ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria: GÓRNICTWO z. 137 Nr kol. 838

Janusz ŁUSZCZKIEWICZ
Józef KAWALER

ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ W OSTRZU NOŻA KOMBAJNOWEGO

Streszczenie. W artykule wyznaczono analitycznie rozkład naprężeń w ostrzu typowego noża kombajnowego promieniowego. Przedstawiono badania rozkładu naprężeń metodą warstwy elastooptycznej.

1. CEL I PRZEDMIOT BADAŃ

W projektowaniu noży skrawających skały wytyczne z punktu widzenia wytrzymałości odnoszą się głównie do ich trzonków [10]. Niemniej ważną sprawą jest przeprowadzenie podobnych rozważań dotyczących samego ostrza. Wynika to z faktu uzbrojenia ostrzy w węgliki spiekane charakteryzujące się między innymi bardzo małą udarnością i stosunkowo niską wytrzymałością na rozciąganie [13].

Zagadnienie rozkładu naprężeń w ostrzu skrawającym metale jest problemem znanym [4, 6]. W przypadku narzędzi skrawających skały problem jest zbliżony mimo innego kształtu ostrza.

Celem przeprowadzonych i przedstawionych badań było określenie rozkładu naprężeń w ostrzu typowego noża kombajnowego promieniowego. Zagadnienie powyższe dotychczas było badane metodą elastooptyczną w świetle przechodzącym, a wyniki zostały przedstawione w pracy [8].

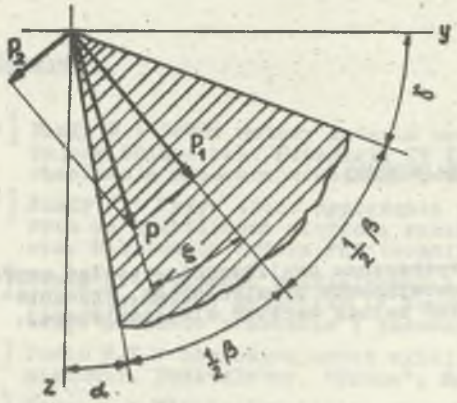
W niniejszej pracy rozkład naprężeń w ostrzu skrawającym wyznaczono metodą powierzchniowej warstwy elastooptycznej, która nie wymaga wykonywania specjalnego modelu, a badania przeprowadza się na obiekcie rzeczywistym i przy rzeczywistych obciążeniach. Za pomocą tej metody można wyznaczyć różnice odkształceń głównych oraz ich kierunki, analizując światło spolaryzowane, które przeszło od strony zewnętrznej przez warstewkę materiału elastooptycznego i po odbiciu od powierzchni analizowanej wróciło z powrotem [3, 11].

2. ANALIZA ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ W OSTRZU NARZĘDZIA

Wypadkową siłę skrawania P o wartości:

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} \tag{1}$$

działającą na ostrze podczas skrawania można rozłożyć na dwie siły: P_1 i P_2, jak pokazano na rys. 1. Siła P_1 działa w kierunku dwusiecznej kąta β powodując ściskanie ostrza, natomiast siła P_2 prostopadła do P_1 wywołuje zginanie ostrza.



Rys. 1. Rozkład wypadkowej siły skrawania P na siłę P_1 ściskającą ostrze i P_2 zginającą ostrze

P - siła wypadkowa działająca na ostrze, P_1 - składowa działająca w kierunku dwusiecznej kąta ostrza, P_2 - składowa działająca prostopadle do dwusiecznej kąta ostrza, α - kąt przyłożenie ostrza, φ - kąt natarcia ostrza β - kąt ostrza, ξ - kąt między kierunkiem działania siły P i dwusieczną kąta β

Oznaczając kąt ξ zawarty między kierunkiem działania siły wypadkowej P i dwusieczną kąta β, określamy wartości sił P_1 i P_2:

$$P_1 = P \cos\xi \tag{2}$$

$$P_2 = P \sin\xi \tag{3}$$

Do dalszych rozważań w celu uproszczenia zagadnienia przyjęto, że ostrze narzędzia ograniczone jest płaskimi powierzchniami natarcia i przyłożenia. W rzeczywistości tylko powierzchnia natarcia jest powierzchnią płaską, natomiast powierzchnia przyłożenia jest powierzchnią wypukłą, zaś przekrój ostrza jest zbliżony do trapezu.

