

Edmund PIĄTKOWSKI

KSZTAŁTOWANIE TECHNOLOGICZNE STRUKTURY POROWATEJ
NIEKTÓRYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH
PRZY ZASTOSOWANIU FAZY GAZOTWÓRCZEJ
NA PRZYKŁADZIE WYTWARZANIA GIPSU POROWATEGO

Streszczenie. Tworzenia struktur porowatych niektórych materiałów budowlanych takich jak: gazobeton, gąsieniczkowy, gazogipsy przy zastosowaniu fazy gazotwórczej należy do najbardziej efektywnych metod ich poryzacji, chociaż nie najtańszych.

W referacie przedstawiono niektóre zależności pomiędzy parametrami stanu podczas spulchniania materiału lekko-plastycznego (czale Binghama) oraz niektóre aspekty technologiczne wytwarzania gipsu porowatego.

CZĘŚĆ I. CZYNNIKI KSZTAŁTOWANIA STRUKTURY MATERIAŁÓW POROWATYCH

1. Wstęp

W naszym budownictwie istnieje nadal ogromne zapotrzebowanie na lekkie materiały izolacyjne o strukturze porowatej. Materiały takie stosowane w postaci gotowych elementów przygotowanych fabrycznie lub montowane na odpowiednim szkielecie stwarzają możliwość stosowania w budynkach mieszkalnych przegród o charakterze bardziej osłonowym. Prowadzi to także do znacznego obniżenia ciężaru konstrukcji i bardziej racjonalnego wykorzystania materiału. Jednak obniżenie gęstości objętościowej materiałów bez stosowania odpowiednich zabiegów prowadzi do obniżenia ich wytrzymałości, zatem możliwe jest do przeprowadzenia tylko w pewnych granicach.

Uzyskiwanie optymalnych wytrzymałości oraz innych cech materiałów przy znacznym obniżeniu gęstości objętościowej możliwe jest dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu ich struktury. Odrzynie rolę w tym zakresie spełnia technologiczne kształtowanie struktury tych materiałów.

2. Struktury porowate materiałów

Tworzenie struktur porowatych polega na powiększeniu objętości masy bądź podczas mieszania składników w mieszalniku, bądź na spulchnieniu jej po napełnieniu w formach.

W zależności od sposobu wytwarzania porów otrzymujemy odpowiednią strukturę porów w materiale.

Przyjmując według Brandta [2], przez strukturę porów rozumiemy budowę i rozmieszczenie pustek w materiale o wymiarach większych od wymiarów molekularnych.

W zależności od rodzaju materiału oraz procesu technologicznego pory mogą występować w postaci zamkniętych i oddzielonych od siebie pustek - (pory zamknięte) lub mogą być połączone pomiędzy sobą i tworzyć strukturę ciągłą - (pory otwarte).

Niektóre materiały budowlane, jak np. materiały ceramiczne, posiadają strukturę kapilarno-porowatą, w których pory powstały podczas przemian chemicznych związanych z ich spiekanem, jako wady wyrobów.

Natomiast porowatość materiału gipsowego wynika ze struktury mikrokryształicznej gipsu, a przede wszystkim z technologii produkcji, ponieważ z-czynny gipsowe sporządza się ze znacznym nadmiarem wody zarobowej.

Pojęcie makro- i mikropory w literaturze stosowane jest w sposób niejednorodny. Interesująca jest klasyfikacja Millana [2], który przyjmuje jako kryterium własności wody wypełniającej pory. Zgodnie z tym kryterium rozróżnia się:

- ultrapory - do 10^{-8} m; molekuly wody podlegają bezpośredniemu działaniu energii powierzchniowej fazy stałej,
- o mikropory - 10^{-8} - 10^{-7} m; własności wody zależą w dużym stopniu od powierzchni fazy stałej,
- makropory - powyżej 10^{-7} m; własności przeważającej części wody nie różnią się od własności wody swobodnej.

Struktura porów w materiale może być układem dość złożonym i pory mogą występować na wszystkich poziomach strukturalnych. W materiałach o znacznie obniżonej gęstości objętościowej występują pory o wielkości rzędu 10^{-3} m i utworzone są celowo dla uzyskania własności izolacyjnych. Na ogół pory takie powstają wskutek napowietrzania, spieniania lub działania czynnika gazotwórczego.

Materiały o wysokiej porowatości są dobrymi izolatorami cieplnymi ponieważ wykorzystują niską przewodność cieplną spokojnego powietrza ($0,0293976 \frac{W}{m.K}$) [15].

