

---

# WYKONYWANIE ODLEWÓW PRECYZYJNYCH METODĄ SHAW'A

Dr inż. W. Jankowski

---

Ćwiczenie 6

v. 2.0

---

## 1. Wprowadzenie

Metoda Shaw'a służy do wytwarzania odlewów precyzyjnych w formach ceramicznych. Metoda ta została opatentowana w Anglii (w 1951r.) przez braci Noela i Clifforda Shaw i szybko znalazła szerokie zastosowanie również poza granicami Anglii.

Forma ceramiczna Shaw'a charakteryzuje się bardzo dużą gładkością powierzchni, dużą stabilnością wymiarów, odpornością na uderzenia cieplne, a ponadto nie wydziela żadnych gazów w czasie zalewania, krzepnięcia i stygnięcia odlewów. Powyższe własności formy odlewniczej pozwalają na wytwarzanie odlewów o dużej dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni surowej. Stawia to metodę Shaw'a na czoło metod odlewania precyzyjnego wraz z metodą wytapianych modeli.

## 2. Istota zagadnienia

Istota metody sprowadza się do zaformowania dokładnie wykonanego modelu w ciekłej masie ceramicznej w postaci gęstego szlamu, złożonej z drobnoziarnistej osnowy ogniotrwalej, zhydrolizowanego krzemianu etylu jako spoiwa i substancji utwardzającej. Masa formierska w czasie utwardzania (zestalania) przechodzi ze stanu ciekłego w stan stały – wówczas wykazuje dużą sprężystość i plastyczność, w dotyku podobna jest do twardej gumy. Umożliwia to wyjmowanie modeli bez wywoływania trwałych deformacji wnętrza formy, nawet w przypadku modeli nie posiadających pochyłych odlewniczych, lub z niewielkimi pochyleniami w kierunku odwrotnym.

Masa formierska posiada równocześnie wystarczającą wytrzymałość, konieczną do umożliwienia wykonywania operacji przenoszenia obracania i ustawiania formy.

Całkowite utwardzenie formy ceramicznej polega na usunięciu z masy alkoholu etylowego, wody związanej i innych substancji lotnych. W tym celu formę poddaje się wstępnemu wypaleniu alkoholu wydzielającego się z formy, a następnie formę wyżarza się w piecu. Tak przygotowaną formę można zalewać ciekłym stopem zarówno podgrzaną do pewnej temperatury, jak też ostudzoną do temperatury otoczenia.

Istotnym zjawiskiem, które występuje w formach wykonanych metodą Shaw'a, jest siatka mikropęknięć formy, powstająca podczas wypalania wstępnego alkoholu i odparowywania wody. Zjawisko to nosi nazwę synerezy. Pęknięcia są tak drobne, że nie stwarzają warunków do penetracji ciekłego stopu w ścianki wnęki formy, zabezpieczają wysoką dokładność i powtarzalność wymiarów formy. Mikropęknięcia nadają formie przepuszczalność rzędu 15÷20 jednostek, co jest wystarczające, ponieważ materiał formierski nie wydziela gazów podczas odlewania.

## 2.1. Masy formierskie dla metody Shaw'a

### Osnowa masy

Przy wyborze osnowy należy uwzględnić: czystość, stabilność cieplną, współczynnik rozszerzalności cieplnej, współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, skład ziarnowy oraz cenę materiału. Skład ziarnowy decyduje o gładkości powierzchni odlewu, jednak zastosowanie zbyt drobnoziarnistej osnowy powoduje zmniejszenie przepuszczalności utwardzonej masy i zwiększa zużycie spoiwa. W kraju jako osnowę masy do metody Shaw'a stosuje się mulit ( $3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$ ) o średniej wielkości ziarna wynoszącej 0,06÷0,08 mm, przy czym: 54÷64 % ziaren ma wielkość 0,056÷0,16 mm i 3÷10 % ziarn posiada wielkość 0,16÷0,20mm. Osnowę masy mogą stanowić ponadto materiały ogniotrwałe, zawierające następujące związki: MgO, ZrO<sub>2</sub>, CaO, ZrO<sub>2</sub>·SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> (topiony lub trydymizowany).