Przyjmując powyższe założenie, możliwe jest obliczenie naprężeń normalnych wywołanych siłami P_1 i P_2, posługując się wzorami dotyczącymi zginania i ściskania klina [12].

W dowolnym punkcie określonym współrzędnymi biegunowymi (promieniem r i kątem φ) naprężenie normalne (promieniowe) spowodowane siłą ściskającą P_1 jest wyrażone równaniem:

$$\sigma_{r_1} = -\frac{2P_1}{b\,r}\,\frac{\cos\varphi}{\beta + \sin\beta}, \tag{4}$$

gdzie:

b - długość odcinka czynnej krawędzi skrawającej, na którym działa siła P o umownym rozkładzie liniowym.

Natomiast naprężenie normalne wywołane siłą zginającą P_2 jest przedstawione równaniem:

$$\sigma_{r_2} = \frac{2P_2}{b\,r}\,\frac{\sin\varphi}{\beta - \sin\beta} \tag{5}$$

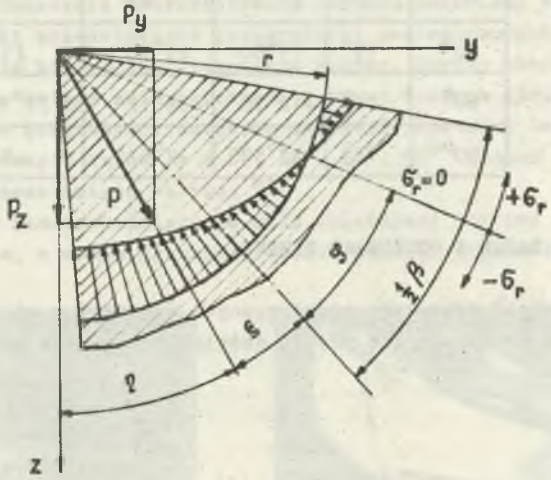
Wypadkowe naprężenie normalne wynosi:

$$\sigma_r = \frac{2P}{br}\left(\frac{\sin\zeta\,\sin\varphi}{\beta - \sin\beta} - \frac{\cos\zeta\,\cos\varphi}{\beta + \sin\beta}\right), \tag{6}$$

gdzie:

ζ - kąt zawarty między siłą wypadkową a dwusieczną kąta β,

φ - kąt zawarty między dwusieczną kąta β a osią obojętną.



Rys. 2. Rozkład naprężeń normalnych w ostrzu noża

P - siła wypadkowa działająca na ostrze, P_y - składowa działająca wzdłuż osi y, P_z - składowa działająca wzdłuż osi z, r - promień, φ - kąt zawarty między dwusieczną kąta ostrza a osią obojętną, ζ - kąt między kierunkiem działania siły P i dwusieczną kąta β, η - kąt zawarty między kierunkiem działania siły wypadkowej P a osią współrzędnych z, β - kąt ostrza, σ_r - naprężenia normalne (promieniowe)

Przez sumowanie naprężeń σ_{r_1} i σ_{r_2} otrzymano graficznie rozkład naprężeń wypadkowych w ostrzu obciążonym siłą P (rys. 2). Jak widać z rys. 2, w ostrzu noża istnieje obszar naprężeń rozciągających i obszar naprężeń ściskających. Oba obszary materiału ostrza rozdzielone są linią zerowych naprężeń normalnych (promieniowych). Przyrównując wypadkowe naprężenie normalne do zera można określić położenie płaszczyzny normalnych nanaprężeń zerowych. Po rozwiązaniu równania (6) otrzymujemy:

$$\operatorname{tg}\Phi = \operatorname{tg}\varphi = \frac{\beta - \sin\beta}{\beta + \sin\beta}\,\frac{1}{\operatorname{tg}\zeta} \tag{7}$$