3. Tworzenie struktur porowatych niektórych materiałów budowlanych przy użyciu fazy gazotwórczej

Przy otrzymywaniu struktury porowatej materiału wskutek działania czynnika gazotwórczego, faza gazotwórcza jest fazą dyspersyjną. Czasteczki tej fazy otaczają się dyspersyjnym środowiskiem, z którego tworzą się otoczki - przegrody porów. W ten sposób buduje się szkielet struktury porowatej

materiału. W przypadku kiedy faza ciekła posiada znaczną lepkość tworzący się układ składa się z prawie kulistych pęcherzyków gazu oddzielonych grubą warstwą tej fazy.

Otrzymany w taki sposób po stwardnieniu materiał jest pianą ciała stałego, np. gazobeton, gazogips, gazosilikat itp.

Ważnym czynnikiem kształtowania struktury materiału porowatego jest trwałość formowanej masy po jej "wyrośnięciu". W formowanej masie zachodzą procesy wywołujące zwiększenie lepkości strukturalnej. Masa nabyma wytrzymałości plastycznej, która dla niektórych materiałów charakteryzuje się wielkością naprężenia granicznego na ściskanie.

Po zbyt szybkim "wyrośnięciu", kiedy masa nie zdążyła jeszcze dostatecznie stwardnieć, może wystąpić zjawisko utraty stabilności i osiadania masy w formie.

Powszechnie sądzi się, że dla otrzymania porowatej struktury gazosilikatu prędkość "wyrastania" masy powinna odpowiadać prędkości narastania lepkości ciasta. Wynika stąd, że duże znaczenie w formowaniu struktury porowatej masy posiadają dodatki opóźniające lub przyspieszające hydratację spoiwa.

Według danych niektórych autorów [16], struktura masy gazobetonowej nie niszczy się jeśli wytrzymałość plastyczna spełnia wymóg:

$$\tau \geq \rho \cdot H,$$

gdzie:

τ - naprężenie graniczne na ścinanie, Pa,

H - wysokość, m,

ρ - ciężar objętościowy świeżej masy gazobetonowej, N/m³.

Jednym z czynników przeciwstawiających się zniszczeniu struktury porowatej masy jest tworzenie się błonek sprężystych na powierzchni pęcherzyków poprzez wprowadzenia do roztworu środków powierzchniowo czynnych [6].

Już w 1888 r. Quinke [8] wykazał, że ciecz czyste nie posiadają zdolności do tworzenia trwałych pian. Własności takie charakterystyczne są dla roztworów związków powierzchniowo-czynnych. Napięcie powierzchniowe tych roztworów jest znacznie niższe od napięcia powierzchniowego cieczy czystej dzięki adsorpcji jej cząstek zorientowanych na granicy faz.

Gajgajdas i Matuljauskienė [6] zaproponowali określenie stabilności formowanej masy gazosilikatu wg formuły:

$$S = \left(\frac{a - c}{b - c} \right) \cdot 100\%$$

gdzie:

S - stabilność masy,

- a - objętość masy po jej stabilizacji,
- b - maksymalna objętość masy po "wyrośnięciu",
- c - objętość masy do "wyrośnięcia".

4. Związki pomiędzy parametrami fizycznymi mieszanki podczas formowania struktury materiałów porowatych

Termodynamiczne i kinematyczne warunki powstawania i formowania struktur porowatych podlegają pewnym prawidłowościom. Mzedłow-Petroejan i Sofronow [7] opisując prawdopodobieństwo powstawania nowej fazy podali wyrażenie na pracę układu niezbędną dla utworzenia trwałego pęcherzyka gazowego, które przedstawia się wg formuły:

$$\Delta Z = \frac{16\pi}{3} \cdot \frac{\sigma^3 \cdot M^2}{\gamma \cdot R^2 \cdot T^2} \left(\ln \frac{C_1}{C_2} \right)^2, \quad (1)$$

gdzie:

ΔZ - praca układu niezbędna dla utworzenia trwałego pęcherzyka gazowego.

σ - napięcie powierzchniowe,

γ - ciężar objętościowy masy do "wyrośnięcia",

M - ciężar molekularny gazu,

R - stała gazowa,

T - temperatura,

C_1 - koncentracja gazów w masie płynnej w momencie początkowym,

C_2 - koncentracja gazów w masie płynnej w momencie utworzenia pęcherzyka gazowego,

$\frac{C_1}{C_2}$ - przesylenie płynnej masy.

Wyrażenie (1) pokazuje jaki silny wpływ na pracę potrzebną do utworzenia trwałych porów gazowych ma wartość napięcia powierzchniowego σ .