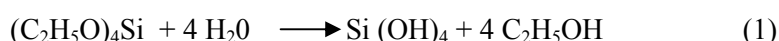
### Spoiwo

Spoiwem jest zhydrolizowany krzemian etylu. Krzemian etylu jest estrem kwasu krzemowego i alkoholu etylowego. Pod względem chemicznym jest niejednorodną mieszaniną składającą się z ortokrzemianu etylu o wzorze chemicznym  $\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ , produktów niepełnej hydrolizy tego związku oraz związków organicznych krzemu. Zawartość krzemionki w krzemianie etylu wynosi ok. 40 %, stąd odmianę najczęściej stosowaną w odlewnictwie oznacza się symbolem „40” (krzemian etylu – 40).

Krzemian etylu jest materiałem wyjściowym do sporządzania spoiwa o wysokiej ogniotrwałości. Ziarna osnowy pokryte cienką warstwą koloidalnej krzemionki, wydzielającej się ze zhydrolizowanego krzemianu etylu, zostają silnie z sobą związane.

## Hydroliza krzemianu etylu

Krzemian etylu w postaci, w jakiej jest dostarczany do odlewni, nie wykazuje własności wiążących. Aby uzyskać spoiwo odlewnicze, krzemian etylu należy poddać procesowi hydrolizy. Hydroliza jest procesem podstawiania grup etoksylogowych  $C_2H_5O-$  grupami hydroksylogowymi  $OH-$ . Hydrolizę monoestru  $(C_2H_5O)_4Si$  można ogólnie przedstawić następująco:



W rzeczywistości przebieg tego procesu zależy od ilości wody użytej do hydrolizy powstanie kwasu ortokrzemowego następuje podczas hydrolizy z ilością wody większą niż 0,5 mola na jedną grupę metoksylogową.

W przypadku zbyt małej ilości wody może nastąpić podstawienie tylko pewnej części grup metoksylogowych grupami hydroksylogowymi. Ze względów technologicznych nadmiar jest również niekorzystny, stąd odpowiednie proporcje składników roztworu do hydrolizy są bardzo istotne. W efekcie zastosowania różnej ilości wody możemy otrzymać spoiwo o bardzo zróżnicowanej ilości krzemionki: od 16 do 30 %  $SiO_2$ .

Przeprowadzenie procesu hydrolizy krzemianu etylu nie jest proste, ponieważ krzemian etylu i woda nie rozpuszczają się wzajemnie. Dopiero w obecności rozpuszczalnika (trzeciej substancji, którą może być alkohol etylowy, aceton i inne ciecze) można przeprowadzić hydrolizę. Dla prawidłowego określenia parametrów procesu hydrolizy krzemianu etylu powinno się znać następujące dane:

- udział procentowy grup metoksylogowych w wyjściowym krzemianie etylu,
- faktyczną zawartość wolnego alkoholu etylowego w wyjściowym krzemianie etylu,
- umowną zawartość krzemionki ( $SiO_2$ ) w wyjściowym krzemianie etylu,
- zawartość kwasu solnego w wyjściowym krzemianie etylu.

Hydroliza może odbywać się tak w środowisku kwaśnym, jak i zasadowym. W drugim przypadku prawie nie można kierować procesem żelowania krzemianu etylu. Dlatego w przemyśle stosuje się hydrolizę w środowisku kwaśnym w obecności HCl, który przyspiesza proces hydrolizy. Łączna ilość kwasu solnego (wraz z kwasem solnym zawartym w wyjściowym krzemianie etylu) powinna wynosić 0,3%. Poza kwasem solnym można stosować do hydrolizy kwas siarkowy lub silne kwasy organiczne, np.: mrówkowy, octowy, itp.

Dodanie kwasu solnego do roztworu hydrolizującego zmniejsza jego pH do wartości 1,5÷3,0, co stabilizuje spoiwo (zhydrolizowany krzemian etylu) na okres ok. 48 godzin. Potem wskutek

stopniowo postępującego procesu żelowania, zwiększa się lepkość spoiwa i pogarsza zdolność wiązania. Stabilność roztworu szybko zmniejsza się przy pH wynoszącym 5÷7.

