono na rys. 9. Rysunek ten obrazuje kąt bocznego rozkruszania w funkcji częstotliwości drgań noża podczas skrawania dla różnych kierunków łupności w stosunku do kierunku prędkości ostrza. Dla wszystkich rozważanych kierunków łupności i wszystkich głębokości skrawania przedstawione funkcje są monotonicznie malejące. Największe wartości kąta ψ obserwuje się przy najniższych częstotliwościach drgań, najmniejsze przy najwyższych częstotliwościach drgań noża osiąganych w badaniach. Ponadto dla ustalonych parametrów (sztywność noża, prędkość skrawania, kierunek łupności) kąt bocznego rozkruszania maleje ze wzrostem głębokości skrawania. Największy rozrzut wyników zaobserwowano dla kąta łupności $\lambda = 45^\circ$, co utrudniło analizę wyników.

Na podstawie wyżej omówionych wyników należy stwierdzić, że ze wzrostem sztywności noża (rys. 10) kąt bocznego rozkruszania maleje, co jest zgodne ze spadkiem równoczesnym pola przekroju poprzecznego skrawu w miarę wzrostu sztywności noża.

Aby określić wpływ usytuowania skrawu względem płaszczyzn łupności na kąt bocznego rozkruszania, sporządzono wykresy dla trzech charakterystycznych sztywności noża przedstawione na rys. 11. Wykresy z rys. 11 sporządzono na podstawie rys. 10. Analiza krzywych z rys. 11 wskazuje, że zmiany kąta bocznego rozkruszania dla danej głębokości skrawania wahają się w przedziale 5° . Usytuowanie więc skrawu względem płaszczyzn łupności w mały istotny sposób wpływa na wielkość kąta bocznego rozkruszania w badanym przedziale.