Po utworzeniu porów kinetyka formowania ciała porowatego i jego stabilizacja w czasie określa się wartością lepkości, napięcia powierzchniowego i prędkości zmiany nadmiaru ciśnienia w porach. Zgodnie z [7] czas zmiany promienia poru od 0 do r ocenia się według formuły:

$$\tau = \frac{4}{3} \frac{\eta \cdot r}{\sigma}, \quad (2)$$

gdzie:

- t - czas zmiany promienia poru od 0 do r ,
- δ - napięcie powierzchniowe,
- η - współczynnik lepkości ośrodka dyspersyjnego.

Związek między ciśnieniem w pęcherzyku ΔP i wartością jego promienia podaje równanie Laplace'a:

$$\Delta P = \frac{2\delta}{r} \quad (3)$$

Rozwiązując (2) i (3) względem δ i przyrównując po przekształceniu otrzymamy czas zmiany promienia poru:

$$t = \frac{8}{3} \frac{\eta}{\Delta P} \quad (4)$$

Z powyższych rozważań wynika, że niezbędną energię fazy gazotwórczej, potrzebną dla uformowania ciała porowatego określają wartości lepkości i napięcia powierzchniowego układu.

Podstawowymi parametrami fizycznymi określającymi własności mieszanki w procesie tworzenia się struktury porowatej podczas jej "wyrastania" w ogólnym przypadku dla ciał plastyczno lepkich (płynów Bingham'a) są naprężenia graniczne na ścinanie τ_0 i lepkość η .

Woźborowicz [5] oraz inni badacze wykazali, że różnego rodzaju układy dyspersyjne, np. niektóre zawiesiny, masy mineralne, a także masy gazobetonowe nie zawsze podlegają równaniu Newtona, według którego naprężenie ścinające τ jest proporcjonalne do gradientu prędkości $\frac{dv}{dx}$:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \quad (5)$$

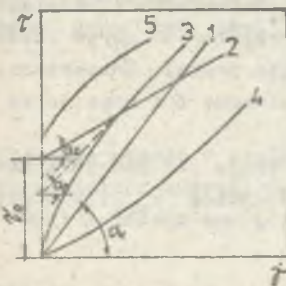
W tych przypadkach lepkość η przy różnych gradientach prędkości posiada różne wartości. Krzywe płynięcia dla najczęściej spotykanych płynów nieniutonowskich pokazane są na Rys. 1.

Zależność $\tau = f(\dot{\gamma})$ dla płynu idealnie plastycznego jest opisana równaniem modelowym, które przedstawił Schwaboff i Bingham [5]:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \left(\frac{dv}{dx} \right) = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma} \quad (6)$$

gdzie:

η_p - lepkość plastyczna,



Rys. 1. Krzywe płynięcia cieczy nieniutonowskich [12]

- 1 - ciecz niutonowska,
- 2 - ciecz binghamowska (plastyczna),
- 3 - ciecz pseudoplastyczna,
- 4 - ciecz o odwróconej plastyczności

τ_0 - granica płynięcia, minimalne naprężenie, które może wywołać ruch masy lepkoplastycznej (naprężenie graniczne na ścinanie).

Naprężenie graniczne τ_0 oraz lepkość plastyczna η_p są parametrami reologicznymi wyznaczanymi doświadczalnie. Większość cieczy nieniutonowskich, jak np. roztwory makrocząsteczek, zawiesiny ciał stałych w cieczach i inne zaliczyć można do grupy cieczy pseudoplastycznych (krzywa 3). Do grupy tej należą również zawiesiny gipsu w wodzie. Krzywa 4 przedstawia ciecz, dla której wzrost szybkości ścinania zwiększa tarcie między cząstkami a tym samym powoduje wzrost lepkości pozornej oraz porowatości zawiesiny (rozszerzanie). Ciecze takie przejawiają dylatancję i nazywają się cieczami o odwróconej plastyczności [12].

"Wyrastanie" masy jest rezultatem rozwoju procesów formowania powierzchni rozdziału faz przy wewnętrznym wydzielaniu się gazu. Zwiększenie objętości materiału uwarunkowane jest tworzeniem się porów gazowych.

W celu określenia wartości τ_0 i η_p z bezpośredniej zależności parametrów stanu mieszanki, Stakielberg i Mironov [4] opracowali model analityczny procesu zwiększenia objętości masy przez czynnik gazotwórczy (rys. 2).

W modelu tym pęcherzyk gazowy przedstawiony jest jako dwuwarstwowa sfera o promieniu r , gdzie warstwa wewnętrzna jest to błona cieczy, a zewnętrzna sprężysto-lepko-plastyczna masa. Grubość warstwy zewnętrznej otoczki środowiska dyspersyjnego jest dużo większa od grubości warstwy wewnętrznej $\delta_r \gg \delta_c$.