Proces hydrolizy przeprowadza się następująco: najpierw miesza się alkohol etylowy (lub inny rozpuszczalnik) z zakwaszoną (zwykle kwasem solnym) wodą, a po około 10 minutach dodaje się stopniowo odpowiednią ilość krzemianu etylu. W trakcie mieszania podnosi się temperatura roztworu hydrolizującego, a mieszanie kontynuuje się do czasu obniżenia się jej do temperatury otoczenia.

## **Sporządzenie masy**

Sporządzenie stosowanej w metodzie Shaw'a masy ceramicznej polega na wymieszaniu sypkiej osnowy ogniotrwałej i spoiwa, w proporcji zapewniającej uzyskanie masy o konsystencji gęstego szlamu. Proporcje te ustala się w zależności od użytego materiału osnowy, tak aby otrzymana masa ceramiczna przy żądanej wytrzymałości zapewniała bezbłędne odtworzenie kształtu modelu. Praktycznie, stosunek wagowy mulitu do zhydrolizowanego krzemianu etylu, kształtuje się jak (2,5÷4) : 1, a mączki cyrkonowej do spoiwa jak 5,5 : 1.

Masę przygotowuje się dodając (najlepiej w naczyniu z tworzywa sztucznego) stopniowo do spoiwa odmierzoną ilość osnowy. Następnie celowym jest odgazowanie mieszaniny w urządzeniu próżniowym. Tuż przed wlaniem masy ceramicznej do skrzynki formierskiej lub rdzennicy, dodajemy ustaloną (na podstawie próby żelowania) ilość czynnika żelującego (utwardzacza), mieszając dokładnie z masą.

Zestalenie masy następuje wciągu kilkudziesięciu sekund do kilkunastu minut. Wówczas masa uzyskuje własności podobne do twardej gumy. Jest ona dość plastyczna i wytrzymała, co umożliwia i ułatwia wyjmowanie modeli, rozbieranie skrzynek formierskich lub rdzennic, bez obawy uszkodzenia i zmniejszenia dokładności wymiarowej wnęki formy.

## **Przeprowadzenie próby żelowania spoiwa**

W celu spowodowania stosunkowo szybkiego żelowania spoiwa w przygotowanej do użycia płynnej masie ceramicznej (doprowadzenie jego pH do wartości 5÷7) dodaje się zasady, która przeobraża zol w żel krzemionkowy. Czynnikiem żelującym ( utwardzaczem masy ) są zwykle wodne roztwory: amoniaku, soli amonowych kwasu octowego, węglanów, wodorotlenków i organicznych soli amonowych. Najczęściej stosuje się 10 % wodny roztwór węglanu amonu.

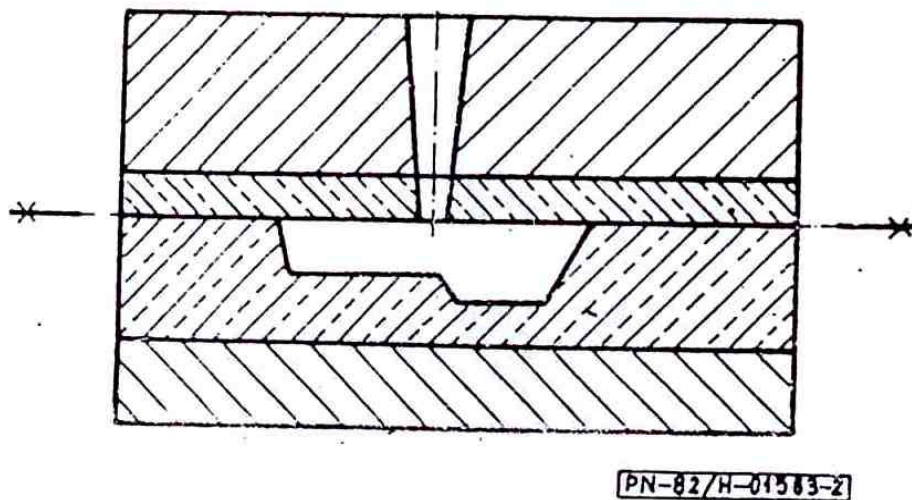
Przed zastosowaniem czynnika żelującego przeprowadza się tzw. próbę żelowania spoiwa, które ma być użyte do sporządzenia masy: do naczynia szklanego lub z tworzywa sztucznego odmierza się 100 ml spoiwa (zhydrolizowanego krzemianu etylu) i dodaje się do niego ciągle mieszając 4 ml 10 % wodnego roztworu węglanu amonu, mierząc równocześnie czas od dodania czynnika żelującego do początku żelowania spoiwa. Na tej podstawie określa się ostateczną ilość utwardzacza, którą należy dodać do przygotowanej masy ceramicznej.

