

Jerzy CHODURA

ZAGADNIENIA PROCESU SKRAWANIA WĘGLA

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienie procesu skrawania węgla i frezowania. Porównano warunki pracy noży skrawających indywidualnie oraz zastosowanych w zespole (grupie). Zwrócono uwagę na zasadnicze różnice w trajektorii ruchu i sposobie przemieszczania się noży głowicy strugowej i kombajnu frezującego. Omówiono wzajemne oddziaływanie noży oraz wpływ grupowy noży skrawających w sąsiednich liniach skrawania jednocześnie lub z opóźnieniem czasowym. W podsumowaniu zestawiono wnioski dla konstruktorów i eksploatorów maszyn górniczych oraz zawarto postulat automatycznej regulacji prędkości posuwu kombajnu ściadowego.

Summary. In the paper have been described the basic differences in the operating conditions of the cutting tools of drum shears and coal ploughs. Attention has been paid to the difference in the positioning of the cutting tools with relation of the face of the wall and the shape of the trajectory of their motion. A distinction has been made between the cutting in the adjoining lines of cut in the intervals of time, and the cutters cutting simultaneously, and the differences in their operating conditions have been described. The problem of controlling the rate of travel of a shearer has been presented, as well as the problems associated with the removal of the so-called "ribs" between the lines of cut at a particular value of the rate of travel.

Резюме. В статье рассмотрены проблемы процесса резания угля путем строгания и фрезерования. Проведено сопоставление условий работы резцов, режущих индивидуально и выступающих в группе. Подчеркивается существенная разница в траектории движения и способе передвижения резцов струговой головки и фрезерного комбайна. Рассмотрено взаимное воздействие резцов, режущих в смежных линиях резания одновременно или с запаздыванием. В конце даются заключения для конструкторов и эксплуатирующих горные машины, а также предложение автоматической регуляции скорости подачи очистных комбайнов.

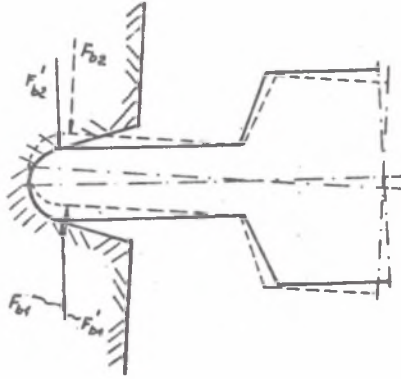
1. WPROWADZENIE

W chwili obecnej podstawowymi technikami skrawania stosowanymi w górnictwie węgla kamiennego są frezowanie (kombajny bębnowe) oraz struganie (strugi węglowe). Techniki te różnią się zasadniczo parametrami skrawania. Zakresy stosowania kombajnów i strugów zazębiają się jedynie w przypadku zastosowania tych maszyn w ścianach niskich i średniej wysokości. Zachodzi wówczas problem wyboru maszyny urabiającej. O ile zastosowanie kombajnu jest w takim przypadku ograniczone jedynie minimalną wysokością ściany, to strugi węglowe nie dają także jeszcze zadowalających wyników przy urabianiu węgla o wysokim oporze skrawania (wskaźniku skrawalności) A [kN/m]. W artykule niniejszym porównano procesy frezowania i strugania w wybranych aspektach mechaniczno-energetycznych.

2. PROCES STRUGANIA I FREZOWANIA POJEDYNCZYM NOŻEM

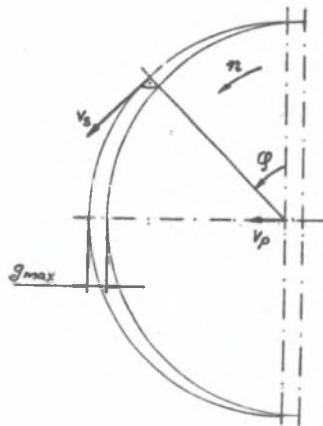
Jeżeli przyjrzeć się pracy pojedynczego noża skrawającego na głowicy strugowej i na organie urabiającym pracującymi w identycznym przodku węglowym, to zauważyć można, że warunki pracy tych noży zasadniczo się różnią. Noże strugowe urabiają węgiel wzdłuż czoła ściany na powierzchniach w przybliżeniu równoległych do spągu i stropu wyrobiska. W trakcie urabiania występuje docisk głowicy strugowej do urabianej calizny węglowej poprzez trasę przenośnika zgrzeblowego za pośrednictwem przesuwników obudowy zmechanizowanej. W efekcie noże umieszczone (osadzone) w uchwytych podlegają złożonemu stanowi obciążenia (naprężenia).

