

Tomasz ŚLIWA, Grzegorz MUSIELAK

e-mail: tomasz.sliwa@doctorate.put.poznan.pl

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Właściwości mechaniczne materiałów ilastych w funkcji ich wilgotności

Wstęp

Materiały ilaste znalazły zastosowanie w bardzo wielu gałęziach przemysłu, przede wszystkim w przemyśle ceramicznym (zarówno do wytwarzania ceramiki ozdobnej jak i technicznej czy sanitarnej) oraz przemyśle budowlanym (głina jako surowiec do produkcji cegieł), a także w przemyśle papierniczym, farmaceutycznym, spożywczym i in. Jak wynika z opracowania [Kowalski i in., 2010] materiały takie jak glina kaolinowa na skutek utraty wilgoci silnie zmieniają swoje właściwości mechaniczne. Proces przetwarzania materiałów ilastych wiąże się z ich suszeniem, które stanowi główny lub pośredni proces jednostkowy. Zmiana własności mechanicznych spowodowana suszeniem może wpływać na jakość produktu końcowego. W trakcie procesu suszenia dochodzi do powstawania naprężeń suszarniczych, które mogą prowadzić do odkształceń czy destrukcji materiału. Znajomość parametrów takich jak skurcz, wytrzymałość czy moduł *Younga* w funkcji wilgotności może stanowić ważny element projektowania procesu suszenia oraz wytwarzania produktów ceramicznych o wysokiej jakości.

Poznanie zależności między właściwościami mechanicznymi a wilgotnością jest nieodzowne na etapie prowadzenia modelowania zjawisk powstawania deformacji i występowania nieciągłości w suszonym materiale [Musielak i Śliwa, 2012].

Obecnie w literaturze trudno doszukać się ścisłych informacji na temat wielkości zmian właściwości mechanicznych materiałów ilastych o różnym stopniu wilgotności. Autorzy niniejszej pracy przeprowadzili szereg eksperymentów mających na celu wyznaczenie wytrzymałości σ_{max} , modułu *Younga* E , skurczu ϵ czterech wybranych materiałów pochodzenia ilastego w funkcji ich wilgotności.

Badania doświadczalne

Materiały

Materiałem badawczym były dwie odmiany kaolinu: KOC i KSP pochodzące z *Surmin-Kaolin SA* oraz dwie odmiany gliny pochodzące z iltu poznańskiego (Głina 1 oraz Głina 2).

Badania wytrzymałościowe

Eksperymenty, których celem było zbadanie materiałów pod kątem ich właściwości mechanicznych zostały przeprowadzone na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej *Cometech QC-508A1*. W zależności od wybranego testu przeprowadzono próby zginania trójpunktowego oraz czteropunktowego a także testy ściskania.

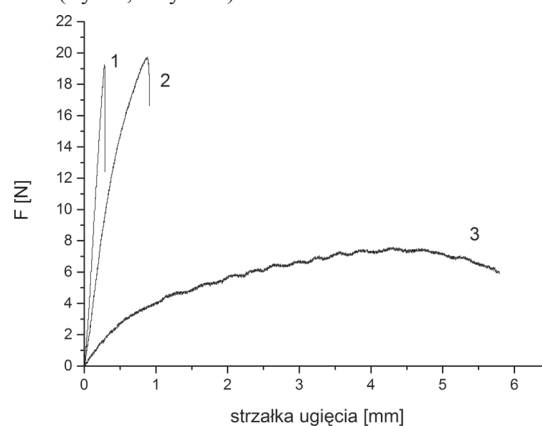
Sposób przygotowania próbek do badań wytrzymałościowych polegał na wstępnym nawilżeniu suchej masy do stanu uplastycznienia, a następnie przechowywaniu przez 48 godzin w szczelnie zamkniętym pojemniku w celu uzyskania jednorodnego rozkładu wilgoci w materiale. W ten sposób przygotowaną masę formowano za pomocą kształtek w prostopadłościennie belki, które posłużyły do testów zginania, oraz w walce użyte do testów ściskania. Uformowane próbki umieszczano w zamkniętym pojemniku gdzie następował ich bardzo powolny proces suszenia. Celem tak prowadzonego procesu było uniknięcie niepożądanego naprężeń materiału spowodowanych gwałtownym ubytkiem dużej ilości wilgoci.

