

**Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Inżynieria Ciepła
Materiały Inżynierskie – laboratorium**

Ćwiczenie nr 8

Ocena przydatności proszków ceramicznych do formowania metodą prasowania

Literatura:

1. Instrukcja do ćwiczenia
2. R.Pampuch, K.Haberko, M.Kordek: „Nauka o procesach ceramicznych”, rozdz. 3.2 i 4.1

Opracowanie: Łukasz Zychy, Norbert Moskała, AGH, WIMiC, 2016 r.

1. Cel ćwiczenia

- Zapoznanie się z prasowaniem jako metodą formowania wyrobów z proszków ceramicznych.
- Opanowanie metodyki i wykonaniu pomiarów gęstości nasypowej wybranego proszku ceramicznego
- Ustaleniu wpływu ciśnienia prasowania jednoosiowego na zagęszczenie wyprasek.

2. Wprowadzenie

Metoda formowania wyrobów polegająca na prasowaniu proszków w sztywnych formach (prasowanie jednoosiowe) znajduje w przemyśle ceramicznym bardzo szerokie zastosowanie. Metoda ta pozwala otrzymywać uformowane i zagęszczone kształtki, w wyniku działania obciążenia ściskającego, z masy proszkowej o wilgotności poniżej 6%. Metoda prasowania proszków ma wiele zalet. Daje możliwość uzyskania wysokiego stopnia zagęszczenia surowych wyrobów, daje wypraski o dobrych właściwościach technologicznych: znacznej wytrzymałości, dokładności wymiarów i ostrości krawędzi. Mała wilgotność wyprasek w wielu przypadkach pozwala na wyeliminowanie procesu suszenia. Prasowanie jest metodą o dużej wydajności, a równocześnie małej ilości odpadów. Daje szerokie możliwości mechanizacji i automatyzacji procesu formowania.

Niedogodnością prasowania jest ograniczenie kształtu formowanych wyrobów. Możliwe jest prasowanie wyrobów o kształtach nieskomplikowanych: cylindrycznych, pryzmatycznych i prostopadłościennych, które mogą zawierać wycięcia i otwory tylko w kierunku zgodnym z kierunkiem prasowania. Niemożliwe, ze względu na konstrukcję form, jest prasowanie kształtek o zmiennych przekrojach, podcięciach i otworach nierównoległych do kierunku prasowania. Drugą niedogodnością prasowania jest nierównomierność zagęszczania kształtek wzdłuż kierunku prasowania. Niedogodność ta narzuca ograniczenia w kształtach i wymiarach wyprasek, szczególnie w stosunku ich wysokości do średnicy.

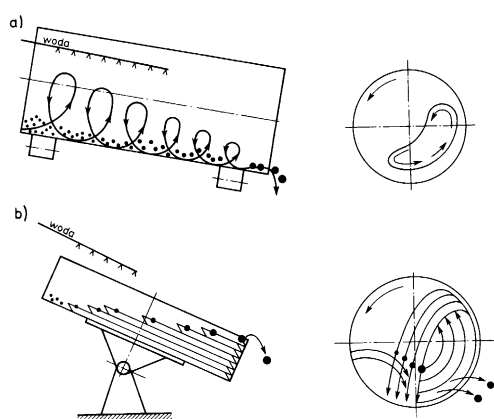
Prasowanie jednoosiowe prowadzi się w sztywnych metalowych formach o bardzo gładkich ścianach. Stosowane są ciśnienia prasowania rzędu 30 – 100 MPa, a niekiedy nawet wyżej. Nacisk realizuje się w różnego rodzaju prasach hydraulicznych bądź mechanicznych.

