

Jan ZAWADA

Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich
Politechnika Warszawska

UWAGI O UKŁADZIE: OBCIĄŻAJĄCE NARZĘDZIE- OŚRODEK KRUCHY

Streszczenie. Praca przedstawia znaczenie badań mechaniki układu: obciążające narzędzie-ośrodek kruchy. Opisuje doświadczenia ściskania próbek wapienia "Morawica" (prostokątne i krążki) stemplami o różnych kształtach (ściskanie jednokierunkowe i dwukierunkowe). Analizuje uzyskane rezultaty: wartości sił i energii kruszenia.

REMARKS ON CONFIGURATION=LOADING TOOL-BRITTLE MEDIUM

Summary. The paper presents significance of scientific research of mechanics of configuration: loading tool-brittle medium. It describes the experiments of compression of limestone "Morawica" with different stamps, as well as analyses of obtained results: forces and energy of crushing.

1. Wstęp

Sposób i rodzaj przykładania obciążania na ośrodek o różnych kształtach poprzez różne ukształtowane i rozmieszczone elementy robocze (narzędzia) wywiera zasadniczy wpływ na pękanie materiału, tzn.: wielkość nacisków, siły, energię, mechanizmy i postać pękania itd. Mechanika układu: obciążające narzędzie - ośrodek kruchy, pomimo niewątpliwego w ostatnich latach postępu, jest w dalszym ciągu mało poznana. Wynika to z trudności opisu ośrodka kruchego oraz z trudności w rozwiązywaniu bardziej skomplikowanych zagadnień brzegowych, zwłaszcza w ogólnym wypadku dynamicznych zagadnień przestrzennych [1]. Stąd wynika znaczenie badań doświadczalnych o charakterze podstawowym, ponieważ w wielu wypadkach należy najpierw zebrać informacje o danym procesie kruszenia, zanim zdołamy go opisać. Niejednokrotnie zresztą opis teoretyczny na obecnym etapie wiedzy jest wręcz niemożliwy.

W niniejszej pracy przedstawiamy procesy przebiegające w warunkach zbliżonych do płaskiego stanu odkształcenia (I seria doświadczeń) oraz w warunkach płaskiego stanu naprężenia (II seria doświadczeń). Będą to procesy realizowane z różnymi prędkościami obciążania (I seria) oraz procesy, w których obciążanie działa w jednym kierunku, jak również w dwóch kierunkach (II seria). Zbadamy, w jaki sposób zmieniają się siły i energia kruszenia przy zastosowaniu różnych układów: narzędzie - ośrodek kruchy.

2. Badania w warunkach płaskiego stanu odkształcenia (I seria doświadczeń) [2]

Badania polegały na wciskaniu stempli kołowych o promieniu zaokrąglenia $r=1; 6; 13$ mm oraz stempla klinowego o kącie wierzchołkowym $2\alpha = 90^\circ$ w próbki prostopadłościennie wykonane z wapienia zwartego "Morawica". Wapień "Morawica" jest skałą osadową o znacznej wartości kąta tarcia wewnętrznego $\alpha = 54^\circ$, wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie $S_c = 90$ MPa, wytrzymałości na jednoosiowe rozrywanie (z próby brazylijskiej) $S_r = 12$ MPa i spójności $c = 20$ MPa. Jego warunek zniszczenia przybliża warunek Mohra:

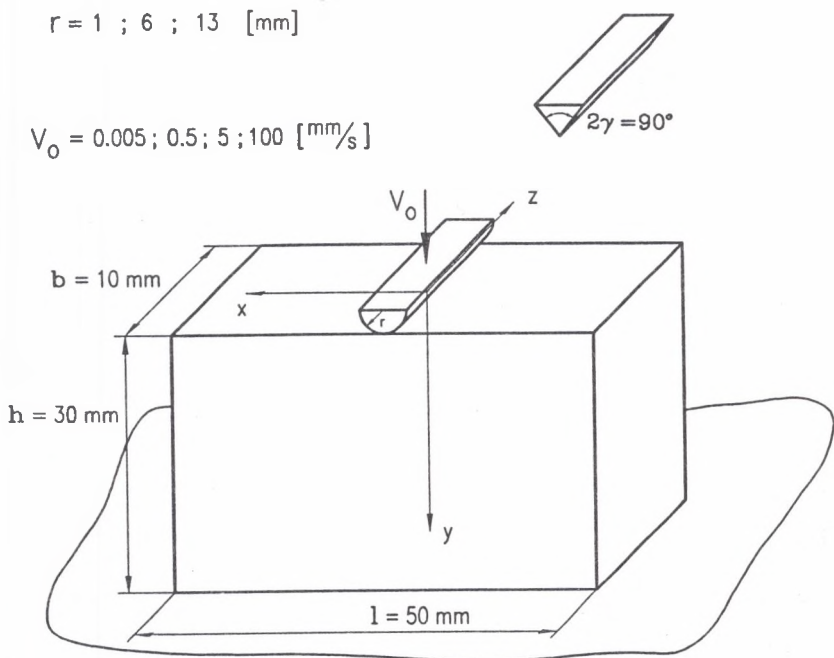
$$\left(\frac{\tau}{20}\right)^{1,17} - \frac{\sigma}{12} - 1 = 0 \text{ [MPa]}, \text{ gdzie symbole "s" i "t" oznaczają odpowiednio naprężenia}$$

normalne i styczne działające w płaszczyznach poślizgów [3]. Prędkości wymienionych wyżej narzędzi wynosiły: $v_0 = 0,005; 0,5; 5; 100$ mm/s. Charakter obciążania zmieniał się więc od obciążania quasi-statycznego do pośredniego [3]. Schemat jednoosiowego obciążania oraz inne dodatkowe szczegóły pokazuje rys. 1.

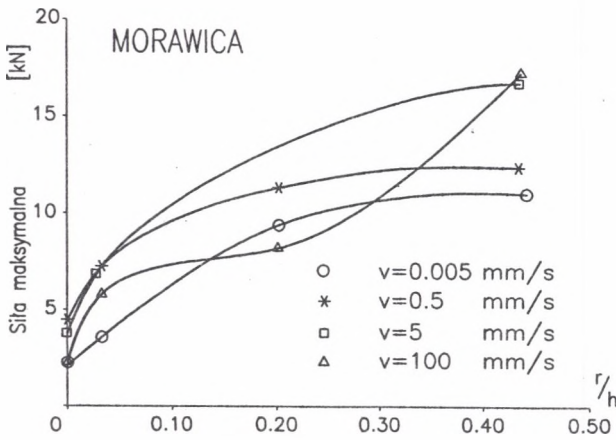
Doświadczenia przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej "Instron" wyposażonej w komputerowy układ sterowania i zbierania danych doświadczalnych. Próbka umieszczona była na wypolerowanej płycie dolnej trawersy maszyny, a stempel przymocowany był w specjalnym uchwycie wyposażonym w przegub kulisty.

Wyniki badań: wykresy sił kruszenia w funkcji Γ/h (r - promień zaokrąglenia, h - wysokość próbki) oraz energii kruszenia w funkcji Γ/h zamieszczono na rys.2 i 3. Wyniki dla stempla klinowego, dla którego $\Gamma/h = 0$, znajdują się na osiach rzędnych układów współrzędnych. Zgodnie z przewidywaniami siły pęknięcia rosną wraz ze zwiększającym się promieniem zaokrąglenia r i są najmniejsze dla stempla klinowego, największe zaś dla stempla zaokrąglonego promieniem $r = 13$ mm. Interesujące są uzyskane rezultaty z punktu widzenia właściwości reologicznych użytego wapienia. Otóż "Morawica" zachowuje się inaczej niż