## 2.3. Wykonywanie form i rdzeni precyzyjnych metodą Shaw'a

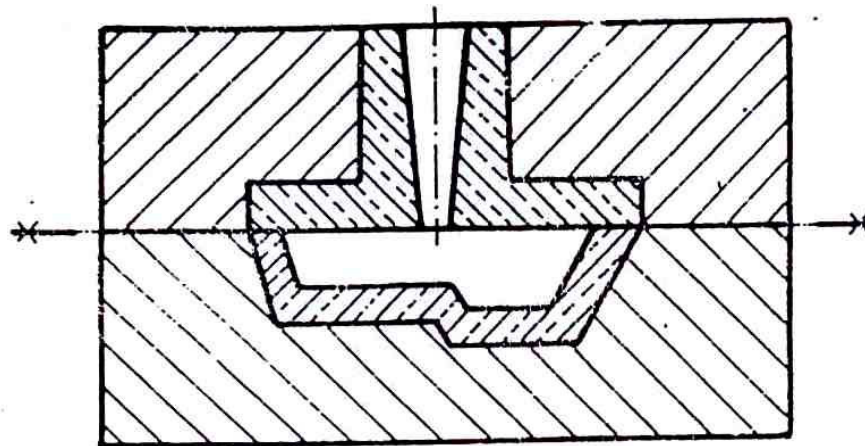
### Rodzaje form

Polska Norma (PN - 82/H - 01563) przewiduje następujące rodzaje form, stosowanych w metodzie Shaw'a:

- a) **forma blokowa jednolita** - ceramiczna forma wykonana tylko z masy Shaw'a;
- b) **forma blokowa dwuwarstwowa** - ceramiczna forma wykonana z dwóch różnych mas Shaw'a, przy czym w masie przymodelowej jest odwzorowany kształt modelu odlewniczego, a w masie wypełniającej pozostała przestrzeń skrzynki formierskiej - co pokazano na rysunku 1,
- c) **forma kombinowana Shaw'a** - ceramiczna forma w której masę przymodelową stanowi masa Shaw'a, natomiast masę wypełniającą sypka masa formierska szamotowa ze szkłem wodnym sodowym; schematycznie formę taką przedstawiono na rysunku 2,
- d) **forma skorupowa Shaw'a** - ceramiczna forma skorupowa wykonana z masy Shaw'a; schematycznie formę taką przedstawiono na rysunku 3;
- e) **forma metalowo - ceramiczna Shaw'a** - metalowa forma, w której kształt odlewu jest odwzorowany w wewnętrznej warstwie wykonanej z masy Shaw'a; ten rodzaj formy przedstawiono schematycznie na rysunku 4.