Rys. 2. Model pęcherzyka gazowego w ośrodku dyspersyjnym [4]



W wyniku działania ciśnienia wewnętrznego fazy gazotwórczej P objętość poru zostaje powiększona o dV . Podczas zwiększania objętości porów cały układ doznaje deformacji objętościowej, wykonuje więc pracę. Zwiększeniu objętości poru przeciwdziała napięcie powierzchniowe wody σ i naprężenie graniczne na ścinanie otaczającej masy τ_0 .

Układ ten, jak każdy układ materialny, charakteryzuje się pewnym zasobem energii, którą możemy podzielić na energię potencjalną E_{pot} , energię kinetyczną E_{kin} i energię wewnętrzną U :

$$E = E_{pot} + E_{kin} + U \quad (7)$$

Energia wewnętrzna U składa się z energii ruchu cząstek, energii drgań atomów (jonów) i energii układu jądro-elektrony [9].

Bezwzględna wartość energii wewnętrznej nie może być wyznaczona, mogą być wyznaczone tylko jej zmiany. Jeżeli na układzie zostanie wykonane pra-

ca W (np. praca zwiększenia objętości), to jego energia wewnętrzna zmieni się o równoważną ilość energii.

Obliczenie zmian energii wewnętrznej jest możliwe na podstawie pierwszej zasady termodynamiki. Zmiana energii wewnętrznej podczas procesu fizycznego lub reakcji chemicznej jest różnicą energii pobranej przez układ od otoczenia i przekazanej do otoczenia

$$dU = dQ + dW \quad (8)$$

Jeżeli część pobranej energii dW jest zużywana na wykonanie pracy objętościowej, to

$$dW = -pdV \quad \text{i} \quad dU = dQ - pdV \quad (9)$$

Część energii wewnętrznej, która może być zamieniona na pracę użyteczną nazywana jest energią swobodną F [9].

Powstający w wyniku "wyrastania" układ jest systemem, w którym faza gazowa została rozproszona w cieczy, przy czym obie fazy znajdują się w pewnej równowadze. Kształt pęcherzyków w tym systemie uzasadniony jest dążeniem układu do minimum energii swobodnej. Zmiana kształtu pęcherzyków powoduje wzrost tej energii, a zatem musi być wtedy wykonana praca.

Praca izotermiczna zmiany etanu jest równa zmianie energii swobodnej układu (funkcji Helmholtza) [10]:

$$dW = -dF \quad (10)$$

Jednak zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki warunkiem równowagi układu jest to, aby zmiana układu odpowiadało wykonanie nad otoczeniem pracy równej zero, tzn. aby

$$dW = 0.$$

Zatem dla układu o stałej temperaturze warunkiem równowagi jest $dF = 0$, czyli minimum energii swobodnej [10].

Ogólna zmiana energii swobodnej układu może być zapisana równaniem [4]:

$$dF = -P \cdot dV + G^k dA = 0, \quad (11)$$

gdzie:

P - ciśnienie,

V - objętość,

A - pole powierzchni rozdziału faz,

σ^s - ekwiwalentny współczynnik napięcia powierzchniowego na powierzchni rozdziału

$$\sigma^s = \sigma + 2\pi r \tau_0 \quad (12)$$

σ - współczynnik napięcia powierzchniowego wody,

Zatem jest

$$P \cdot dV = (\sigma + 2\pi r \tau_0) \cdot dA,$$

$$P = (\sigma + 2\pi \cdot r \cdot \tau_0) \frac{dA}{dV}$$

Ponieważ dla sferycznej powierzchni rozdziału

$$\frac{dA}{dV} = \frac{2 \cdot 4\pi r \cdot dr}{3 \cdot 4/4 \cdot \pi r^3 dr} = \frac{2}{r}$$

Zatem

$$P = \sigma \cdot \frac{2}{r} + 4\pi \cdot \tau_0 \quad (13)$$

Całkowita energia swobodna powierzchni pęcherzyka

$$F = A \cdot \sigma = 4\pi r^2 \sigma. \quad (14)$$

Układ taki dąży do zmniejszenia energii, może to zająć przy zmniejszeniu promienia o dr . Jeżeli proces taki nie zachodzi, to znaczy, że jest równowazony ciśnieniem gazu w pęcherzyku o Δp wyższym od ciśnienia otoczenia.

Praca wykonana przeciw takiemu ciśnieniu wynosi

$$\Delta W = \Delta p \cdot A \cdot dr = \Delta p \cdot 4\pi r^2 \cdot dr$$

i musi być równa zmianie energii swobodnej powierzchni, jeśli proces taki nie zachodzi samorzutnie

$$dF = 8 \cdot \pi r \cdot \sigma \cdot dr$$

Zatem z (10) jest

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} \quad (15)$$

Jest to ciśnienie Laplace'a dla pęcherzyków gazu w cieczy [11]. Z zależności tej wynika, że przy małych pęcherzykach gazu w cieczy panuje wyższe ciśnienie niż w dużych.