Oznaczanie wilgotności próbek. Do testów pobierano kolejno serię przygotowanych próbek. Fragmenty zniszczonych w eksperymencie próbek ważono a następnie suszono w suszarce komorowej w temperaturze 105°C i ponownie ważono celem określenia suchej masy. Na podstawie pomiarów przed i po wysuszeniu wyznaczano wilgotność próbki poddawanej testom w przeliczeniu na suchą masę.

Do testów ściskania posłużyły walce o średnicy 23 mm i wysokości 55 mm.

Próby zginania trójpunktowego prowadzono na belkach o wymiarach 120 × 25 × 20 mm. Rozstaw podpór wynosił 80 mm.

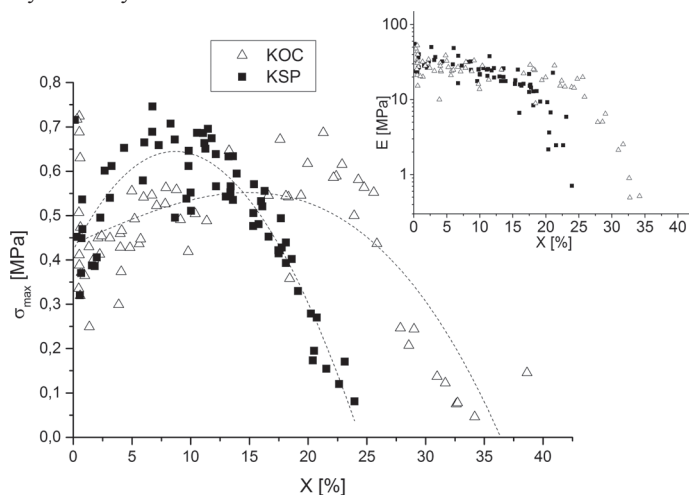
Przedstawione na rys. 1 krzywe zginania dodatkowo wskazują na charakter lepkosprężysty odkształceń materiału w wysokim stanie wilgotności (Rys. 1, krzywa 3) oraz kruchosprężysty dla próbek o niskiej wilgotności (Rys. 1, krzywa 1).



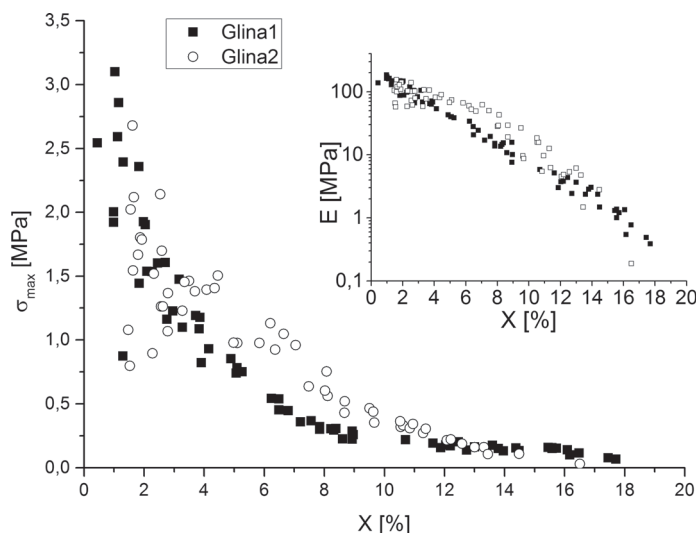
Rys. 1. Przykładowe krzywe zginania trójpunktowego kaolinu: 1 – wilgotność 1%, 2 – wilgotność 24%, 3 – wilgotność 31%

Próby zginania czteropunktowego wykonano na belkach o wymiarach 180 × 25 × 20 mm. Rozstaw podpór wynosił 160 mm a geometria eksperymentu to $L/2$, to znaczy że górne elementy gnące były od siebie odległe o połowę długości między podporami dolnymi. Cechą charakterystyczną próby zginania czteropunktowego jest to, że zginana belka nie podlega siłom ścinającym.

