

WYTRZYMAŁOŚĆ GIPSU
W ZŁOŻONYCH STANACH NAPRĘŻENIA

1. Wstęp

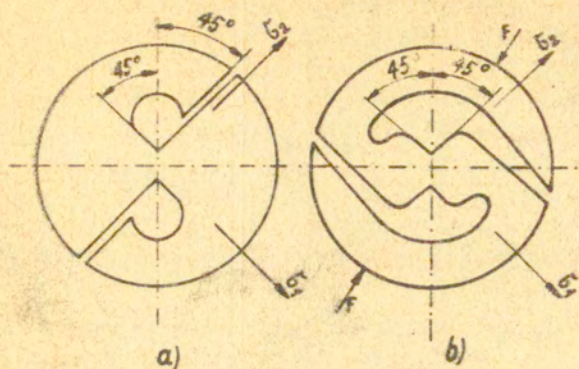
Jedną z cech materiałów kruchych - takich jak beton, skały czy ceramika - jest bardzo mała wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu do ich wytrzymałości na ściskanie. Bezpośredni pomiar wytrzymałości na rozciąganie takich materiałów napotyka na znaczne trudności i często stosowane są metody pośrednie jej pomiaru jak np. próba brazylijska, próby zginania belek czy metoda tzw. "hoop stress" [1, 2].

Znamiennym jest, że spośród wielu metod stosowanych pośrednich nie ma dwóch dających taki sam wynik. Rozbieżność ta jest zazwyczaj tłumaczona niejednorodnością stanu naprężenia w próbkach i tym samym zależnością wytrzymałości na rozciąganie od gradientu naprężeń. Wiąże się to z uznaniem za słuszną hipotezy, że wytrzymałość na rozciąganie materiałów kruchych jest stała i równa ich wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie /por. kryterium Griffith'a i rozszerzone kryterium Coulomba np. w [2]/.

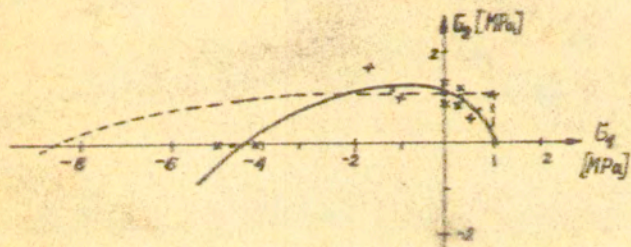
Prezentowana praca obejmuje weryfikację doświadczalną zachowania materiałów kruchych w płaskim stanie naprężenia na przykładzie badania kształtowych próbek gipsowych.

2. Metoda pomiaru

Opracowano nową metodę pomiaru wytrzymałości materiałów kruchych. Stanowi ona rozwinięcie metody badania kompozytów epoksydowo szklanych zaproponowanej przez Arcana i in. [3] - rys. 1a. Półka ma kształt tarczy kołowej. Jej specjalnie ukształtowana część środkowa pozwala na uzyskanie równomiernego rozkładu naprężeń wzdłuż przekroju pomiarowego. Przekrojem tym jest zwężenie próbki utworzone przez dwa prostokątne wycięcia. Krawędzie próbki w sąsiedztwie przekroju pomiarowego są nachylone pod kątem $\pm 45^\circ$



Rys. 1. Próbkę kołową:
a - według Arcana i in. [3]
b - o rozszerzonym zakresie pomiarowym



Rys. 2. Wytrzymałość gipsu w płaskim stanie naprężenia:

- średnia wartość, x - wartości skrajne,
- - - - kryterium Griffitha /wzór (1)/
- - - - proponowane kryterium /wzór (2)/

do tego przekroju.

Badanie elastoptyczne tak ukształtowanej próbki [3] przy jej ścisaniu lub rozciąganiu wzdłuż średnicy nachylonej pod kątem $45^\circ < \alpha < -45^\circ$ do przekroju pomiarowego wskazuje, że naprężenia główne są nachylone pod kątem $\pm 45^\circ$ do tego przekroju oraz, że naprężenie styczne τ_{\max} ma stałą wartość wzdłuż tego przekroju. Biorąc pod uwagę równania równowagi dla przekroju pomiarowego wynika stąd jednorodność stanu naprężenia w tym przekroju, niezależnie od zmienianego w szerokim zakresie stosunku naprężeń głównych /od jednoosiowego rozciągania do jednoosiowego ścisania/.