Podstawiając (15) — (13) otrzymujemy

$$P = \Delta p + 4\pi \cdot \tau_0 \quad (16)$$

Oznacza to, że warunkiem stabilności układu jest wyrównanie ciśnień panujących wewnątrz i na zewnątrz pęcherzyka. Wtedy wielkość naprężenia granicznego na ścinanie odpowiednio wyniesie:

$$\tau_0 = \frac{P - \Delta p}{4\pi} \quad (17)$$

Zatem o możliwości powiększenia objętości pęcherzyków gazowych, a tym samym powiększenia objętości całej masy decyduje ogólny nadmiar ciśnienia wewnątrz pęcherzyków $P_m = P - \Delta p$, czyli warunek

$$\tau_0 < \frac{P - \Delta p}{4\pi}$$

Ścisłej mówiąc, w danym ośrodku dyspersyjnym z rozproszoną fazą gazotwórczą możliwość zwiększenia objętości oraz trwałość układu zależy od wartości napięcia powierzchniowego na granicy faz.

Praca izotermiczna potrzebna na utrzymanie układu w równowadze będzie tym niższa im niższe będzie napięcie powierzchniowe na granicy obu faz.

W celu zweryfikowania zależności (17) Stakielberg i Miranow [4] wykonali badania spulchniania zaprawy cementowo-piaskowej. Otrzymane doświadczalnie wartości naprężenia granicznego na ścinanie τ_0 były zgodne z wartościami obliczonymi teoretycznie.

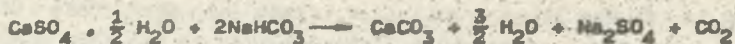
CZEŚĆ II. WYTWARZANIE GAZOGIPSU

W grupie materiałów budowlanych konstrukcyjnych dobrymi własnościami izolacyjnymi odznacza się gips porowaty, którego współczynnik przewodnictwa cieplnego należy do najniższych (dla gęstości objętościowej 300-400 kg/m^3 — $\lambda = 0,1163-0,1395$ $\text{W/m}\cdot\text{K}$). Choć gips jest materiałem wielofunkcyjnym [1], to pod względem izolacyjności mogą z nim konkurować jedynie typowe materiały izolacyjne, jak np. wełna mineralna, styropian itp.

Oprócz dobrych własności izolacyjnych porowatość gipsu wpływa korzystnie na gazoprzepuszczalność konstrukcji przegród [14], polepsza własności dźwiękochłonne oraz powoduje korzystny, naturalny mikroklimat pomieszczeń.

Gips porowaty, w którym pory wytworzone są przy użyciu fazy gazotwórczej nazywa się gazogipseem.

Pierwszych prób nad wytwarzaniem takiego rodzaju gipsu porowatego dokonał Sanford, który jako pierwszy uzyskał patent w tej dziedzinie [1]. Podane przez Sanforda receptury opierają się na wydzieleniu dwutlenku węgla z następującej reakcji:



Dokładniejsza badanie przydatności NaHCO_3 do tego celu wykonał Panjutin [17].

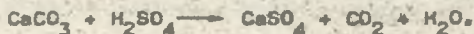
Wiele interesujących obecnie opracowań i patentów na wytwarzanie gazogipsu opiera się na reakcjach chemicznych zachodzących w zaczynie gipsowym, w wyniku których wydzielają się gazy: CO_2 , D_2 , H_2 i inne.

Jako substraty gazotwórcze stosuje się różnego rodzaju dodatki do gipsu lub wody zerobowej - NaHCO_3 , H_2O_2 , CaCO_3 i H_2SO_4 , pyły metali i H_2SO_4 , CaCO_3 i H_2SiF_6 oraz inne [3].

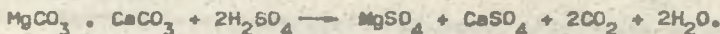
W wyniku reakcji gazotwórczych dodatków następuje [3]:

- wydzielenie wodoru przy wprowadzeniu proszków metalicznych do środowiska kwaśnego,
- wydzielenie tlenu - np. wskutek reakcji nadmanganianu potasu lub dwuchromianu potasu z nadtlenkiem baru lub wodą utlenioną,
- wydzielenie dwutlenku węgla w wyniku reakcji chemicznej węglanów alkalicznych lub wapnia z kwasami albo kwaśnymi solami.