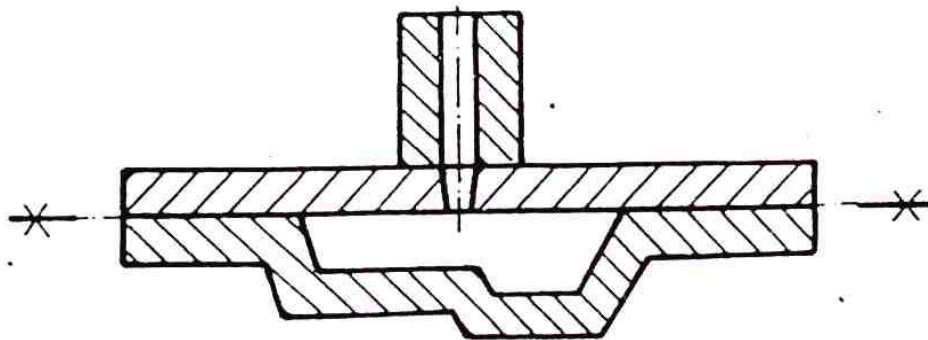


Rys.1. Schemat formy blokowej dwuwarstwowej



PN-82/H-01563-3

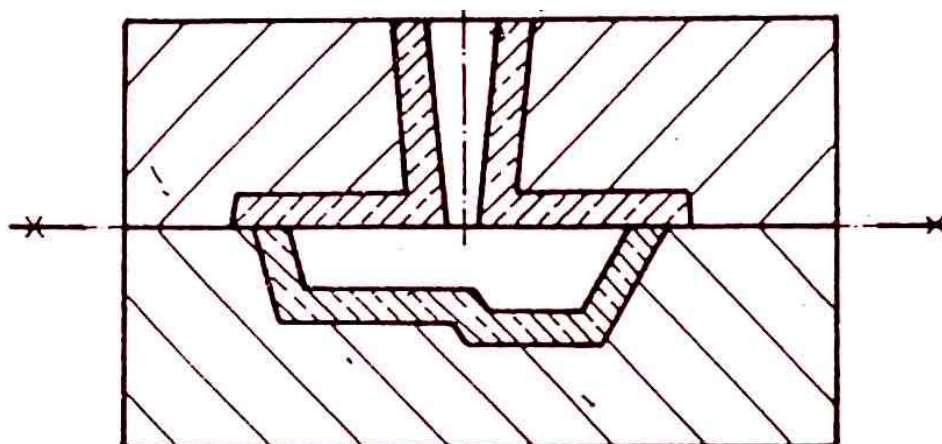
Rys. 2. Schemat formy kombinowanej Shaw'a



Rys. 3. Schemat formy skorupowej Shaw'a

### Modele i skrzynki formierskie

Do metody Shaw'a można stosować zasadniczo wszystkie tworzywa modelowe znane i stosowane w odlewnictwie. Jednak wykonanie modeli musi być staranne i dokładne, a szczególnie materiały (lakiery) do wykańczania ich powierzchni muszą zapobiegać ewentualnej reakcji ze składnikami płynnej masy Shaw'a. Z uwagi na łatwość i precyzję wykonania oraz trwałość wymiarów modeli, tworzywa modelowe można uszeregować od najbardziej do najmniej polecanego w następującej kolejności: mosiądz, stal, stopy Al, polistyren, polastosil, silastik, żywice epoksydowe, drewno i gips.



PN-82/H-01563-5

Rys. 4. Schemat formy metalowo-ceramicznej Shaw'a

Modele przed zaformowaniem pokrywa się dodatkowo warstewką oddzielną, który najczęściej jest roztworem wosku dentystycznego (lub pszczelego) w czterochlorku węgla lub trójchloroetylenie. Po odparowaniu rozpuszczalnika powierzchnie modelu poddaje się polerowaniu. Praktycznie w użyciu są również środki przeciwprzyczepne w rozpylaczu aerozolowym, np. silform.

Wykonanie formy metodą Shaw'a polega na wypełnieniu ciekłą masą ceramiczną skrzynki formierskiej na płycie modelowej. Formy małe wykonywane są z reguły w skrzynkach rozbieralnych (usuwalnych) lub specjalnych skrzynkach kształtowych. Formy większe wykonuje się w zwykłych skrzynkach formierskich, wyposażonych w precyzyjny zespół ustalający (centrujący).

### Wykonanie form

Wykonanie formy rozpoczynamy od wyboru rodzaju formy i w zależności od tego realizujemy odpowiednie operacje i etapy technologiczne. Poniżej przedstawiono procedury postępowania dla trzech, najczęściej stosowanych w praktyce, rodzajów form:

- formy blokowe jednolite,
- formy blokowe dwuwarstwowe,
- formy kombinowane.

