

Józef JONAK
Jerzy PODGÓRSKI
Jakub GAJEWSKI

BADANIA NUMERYCZNE WPLYWU WARTOŚCI KĄTA NATARCIA OSTRZA NA PROCES FORMOWANIA WIÓRA PODCZAS SKRAWANIA MATERIAŁÓW KRUCHYCH

NUMERICAL RESEARCH THE INFLUENCE OF CUTTING EDGE RAKE ANGLE TO CHIP FORMING PROCESS DURING BRITTLE MATERIALS CUTTING

W artykule przedstawiono wyniki symulacji procesu skrawania anizotropowych ciał kruchych ostrzem o różnej wartości kąta natarcia. Badano proces propagacji szczeliny towarzyszącej odspajaniu przez ostrze większych elementów wióra. Analizę prowadzono z wykorzystaniem Metody Elementów Skończonych w analizie naprężeń oraz w oparciu o metodę „traconych elementów” dla analizy propagacji szczelin.

Słowa kluczowe: procesy skrawania, MES, materiały anizotropowe

The results of cutting anisotropic fragile substance simulations are presented in this article. Analysis using finally elements methods in stresses was described.

Keywords: cutting process, FEM, anisotropic material

1. Wprowadzenie

Mechanika procesu skrawania materiałów kruchych jest do chwili obecnej znacznie słabiej poznana niż w przypadku skrawania materiałów plastycznych. Znajomość tego procesu a zwłaszcza możliwość jego symulacji jest istotna z wielu powodów.

W przypadku obróbki materiałów kruchych w procesach skrawania realizowanych w dzisiejszych technikach wytwarzania, ułatwiłoby to znacznie właściwy dobór geometrii ostrza, parametrów skrawania oraz naddatków technologicznych w poszczególnych operacjach technologicznych (obróbka wstępna, kształtująca lub wykończeniowa) tak, aby nie generować braków, z uwagi na penetrację szczeliny poniżej planowanej trajektorii skrawania. W przypadku technologii górniczej, pozwoliłoby to prowadzić proces pod

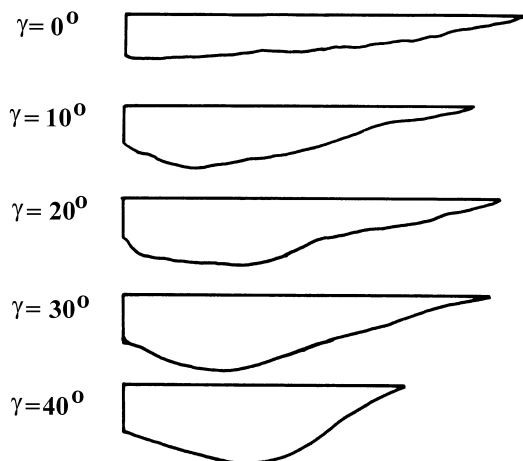
kątem uzyskiwania maksymalnego zasięgu (w danych warunkach skrawania) odspojen materiał, co jest istotne z punktu widzenia ograniczenia nadmiernego rozdrobnienia urobku kopaliny użytecznej (węgla).

Z przedstawionych powodów oraz z uwagi na ciągle rosnące znaczenie materiałów kruchych w dzisiejszej technice, ranga poruszanego problemu ciągle narasta, co z kolei uzasadnia prowadzenie prac w prezentowanym temacie.

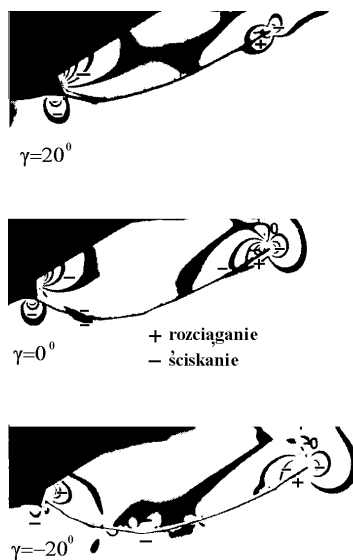
Dotychczasowe badania laboratoryjne wykazują (np. [1]), że w procesie propagacji szczeliny towarzyszącej odspajaniu elementu wióra, istotną rolę pełni wartość kąta natarcia ostrza. Szczegółowe badania Sakaloglou [1] na materiale modelowym, pozwoliły stwierdzić, że dla głębokości skrawu $h = 10\text{mm}$, zmiana kąta natarcia w zakresie od 0° do 60° , wywołuje skrócenie zasięgu szczeliny pierwotnej (tym samym