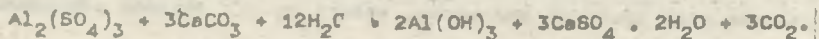
Gips budowlany często zawiera naturalną domieszkę CaCO_3 w kamieniu gipsowym. W tym przypadku w celu uzyskania gipsu porowatego wystarczy nieznaczne zakwaszenie wody zerobowej. Przebieg reakcji jest następujący:



Podobne efekty daje dodany do gipsu mielony dolomit oraz do wody zerobowej kwas siarkowy [1]:



Owadczuk [13] opracował technologię wytwarzania gazogipsu w oparciu o dodatek mielonej gliny wapniastej (zawierającej 15-25% pylastego kalcytu) oraz technicznego siarczanu glinowego. W zaczynie gipsowym w wyniku reakcji zobojętniania produktów hydralizy CaCO_3 i $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ wydzielają się drobne pęcherzyki CO_2 według reakcji:



Metody wytwarzania gazogipsu w oparciu o powyższą reakcję dają dobre wyniki i są najbardziej rozpowszechnione [3].

Z reakcji tej wynika, że przy współdziałaniu 342 g bezwodnego siarczanu glinu (jedna gramodrobina) z 300 g węgla wapnia (trzy gramodrobiny), obok innych produktów wydziela się 132 g, czyli 67,2 l dwutlenku węgla (trzy gramodrobiny).

W oparciu o tę zależność Osadczuk [13] przedstawił formułę na obliczenie procentowej ilości dodatków gazotwórczych czystej postaci dla uzyskania gazogipsu o żądanej gęstości objętościowej:

$$Y = \frac{n_1(\gamma - a) \cdot 100}{0,85 \cdot \gamma \cdot a \cdot n_2 \cdot v} \cdot P \quad (\%) \quad (18)$$

gdzie:

Y - ilość dodatku (kwaśnego lub węglanowego) %,

a - zadana z góry gęstość objętościowa,

γ - gęstość objętościowa suchego odlewu gipsowego dla odpowiedniego stosunku w/g,

n_1 - ilość gramocząsteczek obliczonego dodatku,

n_2 - ilość gramocząsteczek CO_2 wydzielającego się w czasie reakcji,

v - objętość jednej gramocząsteczki CO_2 w temp. 0°C i przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym $v = 22,4$ l,

P - współczynnik poprawkowy, którego wielkość praktyczna wynosi 2,4-2,5.

W praktyce istotnym zagadnieniem jest odpowiedni dobór konsystencji ciasta gipsowego poddawanego spulchnianiu przez czynnik gazotwórczy. W tym przypadku ze względów technologicznych optymalna ilość wody zarobowej jest nieco większa niż dla konsystencji normalnej, ponieważ uwodniony siarczan glinu jako silny elektrolit o wspólnym jonie z gipsem przyspiesza wiązanie ciasta gipsowego.

I tak np. dla stosunku w/g = 0,85 obliczona dla różnej gęstości objętościowej gazogipsu ilość dodatku Y wynosi odpowiednio:

- siarczanu glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$

$$Y_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}} = 2,902 \left(\frac{950 - x}{x} \right)$$