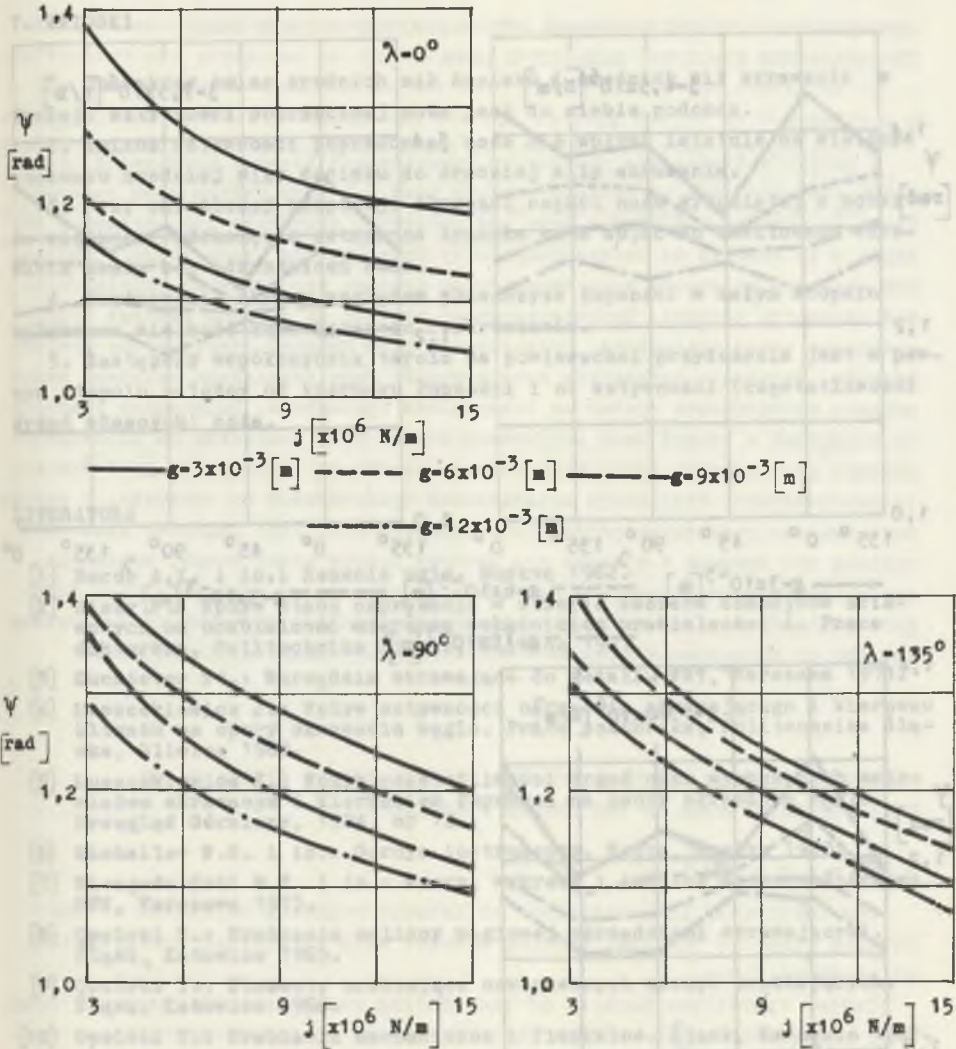


Rys. 9. Kąt bocznego rozkruszania w funkcji częstotliwości drgań noża podczas skrawania dla różnych kierunków żupności

ψ - kąt bocznego rozkruszania, ν_s - częstotliwość drgań noża podczas skrawania wywołanych oporami skrawania, λ - kierunek żupności węgla

Fig. 9. Side crumbling angle in the frequency function of cutter vibrations during cutting for different cleavage directions

ψ - side crumbling angle, ν_s - frequency of cutter vibrations during cutting caused by cutting resistance, λ - cleavage coal direction