Przygotowanie proszku do prasowania

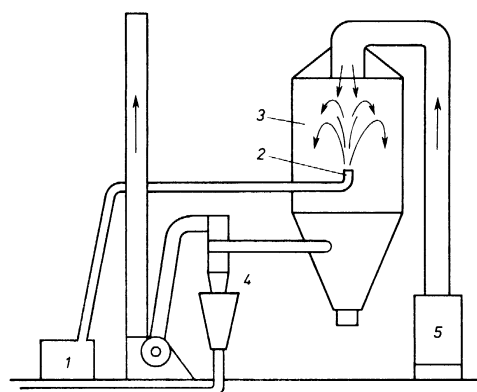
O powodzeniu procesu prasowania proszku w znacznym stopniu decyduje kształt i wielkość cząstek użytego proszku. Bardzo drobny proszek trudno się formuje, a w wypraskach występują często wady w postaci pęknięć czy rozwarstwień. Wady te mają swoje źródło w naprężeniach wywoływanych przez powietrze uwięzione w objętości formowanej wypraski w związku z małym przekrojem porów otwartych stanowiących drogi odprowadzenia fazy gazowej podczas zmniejszania się objętości wypraski towarzyszącej postępującemu zwiększaniu się stopnia upakowania cząstek pod wpływem siły prasującej. Powstawanie wad pogarsza właściwości użytkowe wyrobów i powoduje powstanie dużej ilości braków. Użycie do prasowania masy złożonej z cząstek grubych, pozbawionej frakcji najdrobniejszej, powoduje zwiększenie przekroju porów i tym samym ułatwienie odprowadzenia powietrza, co znacznie ogranicza niebezpieczeństwo wystąpienia wad prasowania. Aby poprawić właściwości formiercze proszków o bardzo dużym

stopniu rozdrobnienia, a zatem proszków składających się z submikronowych lub mikronowych cząstek, stosuje się **zabieg granulowania** będący w swej istocie procesem zamierzonego aglomerowania cząstek proszku. Efektem granulowania jest otrzymanie masy prasowalniczej składającej się nie z pojedynczych cząstek proszku, ale z ich zespołów (aglomeratów) o odpowiedniej wielkości, kształcie, gęstości i wytrzymałości, które nazywamy granulami. W procesie otrzymywania granulatu wychodzi się najczęściej z materiału w stanie sproszkowanym.

Można stosować różne **metody przygotowania granulatu**. Najprostszym sposobem sporządzenia granulowanej masy prasowalniczej jest nawilżenie sproszkowanej masy, a następnie przetarcie w przecieraku sitowym. W tym przypadku otrzymuje się granulaty o nieznacznej zawartości pyłu, szerokim zakresie wielkości i nieregularnych kształtach granu. Urządzeniami, w których można uzyskać granule o kształtach kulistych, są granulatory. Istnieje kilka typów granulatorów: bębnowy, talerzowy, stolikowy, wibracyjny, fluidyzacyjny. Granulowanie przebiega w wyniku łączenia drobnych cząstek w większe aglomeraty w obecności wilgoci. Pomiedzy cząstkami powstają łączące się wzajemnie cienkie warstwy cieczy, które w wyniku oddziaływań kapilarnych powodują wzajemne zbliżanie poszczególnych cząstek. Ten mechanizm granulowania działa do stanu, w którym warstwa wody osiąga grubość wywołującą jej płynięcie lepkościowe. Przykładowe schematy powstawania granu przedstawione są na rysunku 1. Proszek podaje się na skośnie ustawiony talerz granulatora talerzowego lub do pochylonego walczaka granulatora bębnowego. Wskutek obrotów granulatora proszek unoszony jest ku górze, a stąd stacza się w dolne położenie. Na warstwę proszku rozpylana jest ciecz nawilżająca – najczęściej woda. W czasie obrotów granulatora, w wyniku zderzeń i staczania po ścianach materiału granulowanego tworzą się zależnie od wielkości kropli i rodzaju materiału granule o różnej wielkości. Wraz z powiększaniem średnicy granu obniża się wysokość ich unoszenia w granulatorze, aż ostatecznie uformowane przesypują się przez obrzeże na zewnątrz. Najdrobniejszy materiał jest ponownie unoszony w górne partie, dowilżany i przez obtaczanie w suchym materiale dobudowywany do większej średnicy. Wielkością kropli i ilością cieczy, ilością i rodzajem dodatków (np. dodatkiem szkła wodnego do wody), liczbą obrotów oraz kątem pochylenia talerza lub bębna można regulować wielkość granu.