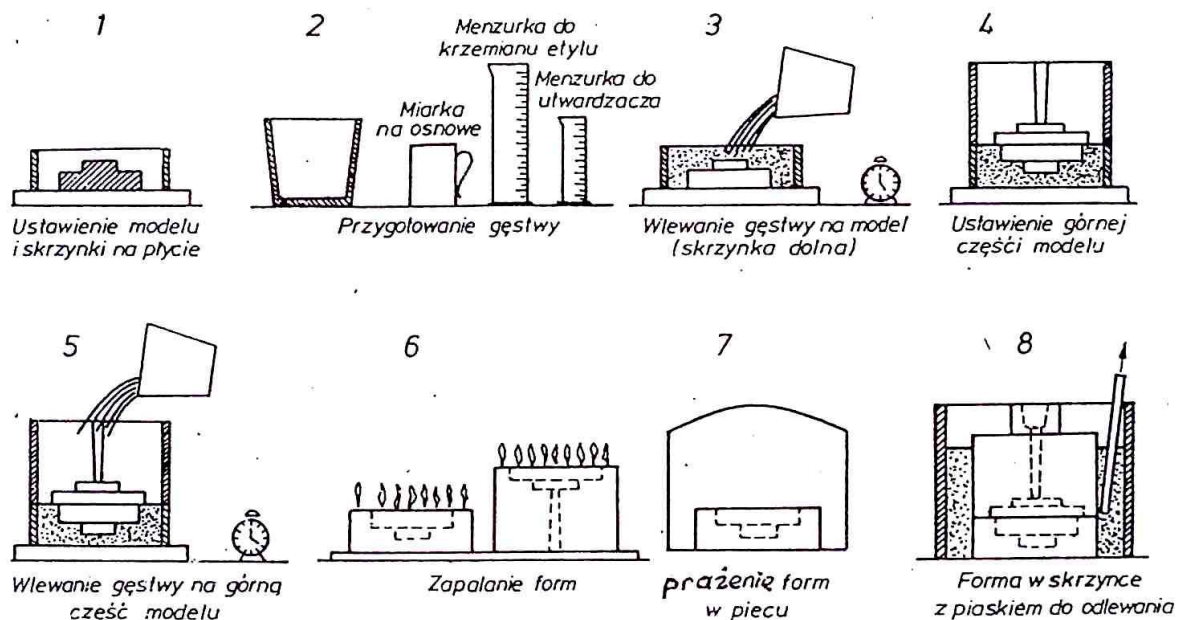
**Formy blokowe jednolite** wykonane są z jednego gatunku gęstwy ceramicznej. Z uwagi na wysoki koszt masy, formy te stosowane są wyłącznie dla odlewów małych przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Etapy wykonania formy blokowej jednolitej przedstawiono na rysunku 5.

**Formy blokowe dwuwarstwowe** wykonuje się dwustopniowo, z dwóch gatunków gęstwy ceramicznej. Forma w tym przypadku składa się z warstwy masy przymodelowej i z warstwy masy wypełniającej. Gęstwę wypełniającą sporządzoną z tańszych składników (o gorszych własnościach), wlewa się do skrzynki po wstępnym zestaleniu się gęstwy przymodelowej.

Sposób ten stosowany jest dla odlewów o bardzo delikatnej i skomplikowanej rzeźbie powierzchni, na przykład odlewów artystycznych.

**Formy kombinowane** są najkorzystniejsze dla seryjnej produkcji odlewów; do ich wykonania stosuje się najczęściej modele nadwymiarowe. Przy wykonywaniu kombinowanych form Shaw'a warstwa masy ceramicznej, zarówno ze względu na duży koszt masy, jak i z uwagi na możliwość jej pęknięcia i deformacji w czasie wypalania formy, powinna być możliwie równomierna i jak najcieńsza.

Najczęściej stosowany proces wytwarzania formy kombinowanej, przedstawiony schematycznie na rysunku 6, polega na wykonaniu w pierwszej kolejności formy z masy wypełniającej z użyciem modelu nadwymiarowego, lub modelu przejściowego; otrzymujemy wówczas wnękę powiększoną o grubość warstwy masy przymodelowej. Tworzywem wypełniającym może być masa ze szkłem wodnym utwardzana  $CO_2$ , w której osnowa jest gruboziarnista w postaci żwirku. Następnie wykorzystuje się model właściwy, a w przestrzeń pomiędzy tym modelem i wnęką uzyskaną w masie wypełniającej wlewa się przymodelową masę Shaw'a poprzez specjalny układ wlewowy, odwzorowany w masie wypełniającej. Układ ten musi zapewniać z jednej strony szybkie i spokojne wlanie masy przymodelowej a z drugiej musi zapewniać swobodny wypływ gazów (głównie powietrza) poprzez wychody.