Podstawiając wartości liczbowe dla kąta $\beta = 75^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 10^\circ$ (nóż typu NK-4) oraz odpowiednie wartości dla kąta ζ związane z różnym kie-

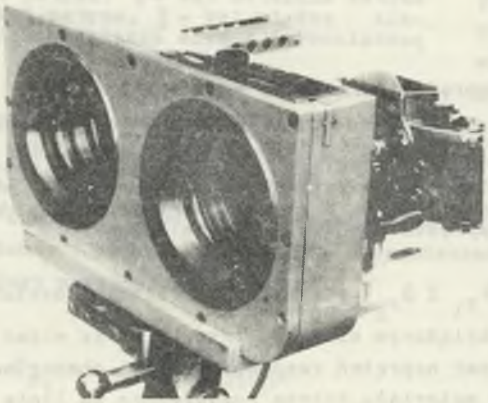
runkiem działania siły wypadkowej, otrzymano cztery charakterystyczne wartości położenia płaszczyzny normalnych naprężeń zerowych. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

γ	β	ξ	$\varphi_{obl.}$	$\varphi_{wyzn.}$
0°	75°	$47^o30'$	$7^o48'$	9°
30°	75°	$17^o30'$	$25^o30'$	25°
60°	75°	$-12^o30'$	$-34^o12'$	$>37^o30'$
90°	75°	$-47^o30'$	$-7^o51'$	-8°

3. PRZEBIEG BADAŃ I OTRZYMANE WYNIKI

Aby sprawdzić słuszność przytoczonych rozważań w odniesieniu do noży kombajnowych posłużono się metodą doświadczalną przy użyciu powłok optycznie czynnych.



Rys. 3. Polaryskop kołowo-liniowy

Do badanych noży kombajnowych stycznych typu NK-4 z jednej ich strony przyklejono powłoki optycznie czynne wykonane na bazie żywic epoksydowych [5]. Następnie dany nóż umocowywano w odpowiednio przygotowanym uchwycie śrubowym [7] i obciążano na maszynie wytrzymałościowej. Do przeprowadzenia pomiarów odkształceń powłokami optycznie czynnymi stosowano polaryskop kołowo-liniowy (rys. 3). Umożliwiał on rejestrację i obserwację badanej powłoki tak w świetle spolaryzowanym kołowo, jak i liniowo.

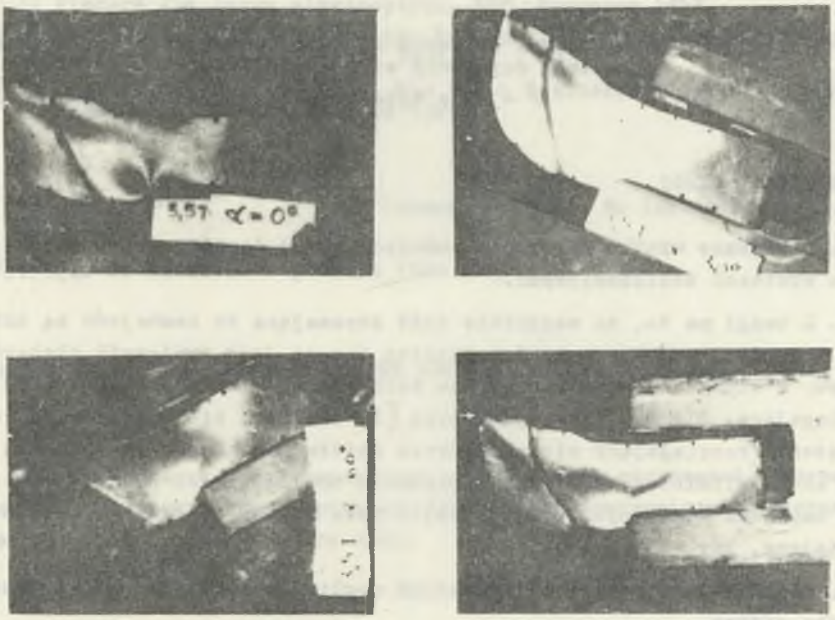
Badany nóż w uchwycie obciążano na maszynie wytrzymałościowej, a obrazy rejestrowano na błonie filmowej. W uchwycie wykonano odpowiednie boczne wycięcia w celu umożliwienia obserwacji i rejestracji obrazów. Badany element obciążano statycznie w zakresie od 0-35 [kN].