Rys. 1. Schematy powstawania granu w granulatorach; a) bębnowym, b) talerzowym.



Rys. 2. Schemat suszarni rozpyłowej z rozpylaczem dyszowym; 1 – pompa zasilająca, 2 – dysza, 3 – komora suszarni, 4 – cyklon, 5 – podgrzewacz powietrza

Najlepszą i obecnie najpowszechniej stosowaną metodą uzyskiwania granulatu (proszku prasowalniczego) jest suszenie, najczęściej, wodnych zawiesin proszków w stanie rozpylonym w odpowiednio do tego przygotowanych suszarniach (Rys. 2). Rozpylenie, inaczej atomizacja, zawiesiny polega na wytworzeniu strumieni cieczy o bardzo małym przekroju, które pod działaniem napięcia powierzchniowego ulegają podzieleniu na odpowiednio małe krople. W procesie takim zawiesina proszku rozpylana jest w komorze suszarniczej, przy jednoczesnym wprowadzaniu do niej gorącego, gazowego czynnika suszącego. Wilgość w kontakcie z czynnikiem suszącym ulega szybkiemu odparowaniu z rozproszonych kropli zawiesiny a pozostały materiał tworzy porowate granule cząstek proszku. W procesie suszenia rozpyłowego można wpływać na takie parametry produktu jak: rozmiar i rozkład wielkości granul, ich kształt, gęstość, końcową wilgotność i temperaturę.

Charakterystyka proszku do prasowania

Podstawową właściwością proszku do prasowania jest jego **gęstość nasypowa**. Rozróżnia się **gęstość nasypową** (d_N) i **gęstość nasypowa z usadem** (d_U) zdefiniowane w następujący sposób:

$$d_N = \frac{m}{V_1} \quad (1)$$

$$d_U = \frac{m}{V_2} \quad (2)$$

gdzie: m – masa proszku [g];

V_1 – objętość luźno nasypanego proszku [cm^3];

V_2 – objętość proszku poddanego działaniu wibracji (utrząsania) aż do momentu uzyskania stałej objętości [cm^3].

Wymieniony parametr proszku ma istotny wpływ na jego upakowanie w formie. Dąży się do uzyskania jak najgęstszego wypełnienia formy cząstkami nasypanego proszku i do uzyskania jak największej powtarzalności upakowania. W przypadku masy o ziarnach nieregularnych zachowanie stałości upakowania jest praktycznie niemożliwe. Stabilność gęstości nasypowej proszku można określić stosunkiem gęstości nasypowej z utrząsaniem do gęstości nasypowej proszku luźno nasypanego. Dla dobrego proszku, stosunek ten powinien być bliski jedności. Spełniają go proszki o kulistych cząstkach pojedynczych lub granulach. Skład ziarnowy granulatu wpływa na wartość gęstości nasypowej.

Rzeczywiste proszki ceramiczne wykazują upakowanie, któremu odpowiada udział porów wynoszący od 30 do 50% obj.

Stosowanie masy prasowalniczej o dużej gęstości nasypowej przynosi szereg korzyści:

- pozwala na zmniejszenie wysokości komory nasypowej formy, przez co obniża koszty jej wykonania;

- umożliwia stosowanie większych szybkości prasowania ze względu na potrzebę odprowadzenia mniejszej ilości powietrza;
- ułatwia uzyskanie większych gęstości pozornych wyprasek.

Pomiar gęstości nasypowej wykonuje się przez zważenie proszku nasypanego do naczynia o znanej objętości w ściśle określony sposób, np. przez znormalizowany lejek. Znając masę i objętość proszku, gęstość nasypową wylicza się ze wzoru (1)

W procesie prasowania kształtek o równomierności wypełnienia objętości roboczej formy decyduje **sypkość proszku**, która zależy od:

- kształtu cząstek występujących w proszku;
- gęstości nasypowej proszku;
- wilgotności proszku.