zmniejszenie długości wióra) z około 100mm dla $\gamma = 0^\circ$, do około 40mm dla $\gamma = 60^\circ$. Równocześnie też zmienia się kierunek penetracji szczeliny. Im większy kąt natarcia tym szczelina przed ostrzem penetruje bardziej w głąb materiału, a spada jej zasięg (rośnie tym samym grubość głównego elementu wióra), co ilustruje rys. 1

Również inne badania np. elastoptyczne (np. [2]), potwierdzają istotny wpływ kąta natarcia ostrza na kształt i zasięg szczeliny towarzyszącej formowaniu większego elementu wióra, co z kolei ilustruje rys. 2.



Rys. 1. Wpływ kąta natarcia ostrza na kształt i wymiary elementu wióra podczas skrawania materiału kruchego (te same warunki skrawania). Kształt krzywej ograniczającej element wióra od dołu, ilustruje kształt propagującej szczeliny towarzyszącej odspajaniu elementu [1]



Rys. 2. Wpływ wartości kąta natarcia ostrza, na propagację szczeliny przed ostrzem, w świetle badań elastoptycznych [2]

Jak wynika z rys. 2, malejący kąt natarcia ostrza sprzyja głębszej penetracji szczeliny. Dla ujemnych wartości tego kąta, szczelina penetruje na dużą głębokość, poniżej założonej trajektorii krawędzi skrawającej (w tym przypadku równoległej do dłuższego boku rysunku).

Symulacje rozpatrywanego procesu są znacznie utrudnione, gdyż ilość czynników wpływowych, związanych np. z istotnymi parametrami opisującymi materiał kruchy (w tym zwłaszcza skały) jest znaczna, a na dodatek, w rzeczywistych materiałach, właściwości te zmieniają się w sposób często losowy. Brak jest także równań konstytutywnych odpowiednio dokładnie opisujących zachowanie się materiałów kruchych pod obciążeniem. W efekcie poruszana tematyka jest do dzisiaj stosunkowo słabo poznana.

2. Przebieg symulacji

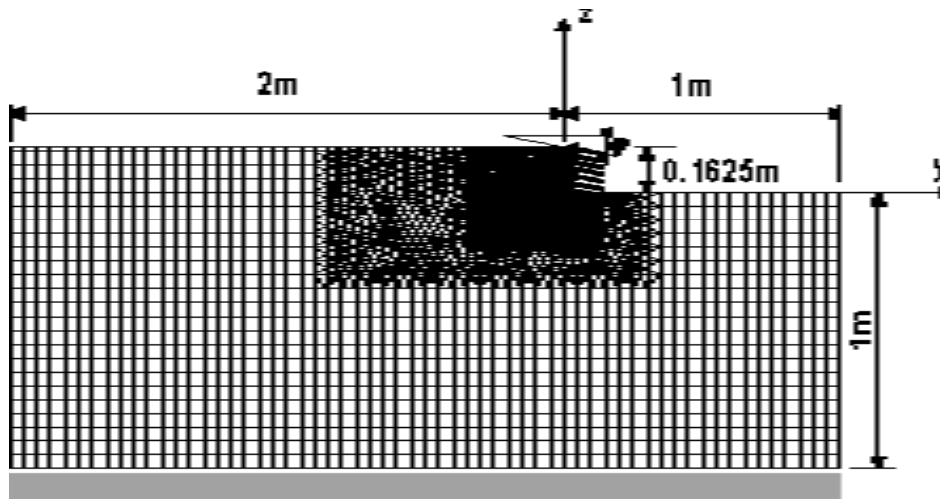
Do analizy przyjęto przypadek skrawania ortogonalnego. Założono nieskończoną szerokość ostrza, celem pominięcia w analizie wpływu oddziaływania bocznych powierzchni ostrza. Parametry geometryczne modelu, który był przedmiotem analizy, podane zostały na rys. 3. Oddziaływanie ostrza o określonej geometrii, na skałę, symulowano jako oddziaływanie obciążenia ciągłego na próg skalny o wysokości odpowiadającej głębokości skrawania danym ostrzem. Założono, że kontakt z ostrzem odbywa się tylko wzdłuż powierzchni natarcia, na długości wynikającej z pochylenia tej powierzchni oraz założonej głębokości skrawania (wysokości progu). Analizowano tym samym wpływ kierunku oddziaływania obciążenia zewnętrznego na próg skalny, na przebieg procesu propagacji szczeliny w trakcie niszczenia struktury materiału. Analizę prowadzono dla kąta oddziaływania obciążenia zewnętrznego $\varphi = -15$ oraz 15° . W każdym przypadku wartość obciążenia zewnętrznego była taka sama, zmieniał się jedynie kierunek oddziaływania na próg skalny. Ujemną wartość kąta φ przyjęto w przypadku zwrotu obciążenia skierowanego przeciwnie do zwrotu osi OZ.