Stan obciążenia jest najbardziej skomplikowany w przypadku, gdy noże osadzone są w uchwytych luźno i pojawia się asymetria bocznych sił skrawania na nożach. Powoduje to zmianę kierunku wypadkowej siły skrawania, co z kolei wpływa na powstanie dodatkowych oporów tarcia na krawędziach tnących noża. Zagadnienie to przedstawiono schematycznie na rys. 1. Przy założeniu przekładki przenośnika zgrzeblowego urządzenia strugowego o wartości zabioru głowicy strugowej, co zapewnia znaczne obniżenie oporów ruchu głowicy strugowej, i dzięki temu przeznaczenie większej mocy napędów głowicy strugowej na właściwe urabianie, noże wykonują skrawy o podobnej (zbliżonej) głębokości. W przypadku pracy urządzenia strugowego ze stałym dociskiem przesuwników głębokość skrawu noży jest w znacznym stopniu zależna od lokalnych oporów



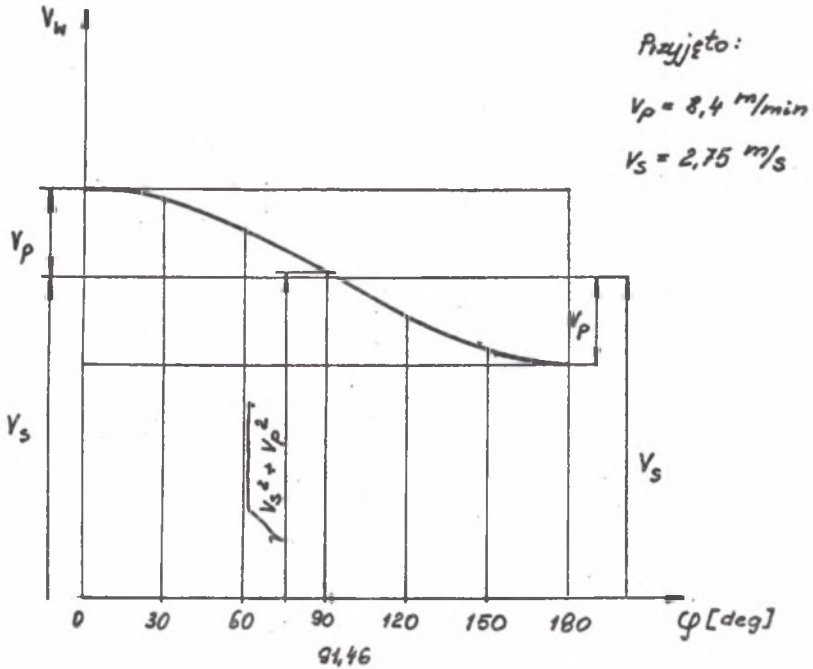
Rys. 1. Zmiana bocznych sił skrawania F_b na nożu w wyniku przemieszczeń noża w uchwycie

Fig. 1. A change of the lateral forces of cutting F_b on the cutter as a result of the cutter displacement in the holder



Rys. 2. Zmiana głębokości skrawu noży na bębnie urabiającym korbajnu ścianowego

Fig. 2. Changes in the depth of cut of the cutting tools in the shearer drum



Rys. 3. Wypadkowa prędkość ostrza noża v_w w funkcji kąta obrotu bębna urabiającego φ

Fig. 3. The resultant rate of the cutting tool edge v_w in the function of the angle of rotation of the shearer drum φ

urabiania węgla wzdłuż ściany. Efekt jest taki, że trasa przenośnika zgrzeblowego jest mocno wykrzywiona i rosną opory ruchu głowicy strugowej. Zagadnienie przekładki o zabiór struga ma zasadnicze znaczenie w przypadku pracy struga w węglach trudnourabialnych, gdzie często moc napędu wydaje się być niewystarczająca. Zmniejszenie nierównomierności obciążenia noży strugowych prowadzi do zmniejszenia szybkości zużycia noży i ma ochronny wpływ na napędy struga.