**Rys. 5.** Schemat wykonania formy blokowej jednolitej metodą Shaw'a

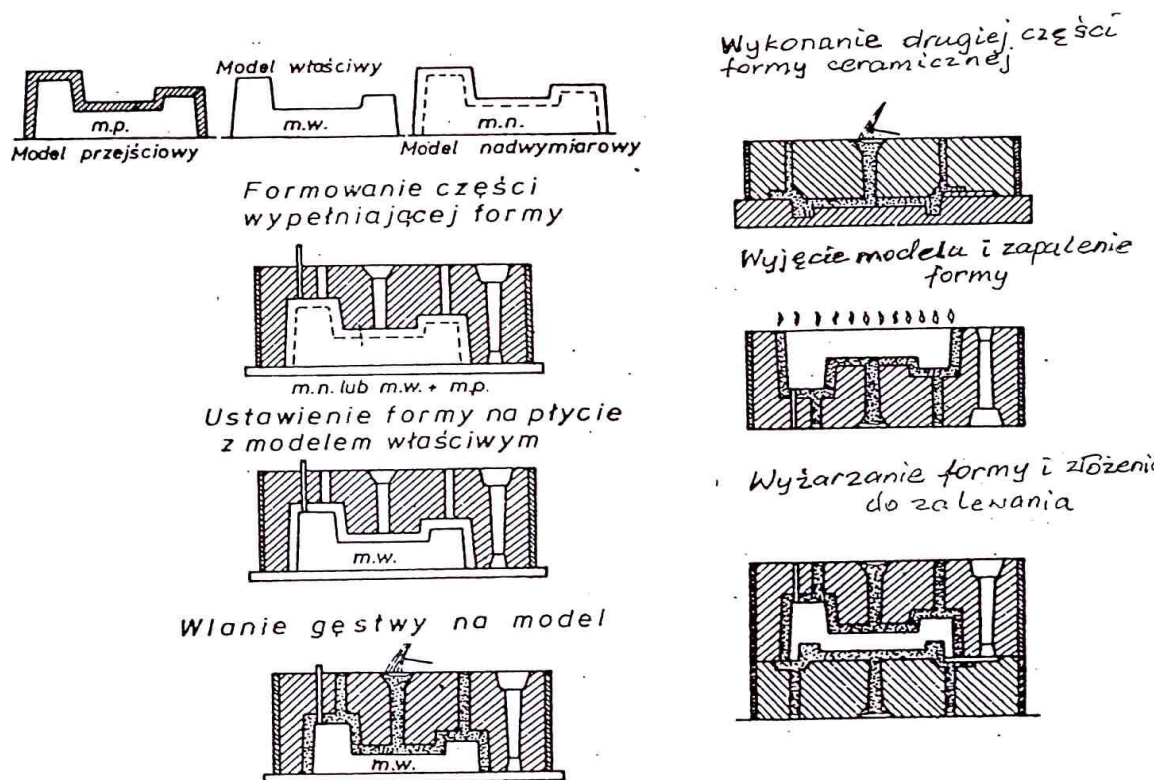
Formy kombinowane Shaw'a stosuje się do odlewów średnich, dużych i najcięższych przy produkcji jednostkowej, seryjnej i masowej. W produkcji jednostkowej używa się modeli przejściowych; jest to cienka skorupa, o grubości równej grubości warstwy przymodelowej Shaw'a, nakładana na model właściwy; wykonuje się ją z gipsu, żywicy poliestrowej, drewna, itp. Po uzyskaniu przez masę Shaw'a konsystencji gumowatej wyjmuje się model łącznie z modelami układu wlewowego, odwraca formę i podpala w celu wypalenia alkoholu.

Ceramiczna forma Shaw'a jest jednorazową formą dzieloną i może zawierać również rdzenie wykonane z zastosowaniem tego procesu.



Operacje związane z przygotowaniem płynnej masy ceramicznej Shaw'a i wykonaniem form z masy wypełniającej mogą być wykonane ręcznie lub z zastosowaniem urządzeń, które je mechanizują a nawet automatyzują.