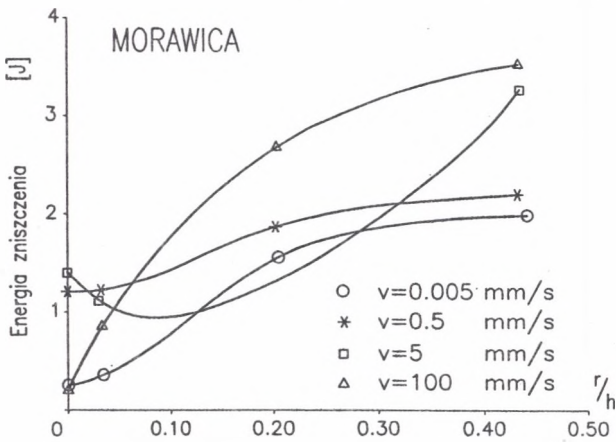
większość ośrodków (nie tylko kruchych), a mianowicie zmniejsza opór odkształcania przy wzrastających prędkościach v_0 . Na przykład największym zastosowanym prędkościom $v_0 = 5; 100$ mm/s nie zawsze odpowiadają odpowiednio duże siły. Charakter zmian energii zniszczenia (przy zastosowanych prędkościach v_0) jest różny. Przy największej prędkości $v_0 = 100$ mm/s obserwuje się gwałtowny jej wzrost, przy prędkości $v_0 = 5$ mm/s występuje wyraźne minimum, przy $v_0 = 0,5$ mm/s łagodny wzrost. Dla promienia zaokrąglenia $r = 1$ mm energia niewiele się różni (poza wypadkiem dla $v_0 = 100$ mm/s) od energii kruszenia klinem, a dla $v_0 = 5$ mm/s jest nawet od niej mniejsza. Spostrzeżenia te mogą mieć znaczenie praktyczne.



Rys. 1. Schemat wciskania różnych narzędzi w próbki z wapienia "Morawica"
 Fig. 1. Compression scheme of Morawica sample



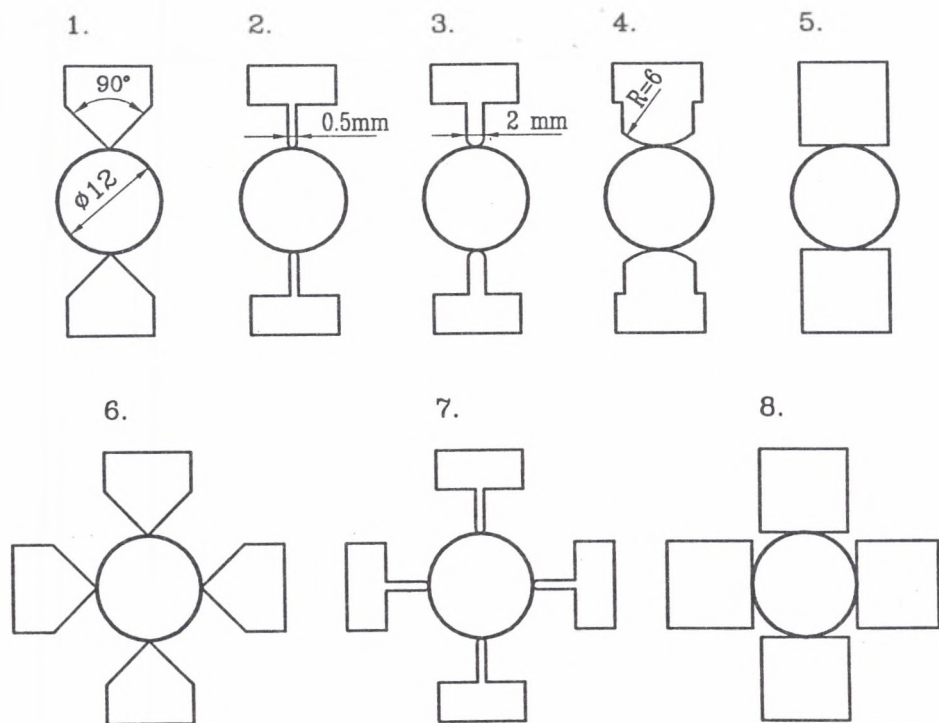
Rys.2. Wykresy sił kruszenia w funkcji wzrastających promieni zaokrąglenia stempli
Fig.2. The curves of crushing forces as a function of radiuses of round shape tool