W procesie frezowania węgla nożem umieszczonym na bębnie kombajnu ściadowego zachodzi zjawisko zmiany głębokości skrawu noży na łuku skrawania. W zależności od wzajemnego układu prędkości posuwu i prędkości skrawania oraz średnicy organu urabiającego uzyskuje się różne przekroje wzdłużne skrawów. Zasadniczo przekroje te zbliżone są do kształtu sierpa (rys. 2), przy czym spotykane w literaturze opisy [1, 2] zagadnienie to upraszczają. Jednocześnie w trakcie ruchu noża umieszczonego na bębnie urabiającym zachodzi zmiana kierunku i wartości prędkości wypadkowej ostrza noża.

Celem przedstawienia, jak zmienia się wartość prędkości wypadkowej w funkcji kąta obrotu organu urabiającego, sporządzono rys. 3.

Jak widać, wartość wypadkowej prędkości noża jest dla określonego kąta obrotu organu urabiającego równa wartości prędkości skrawania. Kąt ten można obliczyć korzystając z zależności [3]:

$$v_w = \sqrt{(v_p + v_{sx})^2 + v_{sy}^2} = \sqrt{(v_p + v_s \cos\theta)^2 + v_s^2 \sin^2\theta} \quad (1)$$

dla warunku $v_w = v_s$. Otrzymamy wówczas wyrażenie:

$$v_p + 2v_s \cos\theta = 0 \quad (2)$$

Dokonując odpowiednich przekształceń (dla danych z rys. 3) otrzymamy:

$$\theta = 91,46^\circ$$

Maksymalną głębokość skrawu nóż osiąga w momencie, gdy jego prędkość wypadkowa zmienia znak [3]. Ponieważ kąt ten jest zbliżony do 90° ,

$$g^v = \frac{v_p}{n \cdot m} \sin \theta \quad (3)$$

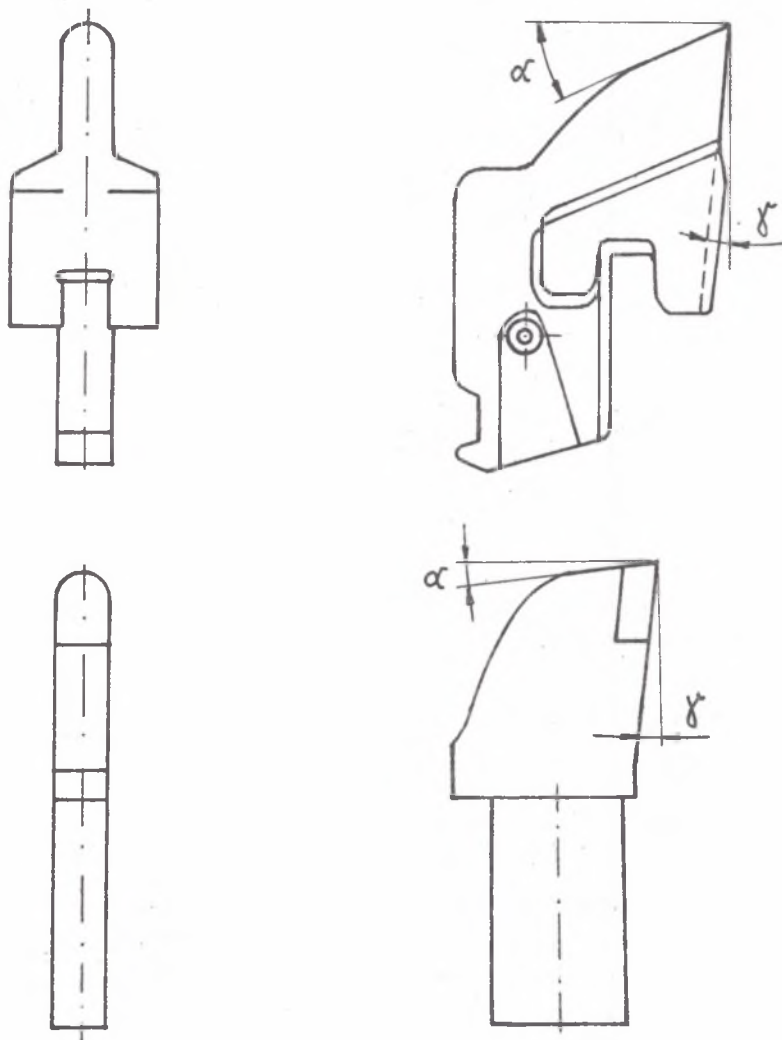
gdzie:

n - prędkość obrotowa organu urabiającego, obr./min⁻¹,

m - liczba noży w linii skrawania.