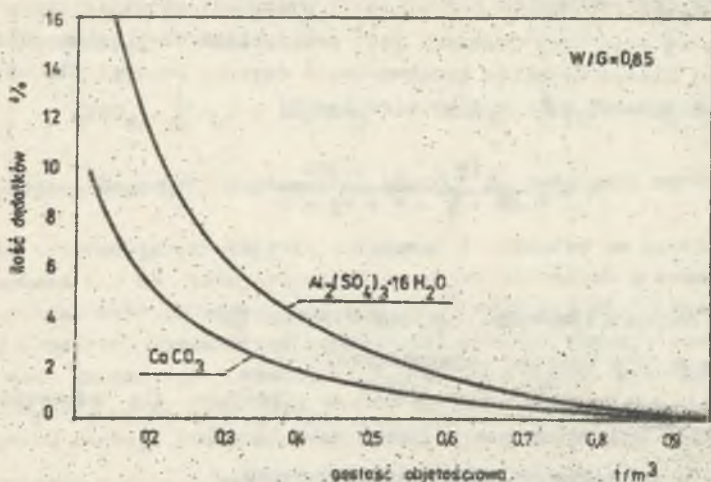
- węgla wapnia CaCO_3

$$Y_{\text{CaCO}_3} = 1,382 \left(\frac{950 - x}{x} \right),$$

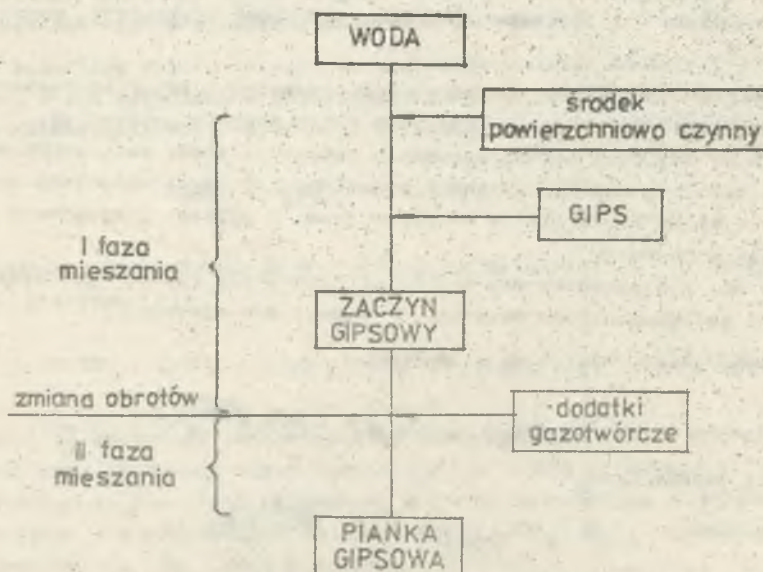
gdzie: x - zadana gęstość objętościowa gazogipsu.

Ponieważ obliczone na podstawie wzoru (18) ilość substratów odnosi się do substancji czystych (ryś. 3), w praktyce ilość tych dodatków należy nieco zwiększyć.

Na ryś. 4 przedstawiony jest stosowany w badaniach własnych schemat wytwarzania gazogipsu, nazywanego również pianką gipsową.



Ryś. 3. Ilość dodatków gazotwórczych: siarczanu glinu $(Al_2SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ i węgla wapnia $CaCO_3$ w zależności od wymaganej gęstości objętościowej gipsu porowatego



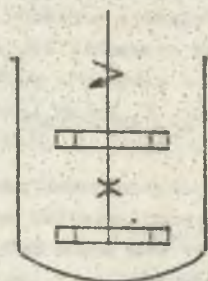
Ryś. 4. Schemat wytwarzania pianki gipsowej

Za względów technologicznych mieszanie należy przeprowadzić w dwóch fazach.

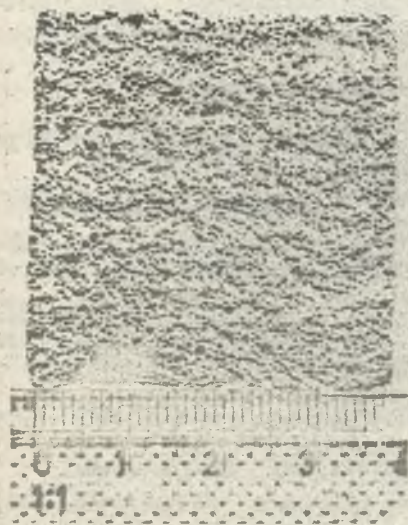
Faza pierwsza mieszania charakteryzuje się dużą liczbą obrotów mieszadła. Następnie tuż przed wprowadzeniem dodatków gazotwórczych należy zwolnić obroty mieszadła. Druga faza mieszania charakteryzuje się mniejszą liczbą obrotów mieszadła i trwa zwykle krócej w zależności od zastosowanego środka powierzchniowo czynnego. Proces "wyrastania" ciaste gipsowego rozpoczyna się zaraz po wprowadzeniu do mieszalnika dodatków gazotwórczych



Rys. 5a. Schemat mieszadła planetarnego wykonującego dwa rodzaje ruchu obrotowego dookoła osi mieszalnika oraz dodatkowo dookoła osi własnej



Rys. 5b. Schemat mieszadła łopatkowego z trzema mieszadłami umieszczonymi na wspólnym wale i obróconymi względem siebie o kąt 90°



Rys. 6. Struktura pianki gipsowej widoczna na przekłanej próbce o gęstości objętościowej 300 kg/m^3

i kończy się po wypełnieniu pianką gipsową form. Dłuższy okres mieszania w tej fazie oraz zwiększona liczba obrotów mieszadła spowodowałyby ucieczkę znacznej ilości wytworzonych pęcherzyków gazowych, a tym samym małą efektywność spulchniania zaczynu gipsowego. Innym bardzo ważnym zagadnieniem jest dobór rodzaju mieszalnika. Jak wynika z badań własnych najbardziej efektywne zmieszanie masy, a tym samym najbardziej jednorodną piankę gipsową uzyskuje się w mieszalnikach, w których mieszadło obraca się w całej masie. Przykładowe schematy takich mieszalników przedstawione są na rys. 5.

Na rys. 6 przedstawiono strukturę pianki gipsowej na przekłanej próbce o gęstości objętościowej 300 kg/m^3 , wykonanej zgodnie z wyżej podanymi

warunkami technologicznymi. Jako środek powierzchniowo czynny zastosowano tu związek typu kationowego - chlorowoderek dodecyloaminy $C_{12}H_{25}NH_2 \cdot HCl$.