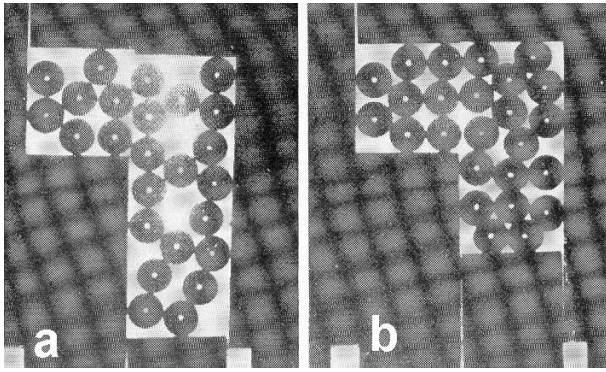
Sypkość proszku określa się wielkością **kąta usypu**. Jako kąt usypu przyjmuje się kąt zawarty pomiędzy tworzącą luźno usypanego stożka a podstawą. Sypkość proszku zwiększa się, gdy kąt usypu maleje. Im kształt ziaren jest bardziej zbliżony do kulistego, tym sypkość proszku większa. Wraz ze wzrostem wilgotności sypkość maleje. W skrajnych przypadkach nieregularnych ziaren i znacznej wilgotności, masa prasownicza może nie wykazując zupełnie sypkości.

Ważnym parametrem charakteryzującym granulaty jest jego **wilgotność**. Od wilgotności zależą właściwości takie jak twardość granul, sypkość i prasowalność granulatu. W praktyce przemysłowej wytwarza się granulaty o średniej wilgotności od 0,5 do 6,0 % wag.

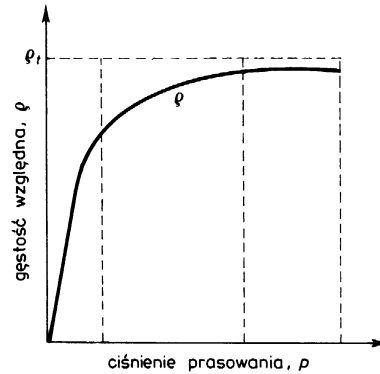
Zachowanie proszków pod wpływem zewnętrznego ciśnienia

Proszek nasypany do formy wypełnia tylko część jej objętości zależnie od jego gęstości nasypowej i sypkości. Pomędzy stykającymi się punktowo lub na niewielkich powierzchniach cząstkami proszku powstają puste przestrzenie, a ponadto podczas nasypywania część cząstek klinuje się wzajemnie, tworząc tzw. mostki. (Rys. 3). Przyłożony z zewnątrz nacisk powoduje przesunięcie jednych cząstek względem drugich, co określa się jako poślizg masy prasowniczej. Przemieszczanie cząstek masy w formie prowadzi do zagęszczenia.

Typową **charakterystykę prasowania**, która przedstawia zależność **gęstości wypraski od ciśnienia prasowania** przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Załamywanie się „mostków” ziarnowych podczas zagęszczania.



Rys. 4. Zależność gęstości względnej od ciśnienia prasowania (ρ_t – gęstość teoretyczna)

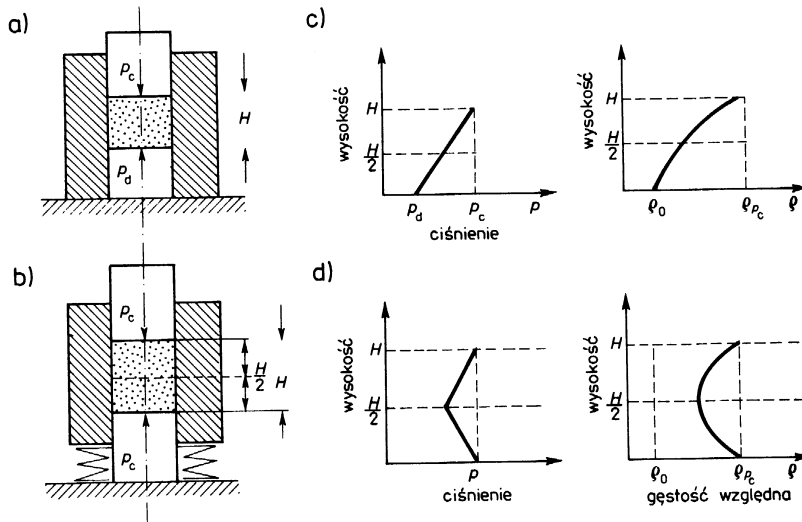
W procesie zagęszczania przez prasowanie można wyróżnić trzy etapy:

1. W pierwszym etapie prasowania, zachodzącym przy niskich ciśnieniach, występują zjawiska prowadzące do gęstego upakowania granул proszku. Są to: przegrupowanie przez poślizg nieuporządkowanych granул proszku względem siebie, obrót, załamywanie mostków połączone z zapełnianiem dużych pustek. Po zniszczeniu granул w zjawiskach podobnych do wymienionych wcześniej biorą udział fragmenty granул lub pojedyncze cząstki proszku. Cząstki wzajemnie zbliżają się do siebie, co powiększa oddziaływanie związane z siłami adhezji. Równocześnie, na skutek zbliżenia i odkształcenia powierzchni cząstek, powiększa się powierzchnia ich styku. Powstaje także zakleszczenie mechaniczne, szczególnie w przypadku granул o rozwiniętej powierzchni.
2. Dalszy wzrost ciśnienia prowadzi do intensyfikacji zjawisk charakterystycznych dla drugiego etapu procesu prasowania, które w mikroobszarach rozpoczynać się mogą już w pierwszym etapie. Są to: odkształcenie sprężyste ziaren i, po przekroczeniu wytrzymałości na ściskanie, ich fragmentacja – pękanie i kruszenie. Postępuje dalsze upakowanie ziaren i zapełnianie pustek okruchami. W tym etapie wzrost zagęszczenia jest znacznie ograniczony w porównaniu z etapem 1.
3. W trzecim etapie, przy dalszym wzroście ciśnienia, ze względu na daleko już posunięte zagęszczenie, możliwe jest tylko nieznaczne przemieszczenie cząstek proszku. Występuje ewentualne kruszenie pojedynczych cząstek. Nawet znaczne przyrosty ciśnienia powodują jedynie nieznaczny wzrost zagęszczenia wypraski.

Prasowanie kształtek z proszków przy jednokierunkowym działaniu ciśnienia

Prasowanie klasyczne z sypkich proszków realizuje się w twardej, sztywnych formach, przy zastosowaniu zewnętrznego ciśnienia. Ze względu na kierunek przykładanej siły **prasowanie** to określa się jako **jednoosiowe** (inaczej **jednokierunkowe**) (Rys. 5). Wyróżnia się przy tym:

- prasowanie jednoosiowe jednostronne
- prasowanie jednoosiowe dwustronne



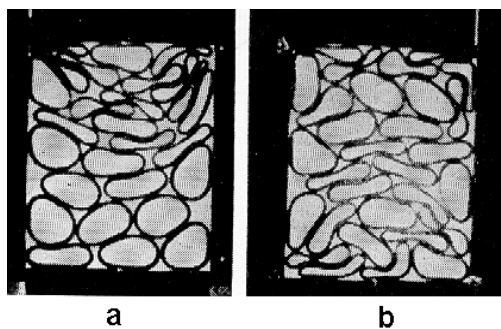
Rys. 5. Schematy prasowania:
a) jednostronnego;
b) dwustronnego;
c) rozkład gęstości względnej i rozkład ciśnienia w wyprасe prasowanej jednostronnie;
d) rozkład gęstości względnej i ciśnienia w wyprасe prasowanej dwustronnie.