Rys.3. Energia kruszenia w funkcji wzrastających promieni zaokrąglenia stempli
Fig.3. The crushing energy as a function of radiuses of round shape tool

3. Badania w warunkach płaskiego stanu naprężenia (II seria doświadczeń) [4]

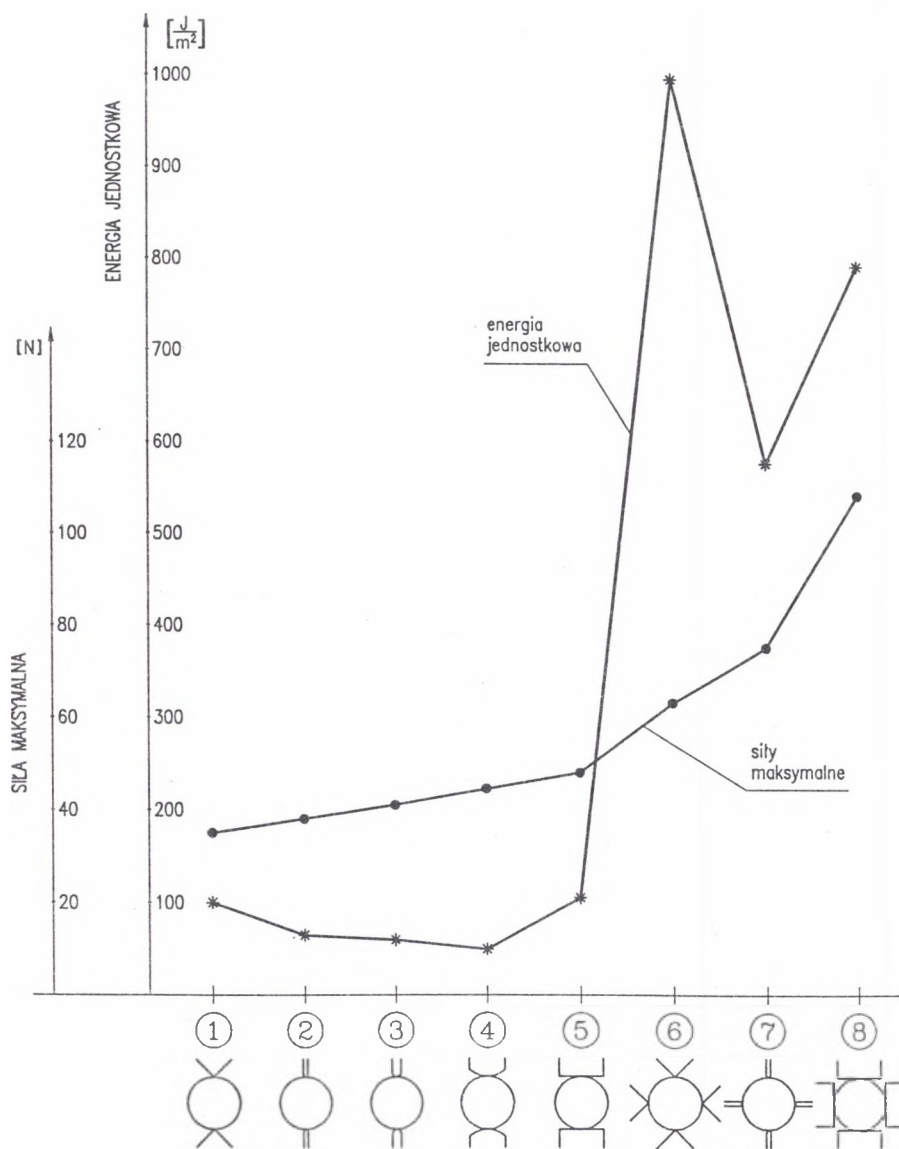
Doświadczenia obejmowały ściskanie krążków sprasowanego materiału kruchego narzędziami o różnych kształtach. Krążki obciążano z niewielką prędkością (quasi-statycznie) jednokierunkowo lub dwukierunkowo. Szczegóły tej serii doświadczeń podaje rys. 4.