Ponieważ jak wiadomo, noże kombajnowe wykonują tzw. skraw sierpowaty, więc stosunek $P_y:P_z$ szybko maleje ze wzrostem głębokości skrawu [1, 9, 10]. W związku z tym należałoby sądzić, że podczas pracy noża kierunek działania siły wypadkowej będzie się zmieniał w przedziale $\eta = 30^\circ \div 90^\circ$.

Mając powyższe na uwadze, pomiary wykonano przy nachyleniu noży pod kątem 0°, 30°, 60°, 90° do poziomu, co imituje różne charakterystyczne kierunki działania siły wypadkowej.

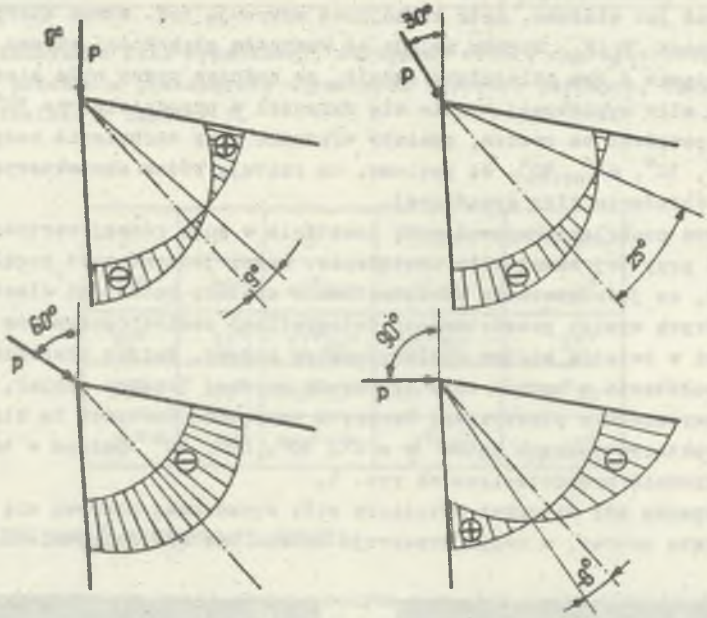
Te różne pochylenia spowodowały powstanie w nożu różnej wartości odkształceń przy tej samej sile obciążenia. Różny jest również rozkład odkształceń, co jednoznacznie udokumentowane zostało badaniami elastooptycznymi, których wyniki przedstawiono fotografiami zamieszczonymi na rys. 4 wykonanymi w świetle białym spolaryzowanym kołowo. Bardzo charakterystyczne jest położenie w ostrzu noża izochromy zerowej (czarna linia), która określa usytuowanie płaszczyzny zerowych naprężeń. Wartości te dla czterech charakterystycznych kątów $\eta = 0^\circ$, 30°, 60°, 90° podano w tablicy 1, a schematycznie przedstawiono na rys. 5.

W przypadku gdy kierunek działania siły wypadkowej pokrywa się z dwusieczną kąta ostrza, w całym przekroju ostrza wystąpi ściskanie.