Do analizy wybrano warunek stanu granicznego PJ (zaproponowany przez Podgórskiego [4, 5]), który zakłada zależność wyteżenia materiału od trzech niezmienników tensora naprężenia.

Charakterystyki materiałowe przyjęto odpowiednio: wytrzymałość na ściskanie $f_c = 20$ MPa, $f_{cc} = 22$ MPa, $f_{oc} = 25$ MPa, oraz wytrzymałość na rozciąganie $f_t = 2$ MPa. Moduł Younga $E = 2 \times 10^4$ MPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,2$.

Podobnie jak w innych analizach (np. [5]) przyjęto następującą procedurę analizy procesu pęknięcia:

- wyznaczenie naprężeń od jednostkowego obciążenia,



Rys. 3. Parametry geometryczne modelu (dodatni kąt oddziaływania obciążenia ϕ) [3]

- wyszukanie elementu modelu, w którym wartość wyężenia wg przyjętego kryterium osiąga wartość największą,
- wyznaczenie wartości obciążenia, przy której spełnione wyężenie w wybranym elemencie osiąga wartość krytyczną,
- usunięcie wybranego elementu.

Po zakończeniu tego cyklu następuje powrót do etapu 1. Analizę przerywa się po przebiegu zadanej liczby kroków lub w przypadku zniszczenia modelu. Zarejestrowane wartości obciążenia krytycznego wraz z przemieszczeniem wybranego punktu modelu zapisywane są do dalszej analizy.

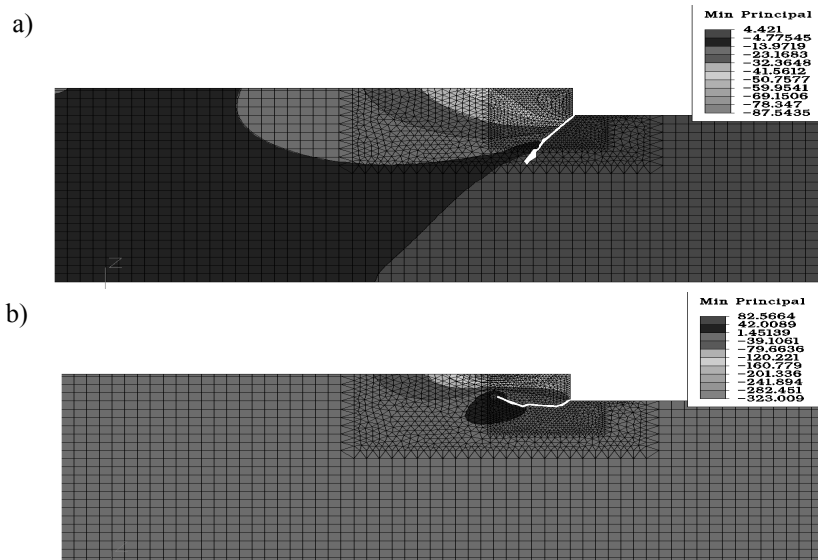
Standardowo, obliczenia przeprowadzono przy użyciu modułu SSAP0 systemu Algor oraz autorskiego oprogramowania Podgórskiego, którego

zadaniem było sprawdzanie wyężenia, usuwanie „zniszczonych” elementów oraz rejestracja wartości obciążeń krytycznych.