Testy ściskania pozwoliły uzyskać informacje o wartościach wytrzymałości materiału oraz moduły *Younga*, oba w funkcji wilgotności. Otrzymane wyniki zostały zamieszczone na rys. 2 i 3. Wartości maksymalne wytrzymałości obu kaolinów występują dla pośrednich wilgotności w testowanym przedziale. Wytrzymałość obu glin rośnie wraz ze spadkiem zawartości wilgoci. Moduł *Younga* dla wszystkich czterech testowanych materiałów zmienia się o dwa rzędy wielkości w zakresie badanych wilgotności. Dla kaolinów znaczny wzrost modułu *Younga* następuje w zakresie wyższych wilgotności, natomiast dla obu glin przyrost modułu *Younga* wraz ze spadkiem wilgotności jest wykładniczy.



Rys. 2. Test ściskania – naprężenie maksymalne oraz moduł *Younga* w funkcji wilgotności (materiał badawczy: kaolin KOC i kaolin KSP)



Rys. 3. Test ściskania – napężenie maksymalne oraz moduł Younga w funkcji wilgotności (materiał badawczy: Glina 1 i Glina 2)

Testy zginania, zarówno trój punktowego jak i czteropunktowego wykazały podobny charakter zmian modułu Younga oraz wytrzymałości materiału jak testy ściskania.

Testy skurczu

Materiały ilaste cechują się liniowym skurczem w pierwszym etapie suszenia oraz zahamowaniem skurczu towarzyszącemu postępującemu ubytkowi wilgoci w drugim etapie [Ketelaars, 1992; 1994].

Skurcz materiałów obserwowano w procesie bardzo powolnego suszenia. W tym celu przygotowano serie próbek w kształcie belek, każdego z materiałów o wilgotnościach początkowych (Tab. 1). Powolne suszenie było zagwarantowane w zamkniętym pojemniku, z którego w każdym dniu pomiarowym pobierano próbki i mierzono suwmiarką elektroniczną wzdłuż długiej ich krawędzi a następnie ważono na wadze laboratoryjnej. W ostatnim dniu pomiarowym próbki dodatkowo wysuszono w suszarce komorowej w temperaturze 105°C w celu wyznaczenia wartości suchej masy. Na podstawie średnich długości próbek w każdym dniu pomiarowym wyznaczano wartość ich bezwzględnego skurczu. Wilgotność wyznaczano na podstawie masy w każdym dniu pomiarowym i wartości suchej masy.

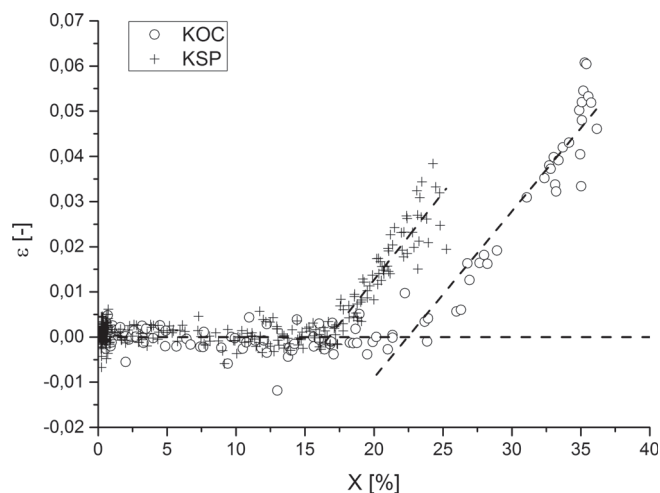
Tab. 1. Wartości wilgotności początkowej oraz krytycznej wartości wilgotności dla badanych materiałów

Materiał	Wilgotność początkowa [%]	X_{cr} [%]
Glina 1	18,5	11,9
Glina 2	19,5	9,05
Kaolin KOC	35,3	24,3
Kaolin KSP	23,5	16,8