W procesie **prasowania jednostronnego** granulat znajdujący się w formie poddawany jest naciskowi z jednej strony. Proces **prasowania dwustronnego** polega na poddaniu masy prasowniczej (tj. granulatu) działaniu jednokierunkowej siły, jednak z dwóch przeciwnych stron. Prasowanie dwustronne daje bardziej równomierne zagęszczenie proszku niż prasowanie jednostronne, szczególnie w przypadku dużej wysokości kształtki.

W trakcie prasowania jednoosiowego istotny wpływ na proces zagęszczania mają:

- ciśnienie prasowania;
- wilgotność masy;
- dodatki poślizgowe wprowadzone do masy.

Podczas przemieszczania się cząstek masy występuje ich tarcie o ściany formy, określane jako **tarcie zewnętrzne**, oraz ich tarcie wzajemne określane jako **tarcie wewnętrzne**. Występuje także **sprężyste odkształcenie cząstek**. Zjawiska te prowadzą do strat energii wywołujących zmniejszenie się rzeczywistego ciśnienia prasowania wynikającego ze spadku siły prasowania na drodze prasowania, którą jest droga posuwu stempla. Jako wynik otrzymuje się wypraski nierównomiernie zagęszczone (Rys. 6).

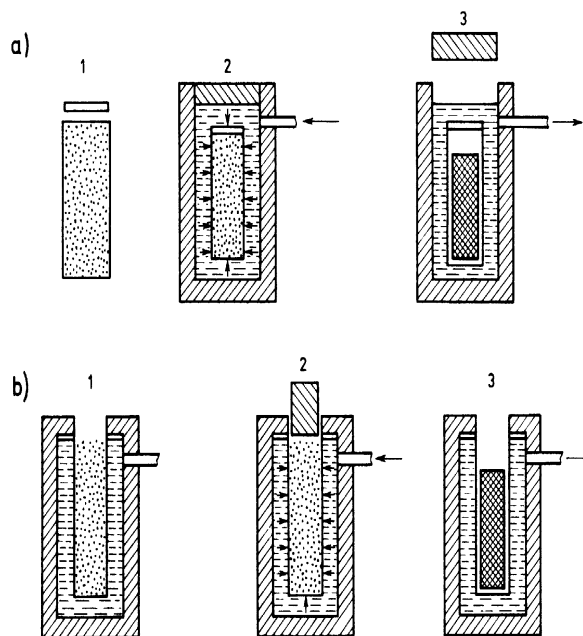


Rys. 6. Prasowanie jednoosiowe (a) jedno- i (b) dwustronne.

Prasowanie izostatyczne

Metoda formowania drogą prasowania izostatycznego oparta jest na **prawie Pascala** mówiącym, że *ciśnienie wywarte w jednym miejscu na nieruchomą ciecz jest przenoszone równomiernie przez tę ciecz we wszystkich kierunkach i działa jednakowo w całej objętości, na każdą część zamkniętego zbiornika, prostopadle do jego wewnętrznej powierzchni.*

Jako medium przenoszące ciśnienie mogą być użyte ciecze, gazy oraz elastomery, jednak najpowszechniej stosowanym medium jest wodna emulsja olejowa. Schemat metody przedstawia rysunek 7. Formowany proszek oddzielony jest od naciskającego medium **elastyczną formą**, która powinna możliwie bezstratnie przenosić ciśnienie. Ze względu na sposób umieszczenia formy w naczyniu ciśnieniowym mówi się o prasowaniu izostatycznym z mokrą formą lub z suchą formą.



Rys. 7. Schematy prasowania izostatycznego: a) z mokrą formą, b) z suchą formą; 1 – napełnianie formy, 2 – prasowanie, 3 – dekompresja i wyjęcie wypraski

W sposobie prasowania izostatycznego z **suchą formą**, elastyczna forma jest trwale zamocowana w komorze. Napełnianie formy proszkiem oraz wyjmowanie wypraski odbywa się bez wyjmowania formy z komory prasy. W tej metodzie obsługa nie ma kontaktu z cieczą przenoszącą ciśnienie.

W metodzie z **mokrą formą**, po napełnieniu jest ona zanurzana w cieczy.