Wnioski i uwagi końcowe

- 1^o Podczas formowania struktury porowatej materiału duże znaczenie posiada napięcie powierzchniowe na granicy faz ciecz-gaz.
W celu obniżenia napięcia powierzchniowego na granicy tych faz należy zastosować starannie dobrany środek powierzchniowo-czynny.
Stwierdzono korzystny wpływ związku typu kationowego - chlorowodoru dodecyloaminy $C_{12}H_{25}NH_2 \cdot HCl$ na kształtowanie struktury gipsu porowatego.
- 2^o W celu uzyskania jednorodnej struktury pianki gipsowej należy stosować mieszarki umożliwiające zwolnienie ilości obrotów mieszadła. Mieszadło powinno obracać się w całej masie wypełniającej mieszalnik (rys. 5). Środki gazotwórcze należy wprowadzić w drugiej fazie mieszania przy zwolnionych obrotach i w momencie kiedy masa do "wyrośnięcia" posiada odpowiednią lepkość.

LITERATURA

- [1] Akerman K.: Gips i anhydryt. PWN, Warszawa 1964.
- [2] Brandt A.M. i zespół: Własności mechaniczne i struktura kompozytów betonowych. Ossolineum, Wrocław 1974.
- [3] Gustaw K., Roszczyński W.: Gipsy porowate, "Cement wapno Gips" nr 7, 1977.
- [4] Śtackielberg D.I., Mironov W.E.: Termodynamičeskije issledovanija wspaniwanija gazobetona. "Stroitelnyje materiały" nr 8, 1979.
- [5] Gorjajnov K.Z., Korovnikova W.W.: Technologija proizvodstva polimernych i ciepłozoljacionnych izdelij. Wyssaja szkoła, Moskwa 1975.
- [6] Gajgała K.P., Matuljauskienė D.R.: Izučenije ustojčivosti formovocnoj massy gazosilikata. "Sbornik trudov WNIi ciepłozoljacji", wydruk 10, 1977.
- [7] Mzadzłow-Petrosjan O.P., Sofronov W.S.: Gazoobraznaja faza kak faktor napravlennogo formirovanija struktury i svojstv niekotorych widov stroitelnych materialow. "Sbornik trudov WNIi ciepłozoljacji", wydruk 10, 1977.
- [8] Anastasiu S., Jelescu E.: Środki powierzchniowo czynne. WNT, Warszawa 1973.
- [9] Barycka I., Skudlarski K.: Podstawa chemii. PWN, Warszawa 1981.
- [10] Elwell D., Pointon A.J.: Termodynamika klasyczna. WNT, Warszawa 1976.
- [11] Laskowski J.: Chemia fizyczna w procesach mechanicznej przeróbki kopalni. Śląsk, Katowice 1969.
- [12] Stręk F.: Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.
- [13] Osadczyk J.E.: Poristye gipsowyje materiały. Izd. Akademii Architektury USSR, Kijew 1955.

- [14] Szymański J.M.: Wpływ suszenia na wytrzymałość warstw powierzchniowych odlewów gipsowych. "Cement Wapno Gips" nr 10, 1973.
- [15] Cottrell A.M.: Własności mechaniczne materii. PWN, Warszawa 1970.
- [16] Krywickij M.J. i in.: Jacełistyje betony. Strojizdat, Moskwa 1972.
- [17] Paniutin A.G.: Stroitielnyj gips w stienowych konstrukcijach małożelaznych zdanij. Gosstrojizdat, Moskwa 1959.

Recenzent: Prof. dr inż. Tomisław Matyszewski

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ
НЕКОТОРЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГАЗООБРАЗНОЙ ФАЗЫ НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОГИПСА

Р е з ю м е

Образование пористых структур некоторых строительных материалов таких как газобетон, газосиликаты, газогипсы с применением газообразной фазы, это один из наиболее эффективных методов вспучивания, но не самый дешевый.

Статья представляет некоторые соединения между параметрами состояния во время вспучивания легкопластического материала Бингемово тело, также некоторые технологические аспекты изготовления газогипса.

TECHNOLOGICAL FORMING OF THE POROUS STRUCTURE OF BUILDING
MATERIALS WITH APPLICATION OF FOAMING ADDITIVES IN PRODUCTION
OF POROUS GYPSUM

S u m m a r y

Porous structure obtaining of some building materials as concrete, silicates, gypsum with application of foaming additives is the most effective however expensive way of their polarization. In the paper certain relations between parameters of the state in the bloating process of plastic material (Bingham's body) and some technological aspects of production of porous gypsum are presented.