Rys.4. Jednokierunkowe i dwukierunkowe ściskanie krążków różnymi narzędziami
 Fig.4. One and two axial compression of samples with different tools

Zestawienie średnich wartości sił kruszenia i jednostkowej energii kruszenia (tzn. energii odniesionej do przyrostu powierzchni) pokazano na poglądowym wykresie (rys.5).

Ściskanie klinami daje jak w I serii doświadczeń najniższe siły, ale energetycznie nie jest korzystne. Przeważają tutaj duże straty energii na lokalne deformacje. Najkorzystniejszy efekt energetyczny otrzymujemy stosując stemple zaokrąglone promieniem r równym promieniowi ścisanej tarczy. Straty energii na rozwijanie lokalnego mechanizmu są najmniejsze, a wydatek energetyczny potrzebny do zniszczenia próbki jest dwukrotnie mniejszy od często spotykanego sposobu kruszenia - ściskania między płytami (stemple 5). Najbardziej niekorzystne są wypadki obciążania większą liczbą stempli (obciążanie dwukierunkowe, stemple 6, 7, 8), w których występują duże siły kruszenia i znaczny wydatek energii.



Rys. 5. Sily maksymalne i energia kruszenia dla różnych sposobów obciążania krążków materiału

Fig. 5. Maximal forces and crushing energy for different methods of samples compression

4. Zakończenie

W pracy zwrócono uwagę na znaczenie teoretyczne i praktyczne badań podstawowych układu: obciążające narzędzie-ośrodek kruchy. Pokazano przykłady niektórych doświadczeń obciążania jednokierunkowego i dwukierunkowego próbek o różnych kształtach różnymi narzędziami i uzyskane wartości sił i energii kruszenia. W pracy pominięto kwestie dotyczące deformacji materiału, mechanizmów i postaci pękania, choć dla uzyskania pełnego obrazu procesów kruszenia należałoby również te czynniki analizować. Należy ponadto dodać, że niektóre z omawianych przykładów obciążania, stanowiące konkretne zagadnienia brzegowe, można rozwiązywać stosując metody teorii stanów granicznych. Traktuje o tym m.in. monografia [3].

LITERATURA

1. Zawada J.: Uwagi o wpływie prędkości obciążania na siły i energię kruszenia. I Międz. Konf. Przeróbki Kopalni, 213-222, Zakopane 1995.
2. Zawada J., Supel J., Dietrich L., Śliwowski M.: Analiza wpływu układu: narzędzie-ośrodek kruchy na proces kruszenia. Sprawozdanie cz.I, Politechnika Warszawska, IMRC, 1989.
3. Zawada J.: Obciążenia graniczne i pękanie skał (w modelowych procesach kruszenia). Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 1995.
4. Zawada J., Supel J., Michalski B.: Analiza wpływu układu: narzędzie-ośrodek kruchy na proces kruszenia. Sprawozdanie cz.II, Politechnika Warszawska, IMRC, 1990.

Recenzent: Dr inż. Jerzy Białas

Wpłynęło do Redakcji 25.09.1996 r.

Abstract

The paper presents significance of scientific research of mechanics of configuration: loading tool-brittle medium. It describes the experiments of compression of limestone "Morawica" with different stamps, as well as analyses of obtained results: forces and energy of crushing. The special attention is devoted for theoretical and practical meaning of using a theory of border statuses. The different dimensions of samples were used in researches of one and two axial compression.