Jako materiał na formy stosuje się: kauczuk, PCW, poliuretan, lateks lub inne podobne do gumy materiały.

Wymiary form muszą uwzględniać zmniejszenie się objętości proszku w trakcie prasowania nawet o 50%. Wymusza to dużą elastyczność materiału formy i w związku z

czym stosowane materiały powinny mieć duże wydłużenie względne przy rozerwaniu sięgające ok. 450 %.

W procesie prasowania izostatycznego, nacisk wywierany na elastyczną formę, a tym samym na prasowany proszek, jest jednakowy ze wszystkich stron. W odróżnieniu od prasowania jednoosiowego, przemieszczanie ścianek formy zachodzi wraz z przemieszczaniem proszku, a co za tym idzie nie występuje w tym przypadku tarcie proszku o ściany formy. W konsekwencji zagęszczenie wyprasek prasowanych izostatycznie jest bardziej równomierne niż wyprasek prasowanych jednoosiowo.

Prasowanie izostatyczne pozwala prasować wyroby w znacznie szerszej gamie kształtów niż możliwych do uzyskania poprzez prasowanie jednoosiowe m.in. kształtki o zmiennym przekroju, z podcięciami, oraz otworami z praktycznie dowolnej strony. W celu wykonania otworów stosuje się sztywne (nieodkształcające się) trzpienie zamocowane w formie.

Stosowane ciśnienia prasowania są generalnie wyższe niż w przypadku prasowania jednoosiowego i mogą przyjmować wartości od **100** do **400 MPa**.

3. Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie polega na pomiarze wpływu ciśnienia prasowania na zagęszczenie otrzymanych wyprasek.

Proszek do prasowania wskazuje prowadzący. Należy zanotować **rodzaj użytego proszku** oraz jego **gęstość rzeczywistą**.

Wyznaczanie charakterystyki prasowania proszku

Należy obliczyć masę jednej wypraski zakładając, że jej **wysokość** wypraski będzie równa **1/3 wielkości jej średnicy** a **gęstość pozorna wypraski** będzie równa **50%** gęstości teoretycznej proszku.

Przyjmuje się, że **średnica próbki** równa jest **średnicy stempla** formy, którą należy zmierzyć przy pomocy suwmiarki.

Próbki należy formować w zakresie ciśnień prasowania **15 - 110 MPa**. Typowe charakterystyki prasowania proszków ceramicznych pokazują intensywny przyrost zagęszczenia wyprasek towarzyszący wzrostowi ciśnienia w zakresie niskich ciśnień prasowania i małe przyrosty zagęszczenia przy dalszym zwiększaniu ciśnienia prasowania. Dlatego, aby w sposób rzetelny scharakteryzować zachowanie się proszku podczas prasowania punkty pomiarowe wybiera się tak, aby ich większą liczbą przypadała na zakres niskich ciśnień prasowania.

Uzyskuje się to poprzez rozłożenie ciśnień prasowania w postępie geometrycznym, co w przybliżeniu spełnione jest dla ciśnień: **15, 25, 45, 70 i 110 MPa**. Pod danym ciśnieniem należy uformować po **3 próbki**.

Na podstawie powyższych wartości ciśnień prasowania oraz zmierzonej średnicy stempla formy należy wyliczyć odpowiadające im **wartości sił** (wyrażone w N), które należy przyłożyć do stempla formy w trakcie prasowania.

Obsługę prasy prezentuje prowadzący.

Po wyprasowaniu należy określić zagęszczenie wyprasek poprzez pomiar ich gęstości pozornej i obliczenie gęstości względnej.

W tym celu próbki po wyprasowaniu powinny zostać **najpierw** zważone na wadze analitycznej (z dokładnością 0,001g) a **następnie** zmierzone przy pomocy **suwmiarki**. Wystarczy wykonać pomiar średnicy jednej próbki prasowanej pod danym ciśnieniem. Taka kolejność postępowania pozwala na uniknięcie błędów związanych z wykruszaniem się fragmentów próbek w trakcie ich mierzenia.