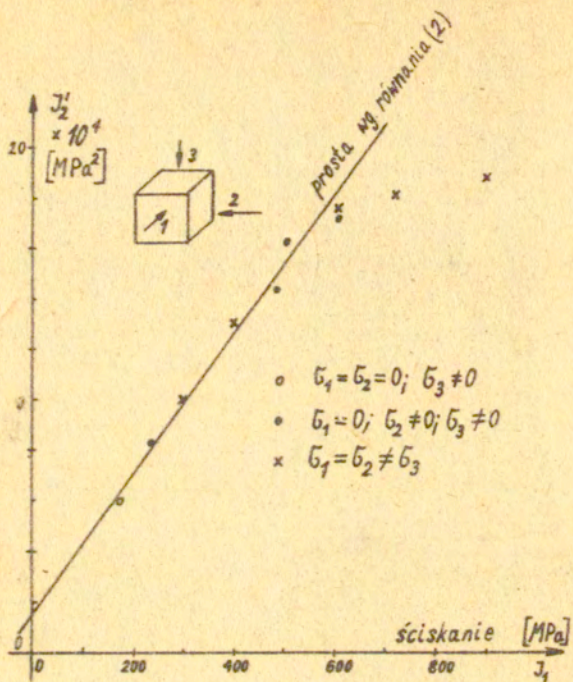
Rozszerzenie zakresu pomiarowego, potrzebne dla realizacji stanów dwuosiowego rozciągania, osiągnięto poprzez zmianę ukształtowania próbki - rys.1 b. W szczególności pozwoliło to na pomiar wytrzymałości gipsu przy dwuosiowym równomiernym rozciąganiu $\sigma_1 = \sigma_2$.

Pomiaru maksymalnej wartości siły ścisającej dokonano za pomocą głowicy tensometrycznej i mostka MT-10 z monitorem wartości szczytowej.

3. Wyniki pomiarów

Nową metodą przeprowadzono pomiary wytrzymałości gipsu w następujących stanach naprężenia: $\sigma_1 = \sigma_2$; $\sigma_1 = 0, 27\sigma_2$; $\sigma_1 = 0$, $\sigma_2 \neq 0$; $\sigma_1 = -\sigma_2$. Pomiaru wytrzymałości na jednoosiowe ścisanie $\sigma_2 = 0$, $\sigma_1 \neq 0$ dokonano ścisając próbki walcowe. Dla zmniejszenia tarcia u podstaw próbki użyto przekładki z folii polietylenowej smarowane olejem od strony stempli maszyny.

Średnie wyniki pomiarów /minimum z 5 próbek/ oraz wartości skrajne otrzymane dla każdego z badanych stanów naprężenia przedstawia rysunek 2. Widać wyraźne zmniejszenie wartości maksymalnego naprężenia rozciągającego wraz ze wzrostem naprężeń rozciągających w drugim kierunku. Efekt ten jest sprzeczny z kryterium Griffith'a i rozszerzonym kryterium Coulomba, w których przyjęto, że wytrzymałość na rozciąganie jest stała niezależnie od stanu naprężenia /w szczególności oznacza to, że wytrzymałość materialu na jednoosiowe rozciąganie powinna być identyczna jak jego wytrzymałość przy rozciąganiu dwuosiowym/. Dla lepszej oceny wyników przedstawi-



Rys.3

Rys.3. Wytrzymałość soli kamiennej na podstawie 5 ,
linią ciągłą przedstawiono kryterium opisane
równaniem 2 .

no na rysunku 2, linią przerywaną, kryterium Griffith'a opisane równaniami /naprężenia rozciągające przyjęto za dodatnie/:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 = 8 T_0 (\sigma_1 + \sigma_2) \text{ dla } \sigma_1 + 3\sigma_2 > 0; \sigma_2 = T_0 \text{ dla } \sigma_1 + 3\sigma_2 < 0 \quad /1/$$

gdzie T_0 oznacza wytrzymałość gipsu na jednoosiowe rozciąganie.

Wytrzymałość gipsu w płaskim stanie naprężenia opisuje najlepiej szczególna postać tzw. kryterium Misesa-Schleichera [4]:

$$a^2 J_2^* + S J_1 = S^2 \quad /2/$$

gdzie: a, S - stałe materiałowe,

$$J_2^* = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad \text{drugi niezmiennik}$$

dewiatora tensora naprężenia

$$J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad \text{pierwszy niezmiennik}$$

tensora naprężenia.

Kryterium to opisuje liniową zależność zmiany energii odkształcenia postaciowego materiału w momencie zniszczenia od ciśnienia średniego /w układzie współrzędnych J_2^*, J_1 jest to linia prosta/.

Na płaszczyźnie σ_1, σ_2 warunek ten ilustruje elipsa, której fragment przedstawiono linią ciągłą na rys. 2 /dla wartości stałych materiałowych $a^2 = 0,228$; $S = -1,5$ MPa/.

Na podstawie badań innych autorów [5] stwierdzono, że kryterium określone wzorem (2) dobrze opisuje wytrzymałość np. soli kamiennej w złożonych, trójosiowych, stanach naprężenia - przy ciśnieniach średnich porównywalnych z jej wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie.

Literatura:

1. Hardy H.R., Jr., Jayaraman N.I., in Proc. 3rd. Congr. of the ISRM, Vol 3, 85-92, Beograd 1970
2. Jaeger J.C., Cook N.G.W. "Fundamentals of Rock Mechanics" London 1976. II wyd.
3. Arcan M., Hashin Z., Voloshin A., "A Method to Produce Uniform Plane-Stress States with Application to Fiber reinforced Materials" Exp. Mech. 18, 7 April 1978
4. Schleicher F., Z.ang Math. Mech. 5, 1925,
5. Dreyer W., "The Strength Properties of Rocks" in Series on Rock and Soil Mechanics Vol.1 /1971/73/ No 2.