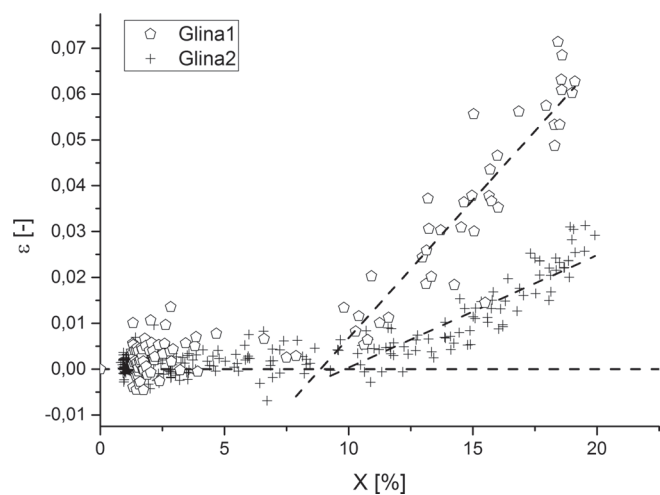
Obserwowany proces związany jest z ubytkiem wody wypełniającej wolne przestrzenie materiału (Rys. 4 i 5). Osiągnięcie przez materiał pewnej krytycznej wilgotności oznacza brak dalszego skurczu ze względu na osiągnięcie przez cząstki materiału minimalnych odległości między nimi. Zawarta jest jednak między nimi woda, której odparowanie przedkłada się na spadek masy suszonego materiału. Efekt ten przybliży się dwiema liniami prostymi: jedną dla pierwszego etapu suszenia, jedną - równoległą do osi rzędnych, dla drugiego etapu suszenia. Punkt przecięcia obu prostych wyznacza wartość krytyczną wilgotności powyżej której obserwuje się liniowy skurcz materiału.

Wnioski

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe (zarówno testy zginania jak i ściskania) wskazują na dwojaki charakter testowanych materiałów. Na skutek ubytku wilgoci lepkosprężyste zachowanie obserwowane w próbkach o znacznej wilgotności przechodzi w zachowanie krucho-



Rys. 4. Skurcz kaolinu KOC i kaolinu KSP



Rys. 5. Skurcz Gliny 1 i Gliny 2

sprężyste. Cechą tego pierwszego jest obserwowana znaczna wartość strzałki ugięcia w przypadku prób zginania przy jednocześnie niskiej wartości wytrzymałości materiału. Obserwowany odcinek sprężysty w trakcie obciążania mocno wilgotnych próbek jest krótki, po którym następuje przewaga zachowań lepkich.

Zginanie oraz ściskanie próbek suchych charakteryzuje się długim odcinkiem sprężystym na krzywej wytrzymałościowej, po którym następuje zazwyczaj gwałtowne krucho-pęknięcie. W przypadku materiałów suchych trudno jest dopatrzeć się fragmentu krzywej odpowiadającego własnościom lepkim.

Uzyskane wartości wilgotności krytycznych z testów skurczu uzupełniają otrzymane rezultaty z testów wytrzymałościowych. Powyżej wartości wilgotności krytycznej materiały przejawiają charakter lepkosprężysty, poniżej wartości wilgotności krytycznej krucho-sprężysty, jednak wyznaczona granica zawiera margines, w którym obecne są cechy obu typów zachowań mechanicznych.

LITERATURA

- Ketelaars, A.A.J., 1992. *Drying deformable media: kinetics, shrinkage and stresses*. Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands (12.2013): <http://alexandria.tue.nl/extra3/proefschrift/PRF8B/9205603.pdf>
- Ketelaars, A.A.J., 1994. Drying deformable media kinetics, shrinkage and stresses. *Drying Tech.* **12**, 983-987. DOI: 10.1080/07373939408960008
- Kowalski S.J., Banaszak J., Rybicki A., 2010. Plasticity in materials exposed to drying. *Chem. Eng. Sci.*, **65**, 5105-5116. DOI: 10.1016/j.ces.2010.06.006
- Musiela G., Śliwa T., 2012. Fracturing of clay during drying: modelling and numerical simulation. *Transport in Porous Media*, **95**, 465-481. DOI: 10.1007/s11242-012-0055-4