Rys. 4. Izochromy w nożu promieniowym NK-4 przy różnym kierunku działania siły wypadkowej

a) 0°, b) 30°, c) 60°, d) 90°



Rys. 5. Położenie płaszczyzny zerowych naprężeń normalnych przy różnych kierunkach działania siły wypadkowej

P - siła wypadkowa

4. WNIOSKI I UWAGI

1. Otrzymane wyniki na drodze doświadczalnej dostatecznie pokrywają się z wynikami obliczeniowymi.

2. Z uwagi na to, że wszystkie noże skrawające do kombajnów są uzbrojone w węgliki spiekane, bardzo istotną sprawą jest znajomość obszarów w ostrzu, w których panują naprężenia ściskające, a zwłaszcza naprężenia rozciągające. Dla węglików spiekanych [2] bardziej niebezpiecznymi są naprężenia rozciągające niż naprężenia ściskające. Mając powyższe na uwadze, aby wyeliminować w ostrzu naprężenia rozciągające, płaszczyzna zerowych naprężeń normalnych powinna wyjść poza obszar ostrza, co będzie miało miejsce, gdy $\varphi \geq 0,5\beta$.

3. Najodpowiedniejszym usytuowaniem węglika spiekanego będzie dwusieczna kąta ostrza.

4. Wraz ze zmniejszaniem kąta natarcia zmniejsza się w ostrzu obszar występowania naprężeń rozciągających. Dlatego z punktu widzenia trwałości uzbrojenia ostrza uzasadnione byłoby stosowanie ujemnych kątów natarcia w nożach kombajnowych.

LITERATURA

[1] Bieron A. i in.: Rezanie ugla. Gosgortechizdat, Moskwa 1962.

[2] Dmochowski J., Majewski W., Zieliński Z.: Technologia narzędzi skrawających. WNT, Warszawa 1972.

[3] Doroszkiewicz R.S.: Elastooptyka. PWN, Warszawa-Poznań 1975.

[4] Górski E., Harasymowicz J.: Podstawy projektowania narzędzi skrawających wraz z zagadnieniami technologicznymi. PWN, Warszawa 1976.

[5] Kawaler J., Wójciski Z.: Badania rozkładów odkształceń w elementach konstrukcyjnych, wykonywanie powłok optycznie czynnych i stosowana aparatura. Prace Instytutu Odlewnictwa. Zeszyt 1/73. Kraków 1973.

[6] Kunstetter St.: Narzędzia skrawające do metali. PWT, Warszawa 1973.

[7] Łuszczkiewicz J.: Mechanizmy mocujące noże skrawające w kombajnach. Mechanizacja i Atuomatyzacja Górnictwa 12/97, Katowice 1976.

[8] Michajlow W., Krapiwin M.: Gornyje instrumienty. "Nedra", Moskwa 1970.

[9] Opolski T.: Urabianie calizny węglowej narzędziami skrawającymi. "Śląsk", Katowice 1965.

[10] Opolski T., Korecki Z.: Scianowe kombajny węglowe. "Śląsk", Katowice 1976.

[11] Pindera J.: Zarys elastooptyki. PWT, Warszawa 1953.

[12] Praca zbiorowa: Spravocznik: Procznost, ustojczivost, kolebanija. Maszinostrojenije, Moskwa 1972.

[13] Pozin E.Z., Melamed W.Z., Łon W.W.: Razruszenie uglej wyjemocznymi maszinami. "Nedra", Moskwa 1984.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1984 r.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСТРИЕ КОМБАЙНОГО НОЖА

Р е з ю м е

В статье аналитически определено распределение напряжений в острие ножа комбайна роторного тира. Проведены исследования распределения напряжений методом эластопластического слоя.

STRESS PATTERN IN A SHEARER CUTTER BLADE

S u m m a r y

In the article a stress pattern in a blade of a typical shearer cutter has been defined. The study of the stress pattern by means of the elasto-optical layer method has been presented.