Noże strugowe i kombajnowe mają zadaną konstrukcyjnie geometrię części skrawającej. Oznacza to, że produkowane noże mają określone kąty natarcia i przyłożenia, których wartość wynika z doświadczeń eksploatacyjnych oraz założeń konstruktora. Na rys. 4 przedstawiono przykładowo po jednym egzemplarzu noży: strugowego stycznego i kombajnowego promieniowego.

O ile noże są ciasno pasowane w uchwytach, założone konstrukcyjnie kąty natarcia i przyłożenia nie zmieniają się w trakcie ruchu wzdłuż urabianego masywu węglowego. Gdy natomiast pojawiają się luzy między trzonkiem noża a uchwytem, dochodzi do zmiany ww. kątów w trakcie pracy noża (rys. 5). W rzeczywistym obiekcie pojawiają się kinematyczne kąty natarcia i przyłożenia (patrz [3]). Z uwagi na przerywany charakter pracy skrawających noży zaczynają się one w uchwytach poruszać i w konsekwencji występuje zużycie trzonek noży oraz uchwytów na określonych ich powierzchniach.

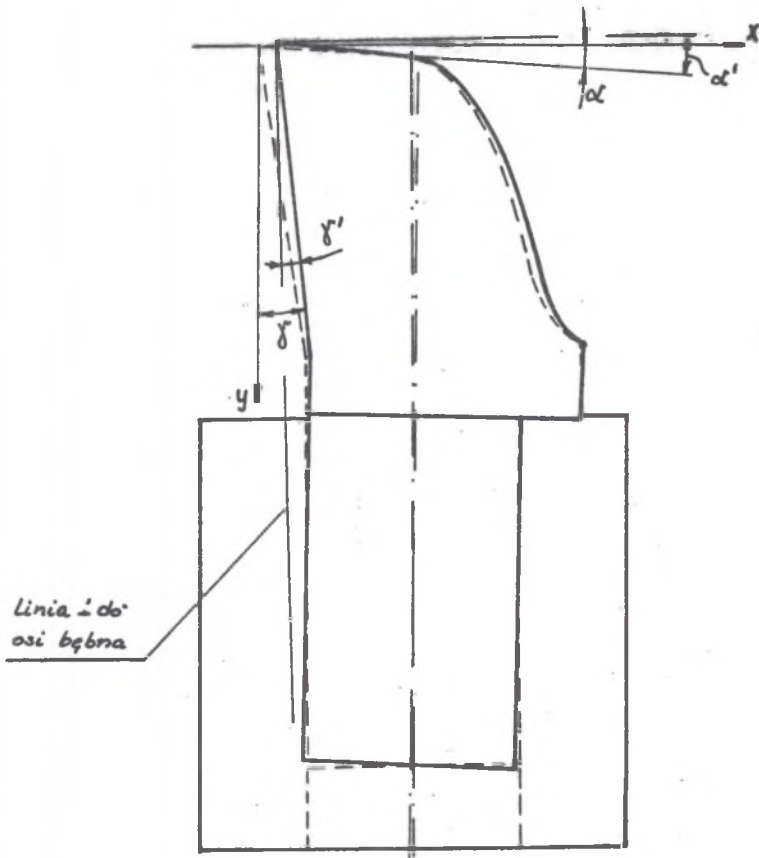


Rys. 4. Przykład noża

a) strugowego, b) kombajnu ścianowego

Fig. 4. An example of a cutting tool

a) of a coal plough, b) of a shearer loader



Rys. 5. Zmiana kątów natarcia γ i przyłożenia α promieniowego noża urabiającego

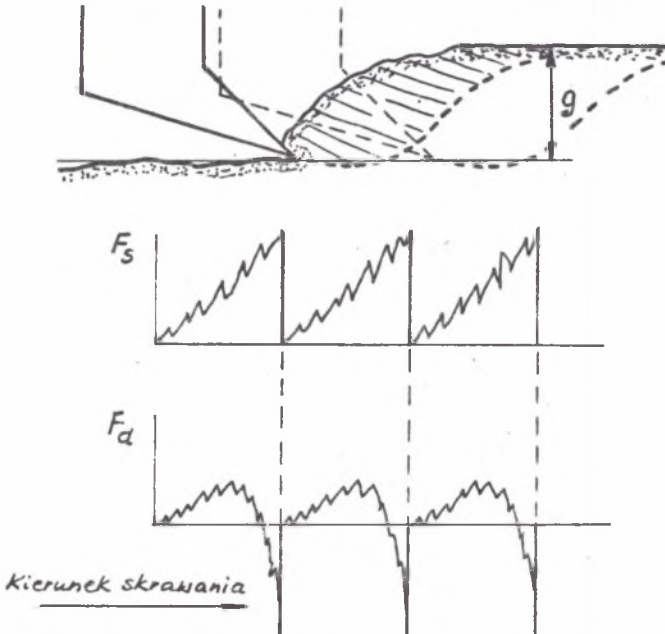
Fig. 5. A change of the angles of incidence γ and clearance α of a radial mining cutter

Jednocześnie w wyniku "obrotu" noża w uchwycie zmienia się wielkość powierzchni tarcia podczas kontaktu noża z urabianą calizną. Może to prowadzić do przyspieszonego zużycia noży na powierzchni przyłożenia i w konsekwencji do wzrostu sił skrawania. Ponieważ jednocześnie