3. Uzyskane wyniki symulacji

W wyniku przeprowadzonych analiz, uzyskano mapy odpowiednich naprężeń w okolicach symulowanego oddziaływania ostrza oraz trajektorie potencjalnych szczelin, towarzyszących odpajaniu elementu wióra, co ilustruje rys. 4.

Jak wynika z rys. 4a, oddziaływaniu obciążenia skierowanego w stronę powierzchni swobodnej (zwrot w kierunku osi OZ, kąt $\phi = 15^\circ$) towarzyszy szybka penetracja szczeliny w stronę tejże powierzchni, z minimalnym jedynie przekroczeniem trajektorii krawędzi skrawającej. Gdy kąt oddziaływania jest



Rys. 4. Wpływ oddziaływania obciążenia ciągłego na próg skalny, na przebieg propagacji szczeliny oraz rozkład naprężeń σ_{min} w okolicach rozpatrywanego progu: a) $\phi = 15^\circ$, b) $\phi = -15^\circ$

odpowiednio mały ($\varphi = -15^\circ$) zaobserwować można silną penetrację szczeliny w głąb materiału, daleko poniżej trajektorii krawędzi skrawającej.

4. Podsumowanie

Analiza przeprowadzona w pracy wykazuje widoczną zależność kierunku obciążenia zewnętrznego, na kształt i kierunek propagacji rys w materiale kruchym. Poprzez analogię, można przyjąć, że w podobny sposób zachodzić będzie oddziaływanie ostrza o określonej geometrii na skalę. Uzyskane wyniki są bardzo zbliżone z wynikami badań laboratoryjnych i przemysłowych, prowadzonych w różnych ośrodkach i różnymi metodami, nad kształtowaniem

się trajektorii odspajania, zależnie od wartości kąta natarcia ostrza.

Analiza wykazała ponadto, iż problemy analizy szczelin, w których dominują obszary naprężeń ścinających i płaskie stany naprężenia mogą być rozwiązywane dostatecznie dokładnie przy użyciu opisanego kryterium PJ, Metody Elementów Skończonych i „metody traconych elementów”. Dalsze dopracowanie metody może w przyszłości ułatwić znacząco symulację procesów skrawania różnorodnych materiałów kruchych, umożliwiając dobór warunków obróbki jak i prognozowanie efektów tej obróbki lub procesów urabiania w przypadku technik urabiania, w technologii górniczej.

5. Literatura

- [1] Sakaloglou E.: *Theoretische und experimentelle untersuchungen zum trennwiderstand und zur spanbildung sprödelastischer materialien bei belastung durch keilmeissel unter besonderer berücksichtigung der meisselgeometrie*. Diss. TH Aachen, 1984.
- [2] Wagner H.: *Der Mechanismus der Spanentstehung beim Zerspanen von Gesteinen*. Rock Mechanics 3, pp. 159-174 (1971). Springer- Verlag 1971.
- [3] Podgórski J.: *The Influence Of The Layer Direction In Elastic-Brittle Material On The Progress Of Crack Propagation*, Journal of Mining Science, Kluwer Academic/Plenum Publishers. (2003, in press)
- [4] Podgórski J.: *General Failure Criterion for Isotropic Media*. Journal of Engineering Mechanics ASCE, 111(1985) 2, 188-201.
- [5] Podgórski J.: *Influence Exerted by Strength Criterion on the Direction of Crack Propagation in the Elastic-Brittle Material*. Journal of Mining Science, 38 (4), pp. 374- 380; Jul 2002.

*Praca powstała w ramach projektu badawczego nr 5T12A 015 23 finansowanego przez KBN
„Badania numeryczne stanu strefy skrawania skał silnie anizotropowych*

Dr inż. Jerzy PODGÓRSKI

Katedra Mechaniki Budowli
Politechnika Lubelska
e-mail: j.podgorski@pollub.pl

Dr hab. inż. Józef JONAK, prof. PL

Mgr inż. Jakub GAJEWSKI

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Lubelska
e-mail: j.jonak@pollub.pl, j.gajewski@pollub.pl