W razie konieczności przed ważeniem należy oczyścić obrzeża próbek z nadmiaru proszku przy użyciu pędzelka.

Geometryczną gęstość pozorną, d_p , obliczamy ze wzoru:

$$d_p = \frac{m}{V} \quad (3)$$

gdzie: m - masa próbki [g];

V - objętość próbki [cm^3].

Gęstość względną, d_w , obliczamy ze wzoru:

$$d_w = \frac{d_p}{d_r} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie: d_r - jest rzeczywistą gęstością materiału proszku [g/cm^3].

4. Opracowanie wyników

1. Obliczyć gęstość pozorną (d_p) (3) oraz gęstość względną (d_w) (4) wyprasek prasowanych pod różnymi ciśnieniami.
2. Sporządzić wykres zależności gęstości względnej próbek (d_w) od ciśnienia prasowania, wykorzystując w tym celu średnie wartości d_w (z trzech pomiarów) odpowiadające poszczególnym ciśnieniom prasowania. Na wykresie zaznaczyć przedziały ufności odpowiadające wartościom d_w dla poszczególnych ciśnień.

KARTA PRACY: Charakterystyka prasowania proszków ceramicznych

Przedmiot:.....

Prowadzący.....

Temat zajęć	Imię Nazwisko	Data oddania
Grupa	Data przyjęcia	Ocena

Cel ćwiczenia:

materiał:

średnica formy:

średnica stempla:

(1) ciśnienie prasowania:		[]			
numer próbki	masa wypraski, [g]	wysokość wypraski, [mm]	objętość wypraski [cm³]	gęstość pozorna [g/cm³]	gęstość względna [%]
1					
2					
3					
średnia	-----	-----	-----		
przedział ufności	-----	-----	-----	-----	

Przedział ufności oszacować ze wzoru

$$\Delta = t_{n-1, \alpha} \cdot s(\bar{x})$$

gdzie:

$$s(\bar{x}) - \text{odchylenie standardowe średniej: } s(\bar{x}) = \sqrt{\left[\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]}$$

n – liczba pomiarów

\bar{x} – średnia arytmetyczna gęstości rzeczywistej

$t_{n-1, \alpha}$ – współczynnik t rozkładu Studenta na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, dla n-1 pomiarów (patrz – załącznik).

(2) ciśnienie prasowania: []					
numer próbki	masa wypraski, [g]	wysokość wypraski, [mm]	objętość wypraski [cm³]	gęstość pozorna [g/cm³]	gęstość względna [%]
1					
2					
3					
średnia	-----	-----	-----		
przedział ufności	-----	-----	-----	-----	

(3) ciśnienie prasowania: []					
numer próbki	masa wypraski, [g]	wysokość wypraski, [mm]	objętość wypraski [cm³]	gęstość pozorna [g/cm³]	gęstość względna [%]
1					
2					
3					
średnia	-----	-----	-----		
przedział ufności	-----	-----	-----	-----	

(4) ciśnienie prasowania: []					
numer próbki	masa wypraski, [g]	wysokość wypraski, [mm]	objętość wypraski [cm³]	gęstość pozorna [g/cm³]	gęstość względna [%]
1					
2					
3					
średnia	-----	-----	-----		
przedział ufności	-----	-----	-----	-----	

(5) ciśnienie prasowania: []					
numer próbki	masa wypraski, [g]	wysokość wypraski, [mm]	objętość wypraski [cm³]	gęstość pozorna [g/cm³]	gęstość względna [%]
1					
2					
3					
średnia	-----	-----	-----		
przedział ufn.	-----	-----	-----	-----	

Wykres gęstości względnej wypraski w funkcji ciśnienia prasowania



Wnioski:

Ocena:

	Punkty (max. 30):				
	1	2	3	4	5
Przygotowanie do zajęć:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wykonanie pomiaru:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poprawność jednostek:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poprawność obliczeniowa:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Określenie dokładności pomiaru:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wnioski:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

.....

Data i podpis prowadzącego