zachodzi zmiana kątów natarcia i przyłożenia ostrza w wyniku "obrotu" noża w uchwycie, zjawiska wzrostu sił skrawania i docisku mogą się sumować i może dochodzić do nieoczekiwanego wzrostu obciążenia noży oraz szybkiej utraty ich zdolności skrawania.

3. ODDZIAŁYWANIE NOŻY, WPŁYW GRUPOWY NOŻY

Noże urabiające wywołują określony stan naprężenia w strefie skrawania. Wielkość tej strefy uzależniona jest od wielkości sił skrawania, a co za tym idzie - od parametrów skrawania, takich jak głębokość skrawu, szerokość noża, geometria ostrza skrawającego, prędkość skrawania ale również od właściwości urabianego węgla [3].

Na rys. 6 przedstawiono teoretyczny przebieg siły skrawania w trakcie urabiania w funkcji drogi narzędzia. Wykres ten ma charakter przerywany, a sposób narastania siły skrawania uzależniony jest od wielkości występujących stref miażdżenia, pękania i kruszenia w strefie skrawania noża [4].

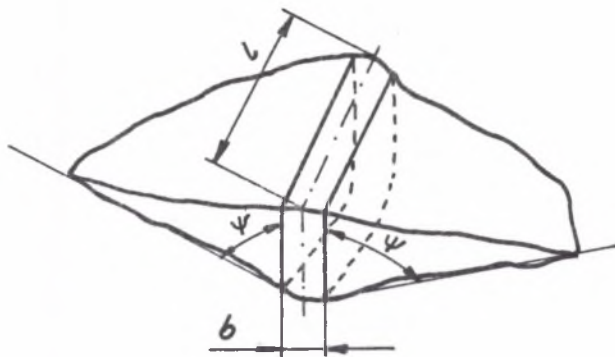


Rys. 6. Siły skrawania F_s i docisku F_α w trakcie skrawania

Fig. 6. Forces of cutting F_s and pressure F_α in the course of cutting

W wyniku działania siły skrawania odrywana jest przez nóż cząstka węgla o określonej objętości (rys. 7). Powierzchnie boczne tej cząstki ograniczone są kątem bocznego rozkruszania ψ , a długość cząstki wynosi l . Obie te wielkości są pochodną stanu naprężenia urabianej calizny węglowej [5].

W zależności od tego czy noże w sąsiednich liniach skrawają jednocześnie, czy też w odpowiednich odstępach czasowych oraz w zależności od podziałki linii skrawania możliwe są różne rodzaje oddziaływania noży.