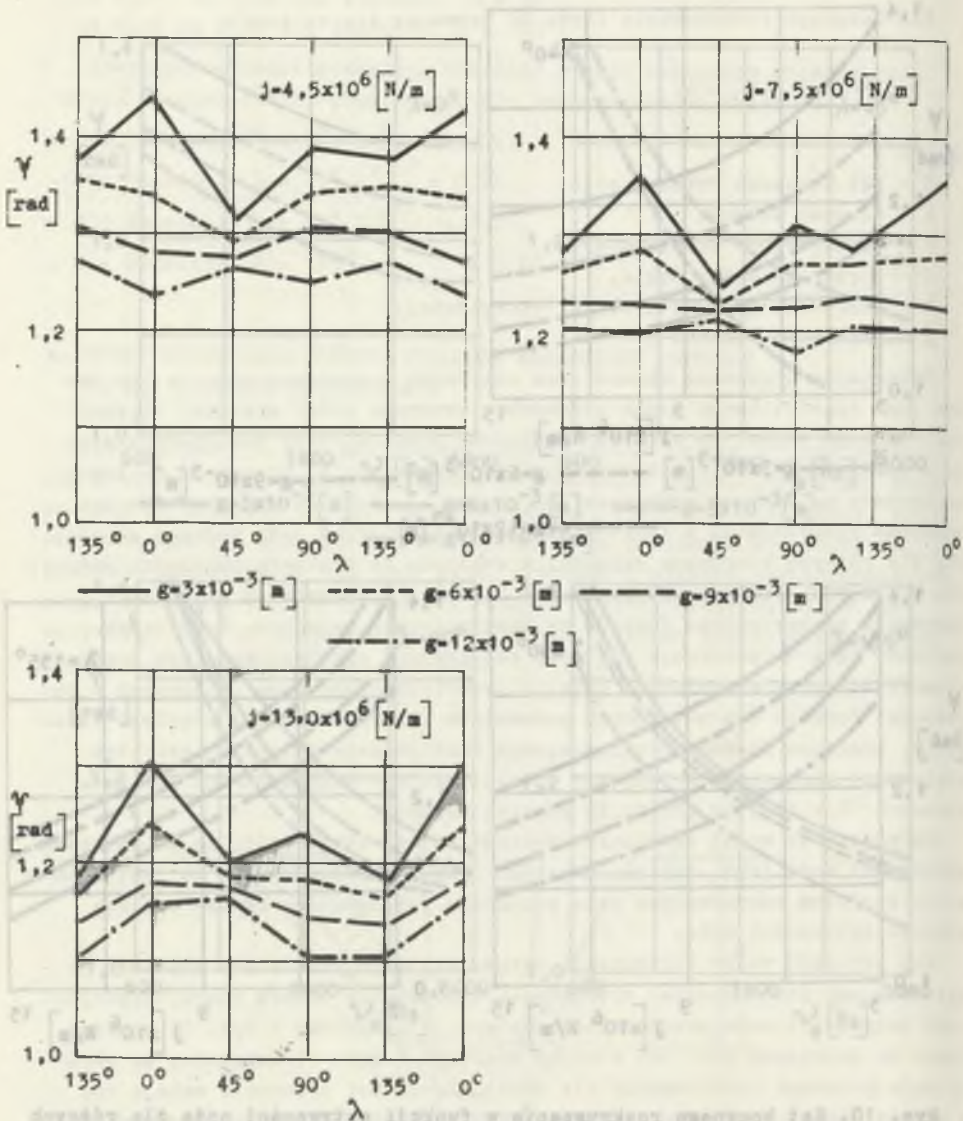


Rys. 10. Kąt boczego rozkruszania w funkcji sztywności noża dla różnych kierunków żuźności węgla

ψ - kąt boczego rozkruszania, j - sztywność poprzeczna noża skrawającego, λ - kierunek żuźności węgla

Rys. 10. Side crumpling angle in the rigidity function of the cutter for different coal cleavage directions

ψ - side crumpling angle, j - cutting knife lateral rigidity, λ - coal cleavage direction



Rys. 11. Wpływ kierunku łupności na kąt bocznego rozkruszania dla trzech charakterystycznych sztywności noża

ψ - kąt bocznego rozkruszania, g - głębokość skrawania, λ - kierunek łupności węgla, j - sztywność poprzeczna noża skrawającego

Fig. 11. Cleavage direction influence on the side crumbling angle for 3 characteristic rigidities of the cutter

ψ - side crumbling angle, g - cutting depth, λ - coal cleavage direction
 j - cutting knife lateral rigidity

7. WNIOSKI

1. Charakter zmian średnich sił docisku i średnich sił skrawania w funkcji sztywności poprzecznej noża jest do siebie podobny.
2. Zmiana sztywności poprzecznej noża nie wpływa istotnie na wielkość stosunku średniej siły docisku do średniej siły skrawania.
3. Przy określonej proporcji długości części noża wysuniętej z uchwytu do wielkości odsunięcia ostrza od trzonka może dojść do chwilowego skrawania skały bez odkształceń noża.
4. Usytuowanie skrawu względem płaszczyzn łupności w małym stopniu wpływa na wielkość kąta bocznego rozkruszania.
5. Zastępczy współczynnik tarcia na powierzchni przyłożenia jest w pewnym stopniu zależny od kierunku łupności i od sztywności (częstotliwości drgań własnych) noża.

LITERATURA

- [1] Beron A.I. i in.: Reżanie uгля. Moskwa 1962.
- [2] Biały W.: Wpływ stanu naprężenia w strefie zabioru kombajnów ściapowych na urabialność mierzoną wskaźnikiem urabialności A. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1981.
- [3] Kunsteter St.: Narzędzia skrawające do metali. WNT, Warszawa 1973.
- [4] Łuszczkiewicz J.: Wpływ sztywności narzędzia skrawającego i kierunku kłiważu na opory skrawania węgla. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1983.
- [5] Łuszczkiewicz J.: Wpływ częstotliwości drgań noża wymuszonych materiałem skrawanym i kierunkiem łupności na opory skrawania węgla. Przegląd Górniczy, 1984, nr 12.
- [6] Michailow W.G. i in.: Gornye instrumenty. Nedra, Moskwa 1970.
- [7] Niezgodziński M.E. i in.: Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe. PWN, Warszawa 1973.
- [8] Opolski T.: Urabianie calizny węglowej narzędziami skrawającymi. Śląsk, Katowice 1965.
- [9] Opolski T.: Elementy urabiające nowoczesnych maszyn urabiających. Śląsk, Katowice 1966.
- [10] Opolski T.: Urabianie mechaniczne i fizyczne. Śląsk, Katowice 1982.
- [11] Pozin E.Z. i in.: Razrušenie uglej vyemocnymi mašinami. Nedra, Moskva 1984.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz SIKORA