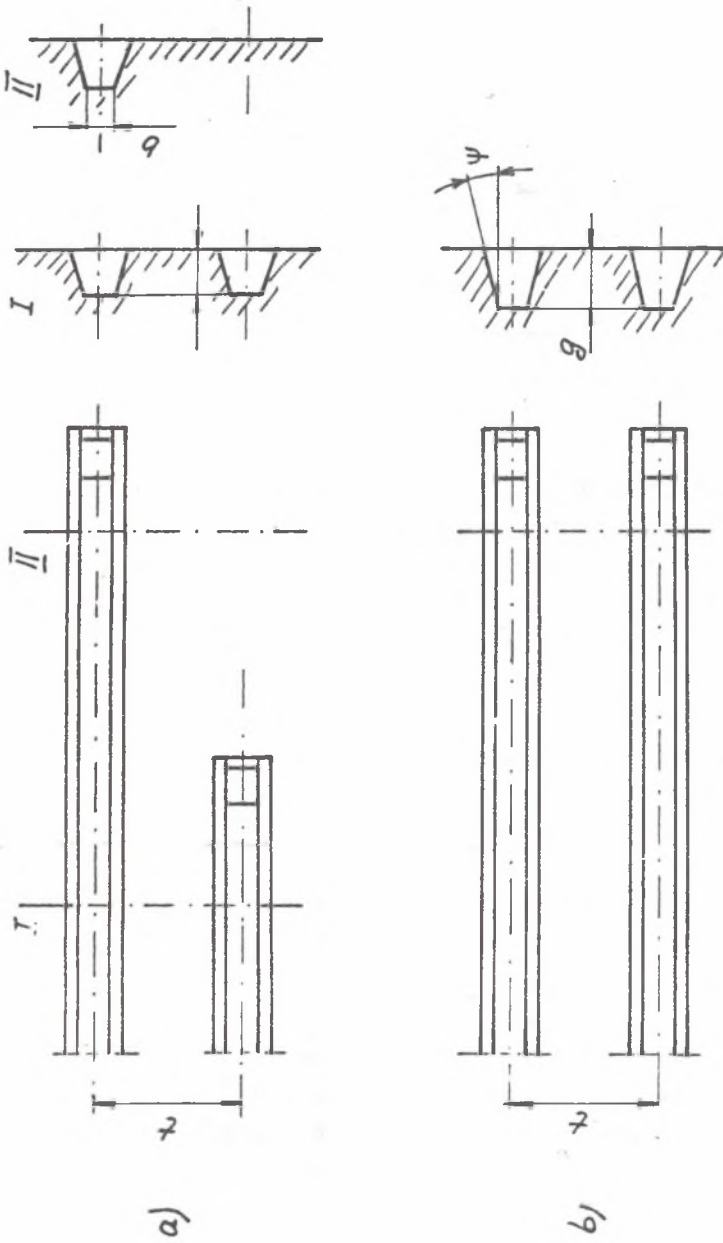


Rys. 7. Kształt cząstki węgla urobionej przez nóż o szerokości b
 Fig. 7. Shape of the particle of coal mined by a cutting tool of the width b

a) Noże skrawają w sąsiednich liniach w odpowiednich odstępach czasowych (rys. 8a). Przy zachowaniu określonego stosunku t/g , co wiąże się ze skrawaniem w sąsiedniej linii z zadaną głębokością skrawu, wystąpi wzajemny wpływ noży. Z badań [4] wynika, że po przekroczeniu wartości $t/g > 4$ nie ma już wpływu sąsiedniego skrawu. Przy $t/g > 2,5$ wpływ ten jest minimalny.

b) Noże skrawają w sąsiednich liniach jednocześnie (rys. 8b). W zależności od wywołanego pracą noży stanu naprężenia oraz przy zachowaniu odpowiedniego stosunku podziałki do głębokości skrawu t/g może wystąpić oddziaływanie noży na siebie. Może zachodzić sumowanie się wpływów związanych z istnieniem skrawu w sąsiedniej linii i jednocześnie ze stanem naprężenia wywołanym pracą sąsiedniego noża.

Należy zwrócić uwagę, że z przypadkiem a) mamy do czynienia przy urabianiu nożami umieszczonymi na organie urabiającym kombajnu bębnowego, a przypadek b) występuje przy pracy noży głowicy strugowej. Praca noży kombajnowych i strugowych różni się również kształtem skrawu (kierunkiem skrawania). W efekcie inaczej kształtują się siły skrawania w trakcie pracy tych noży. W obu przypadkach mamy do czynienia ze skokowym narastaniem siły skrawania, przy czym przy pracy noża kombajnowego następują również znaczne różnice pików siły skrawania z uwagi na zmianę głębokości skrawu wzdłuż łuku skrawania.