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

СИЛЫ ПРИЖИМА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ УГЛЯ ОДИНОЧНЫМ ОСТРИЕМ НОЖА
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ НОЖА

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований влияния поперечной активности режущего ножа на процесс резания угля с особым учётом силы прижима. Взят во внимание колебания ножа под действием изменения сопротивления резания и их влияние на составляющую силу прижима. Был резан уголь с различным наклоном плоскости ярко выраженного кливажа относительно горизонтальной плоскости резания. Проанализировано влияние на процесс резания угля, изменение точки приложения, составляющей силы прижима относительно рукоятки ножа. Используя результаты исследований, была определена величина заменяющего коэффициента трения на поверхности приложения. Полученные результаты измерений и знание веса зарубочной мелочи угля позволили на определение влияния расположений среза относительно плоскости кливажа, на угол бокового раздробления. Результаты исследований представлены на графиках. В результате анализа полученных результатов утверждается, что: характер изменения средних сил прижима и средних сил резания похожи между собой, положение среза относительно плоскости кливажа в малой степени влияет на угол бокового раздробления, заменяющий коэффициент трения на поверхности приложения зависит от направления кливажа и частоты собственных колебаний ножа.

PRESSURE FORCE IN THE COAL CUTTING PROCESS WITH A SINGLE BLADE
WHILE CHANGING SOME OF THE CUTTER PARAMETERS

S u m m a r y

The results of investigations of lateral rigidity influence of the cutting blade on the coal cutting process with particular consideration of pressure force.

Cutter vibrations because of the cutting resistance changes were taken into consideration as well as their influence on the pressure force component.

The coal with different sloping planes and clear cleavage in the relation to the horizontal cutting plane was cut.

Influence on coal cutting process, change of the point of applying pressure force component in relation to cutter handle axis were considered.

Due to the obtained results the quantity of the replacing friction coefficient on the applying area was determined.

Measurement results and knowledge of coal cutting load coming from experiments helped to determine the influence of cutting position according to the cleavage planes on crumbling side angle.

Measurement results are presented on the diagrams. Replacing friction coefficient are presented on the tables.

Due to the result analysis it has been stated that: the character of average pressure force changes and average cutting forces in rigidity function is similar; cutting position in relation to cleavage planes influences the crumbling side angle to a little extent; replacing friction coefficient on the applying area depends on the cleavage direction and on the frequency of the own cutter vibrations.

СИМВОЛИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЫСВЕЖИВАЮЩИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Таблица 1. Обозначения показателей

Обозначения. В работе рассмотрены следующие высвеживающие
показатели: сила давления, коэффициент трения, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы.

Модели трения и жесткости системы в работе так же рассмотрены
для высвеживающих процессов. Для высвеживающих процессов
использованы модели высвеживающих процессов. Для высвеживающих
процессов использованы модели высвеживающих процессов.

На рисунке приведены результаты исследований высвеживающих
процессов. На рисунке приведены результаты исследований высвеживающих
процессов. На рисунке приведены результаты исследований высвеживающих
процессов.

1. Выводы

Для высвеживающих процессов так же рассмотрены следующие
показатели: сила давления, коэффициент трения, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы.

В работе рассмотрены следующие высвеживающие
показатели: сила давления, коэффициент трения, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы, коэффициент жесткости
системы, коэффициент жесткости системы.