Rys. 8. Schemat urabiania nożami w sąsiednich liniach skrawania

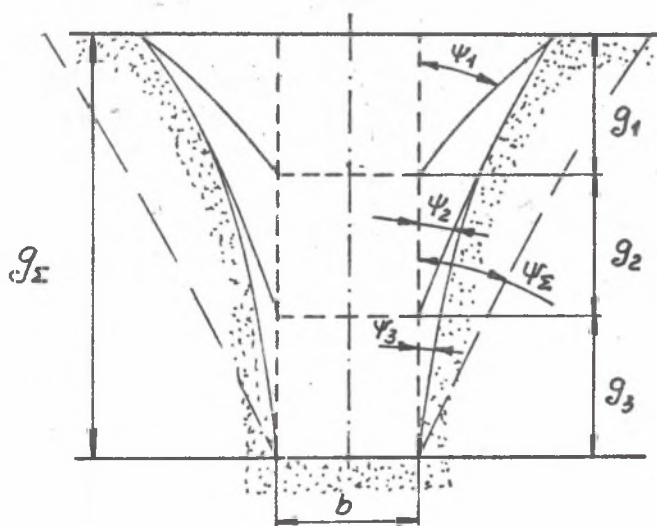
a) z opóźnieniem czasowym, b) jednoczesnego

Fig. 8. A diagram of mining by means of cutting tools in the adjoining lines of cut

a) with time lag, b) simultaneous

Ponieważ kombajny ścienne dostarczane są eksploatorom w określonych wersjach, tj. z założoną średnicą, zabieorem i prędkością obrotową bębna urabiającego, jak również podziałką linii skrawania, jedynym parametrem dającym się regulować jest prędkość posuwu.

Trzeba zwrócić uwagę, że po uruchomieniu kombajnu dla osiągnięcia przez niego nominalnej prędkości posuwu kombajn musi pokonać określony odcinek ściany. Jak wiadomo, dla zapewnienia wpływu sąsiednich linii, a co za tym idzie - pękania "grzebieni" między liniami skrawania niezbędne jest zapewnienie określonego stosunku t/g . Po uruchomieniu kombajnu stosunek ten jest duży, a kolejne skrawy noży wykonywane są w bruzdach po poprzednio urabiających nożach, a więc są to skrawy pogłębiające. Dopiero po uzyskaniu sumarycznej głębokości skrawu, odpowiadającej wymaganemu stosunkowi t/g , "grzebienie" są usuwane. Siła skrawania niezbędna w tym przypadku jest jednakże większa od siły występującej przy skrawaniu bezpośrednio z głębokością g_{Σ} (rys. 9). Kombajn musi się dysponować odpowiednią rezerwą mocy dla uzyskania nominalnej prędkości posuwu. Następnie należy zadbać o to, aby nie następowały znaczne odchylenia od prędkości nominalnej. Odchylenia w dół z uwagi na pozostawianie grzebieni między liniami skrawania, ale również odchylenia ponad prędkość nominalną. W obu przypadkach dochodzić bowiem może do tarcia uchwytów nożowych (lub płatów organu) o urabianą caliznę i niespodziewanych wzrostów obciążenia.



Rys. 9. Schemat skrawów pogłębiających

Fig. 9. A diagram of deepening cuts

Utrzymanie stałej nominalnej prędkości posuwu w ścianie jest zadaniem trudnym, aczkolwiek stosowanym przez renomowanych producentów kombajnów ścianowych za granicą. Firmy te poza minimalizacją oporów ruchu produkowanych kombajnów (np. płozy rolkowe) zalecają stosowanie obostrzeń eksploatacyjnych, np. w postaci prostoliniowości (odchyłki w odpowiednich granicach) trasy przenośnika zgrzeblowego, co w konsekwencji prowadzi poza zmniejszeniem oporów ruchu kombajnu do zmniejszenia obciążenia napędów przenośnika, poprawy stanu zabezpieczenia stropu itp.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule rozważania pozwalają na sformułowanie szeregu wniosków:

- procesy frezowania i strugania węgla, aczkolwiek zaliczają się do skrawania, różnią się szeregiem parametrów, które decydują o niemożności ich zastosowania w identycznych warunkach urabiania,
- zjawisko zmiany głębokości skrawu noża frezującego na łuku skrawania, wpływ kształtu drogi skrawania na efekt urabiania wymagają przeprowadzenia szerszych badań dla określenia, jak kształtują się siły skrawania (frezowania i strugania) w porównywalnych warunkach urabiania,
- podziałka linii skrawania noży strugowych i kombajnowych musi być ustalana w funkcji urabialności węgla w pokładzie,
- jako parametr charakterystyczny można przyjąć stosunek podziałki t do głębokości skrawu g , przy którym pękają "grzebienie" między liniami skrawania noży. Wymaga to prowadzenia, na etapie badań skrawalności węgla, odpowiednich badań rozeznawczych,
- geometrię ostrzy skrawających noży należy projektować przy uwzględnieniu możliwości przemieszczania się noża w trakcie ruchu, względem osi organu urabiającego,
- uchwyty nożowe, sposób mocowania noża w uchwycie winny być tak skonstruowane, aby w trakcie skrawania nie dochodziło do zmian założonych parametrów skrawania,
- regulacja automatyczna prędkości posuwu kombajnu ścianowego wydaje się być zagadnieniem godnym polecenia uwadze konstruktorów tych maszyn.

W Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej prowadzone są badania w zakresie procesów strugania i frezowania pojedynczym nożem i grupą noży. Wyniki tych badań pozwolą na sformułowanie bardziej szczegółowych wniosków.

LITERATURA

- [1] Opolski T., Korecki Z. - Ścianowe kombajny węglowe. wyd. Śląsk, Katowice 1977.
- [2] Opolski T. - Urabianie calizny węglowej narzędziami skrawającymi. Wyd. Śląsk, Katowice 1965.
- [3] Chodura J. - Zagadnienia obciążenia organu urabiającego kombajnu ścianowego. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. 7-8/1991.
- [4] Sakaloglou E. - Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Trennwiderstand und zur Spannbildung sproedelastischer Materialien bei Belastung durch Keilmessel unter besonderer Beruecksichtigung der Meisselgeometrie. Dissertation, TWTW Aachen 1984.
- [5] Tront A. - Badania nad stosowaniem wskaźnika skrawalności dla potrzeb lokalizacji i prognozowania parametrów maszyn urabiających. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1978.
- [6] Biały W. - Wpływ stanu naprężenia w strefie zabioru kombajnów ścianowych na urabialność mierzoną wskaźnikiem urabialności A. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1982.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Karol REICH

Wpłynęło do Redakcji w maju 1991 r.

THE PROBLEMS OF THE PROCESS OF COAL CUTTING

A b s t r a c t

In the paper have been described the basic differences in the operating conditions of the cutting tools of drum shearers and coal ploughs. Attention has been paid to the difference in the positioning of the cutting tools with relation to the face of the wall and the shape of the trajectory of their motion. Changes of the resultant velocity of the cutters placed in the shearer drum have been discussed. The change in the angle of incidence and clearance of the cutting tools as a result of the existence of clearances the cutter stem and the holder has been presented, as well as the changes of these angles in the course of the cutters motion. A theoretical course of the cutting forces during mining has been described. A distinction has been made between the cutting tools cutting in the adjoining lines of cut in the intervals of time, and the cutters cutting simultaneously, and the differences in their operating conditions have been described. The problem of controlling the rate of travel of a shearer has been presented, as well as the problems associated with the removal of the so-called "ribs" - between the lines of cut at a particular value of the rate of travel. Attention has been paid to the need for determining the scale of the line of cut of the cutters of the shearing machines in the function of the mining ability of the coal in a bed. The phenomenon of asymmetry of the cutting tools load as a result of improper fastening of the cutters in the holders located in the shearing members being displaced has been pointed out. The comparison of the forces loaded a coal plough working on an AFC with permanent pushing toward the face with a coal plough working on an AFC moving one web forward after every cutting has been presented. The process of chip rising and the progress of cutting forces during this process is described. The need of the shearer power excess in the aim providing of the nominal travel speed of a shearer loader has been noticated, as well as the need of minimization of the resistance to motion of shearer loader e.g by keeping an AFC in straight position.