Operacją kończąca proces przygotowania form ceramicznych jest ich wyprażenie w piecach komorowych, w temperaturze  $850 \div 1000^{\circ}\text{C}$ , w czasie około 3÷5 godzin. Po wyprażeniu i złożeniu, formy ceramiczne Shaw'a można zalewać na gorąco lub na zimno. Ze względu na intensywne wchłanianie wilgoci, form nie należy przechowywać dłużej niż 4÷6 godzin; formy przetrzymane dłużej należy suszyć przed ich zalaniem w temperaturze ok.  $200^{\circ}\text{C}$ .



Rys.6. Schemat wytwarzania formy kombinowanej Shaw'a

## Wykonanie rdzeni

Proces wykonania rdzeni metodą Shaw'a przebiega identycznie jak proces wykonania form. Rdzenie nie wymagają stosowania kanałów odpowietrzających, jak również ze względu na dużą wytrzymałość masy dodatkowego uźebrowania. W przypadkach koniecznych stosuje się uźebrowanie szkieletowe, wykonane z masy Shaw'a i starannie wypalone. Nie można używać do rdzeni ceramicznych uźebrowań metalowych, ponieważ duże różnice w rozszerzalności cieplnej tych

tworzyw powodują pęknięcie rdzeni. Do rdzeni o dużej objętości można, w celu zaoszczędzenia ciekłej masy ceramicznej, zastosować wkładki z odłamków wybitych form Shaw'a.

## **2.4. Odmiany technologii Shaw'a**

### **Metoda silprec**

Proces ten, opracowany w AGH, stanowi istotną modyfikację metody Shaw'a w wyniku zastosowania osnowy kwarcowej. Otrzymuje się ją przez odpowiednią obróbkę cieplną piasku kwarcowego i następnie jego zmielenie. Średnia wielkość ziarna tak przygotowanej mączki kwarcowej wynosi ok. 0,06 mm. Ponieważ obróbka cieplna nie eliminuje całkowicie rozszerzalności cieplnej mączki kwarcowej, do masy wprowadza się dodatki organiczne ulatniające się (sublimujące) w stosunkowo niskiej temperaturze, a ich usunięcie z utwardzonej masy następuje w czasie wstępnego wypalania alkoholu etylowego. Dodatek organiczny nie pogarsza gładkości powierzchni wnętrza formy, polepsza natomiast przepuszczalność i wybijalność masy. Masa, w porównaniu z metodą Shaw'a, jest tańsza, ma lepszą przepuszczalność i wybijalność oraz zapewnia wystarczającą dokładność wymiarową odlewów. Może być stosowana do wytwarzania odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych, a szczególnie nadaje się do produkcji kokil i matryc.

### **Metoda unicast**

Metoda ta jest modyfikacją procesu Shaw'a. Stosuje się te same materiały, lecz po związaniu masy nie stosuje się wypalania alkoholu, a formę umieszcza się w kąpeli utwardzającej. Z utwardzonej masy nie usuwa się wobec tego składników lotnych i nie powstaje w niej siatka mikropęknięć, jak to ma miejsce w metodach Shaw'a i Silprec. Masa ma mniejszą przepuszczalność, natomiast jakość powierzchni uzyskanych tą metodą odlewów jest taka sama, jak odlewów otrzymanych w formach z masy do metody Shaw'a. Metoda ta jest szczególnie przydatna do sporządzania rdzeni.

### 3. WYKONANIE ĆWICZENIA

W trakcie realizacji części praktycznej ćwiczenia należy wykonać dwuczęściową formę blokową, jednolitą, zgodnie z wytycznymi podanymi w tym rozdziale.

#### 3.1. Przygotowanie spoiwa

Odmierzyć w odpowiednich, szklanych naczyniach miarowych poszczególne składniki do wykonania hydrolizy krzemianu etylu, wg następujących proporcji:

- krzemian etylu „40” 750 ml,
- alkohol etylowy skażony 350 ml,
- woda destylowana 40 ml,
- kwas solny stężony 2 ml.

Przeprowadzić hydrolizę zgodnie z opisem w podrozdziale „Hydroliza krzemianu etylu”, a następnie ostudzić spoiwo do temperatury otoczenia.

#### 3.2. Przygotowanie czynnika żelującego (utwardzacza) i przeprowadzenie próby żelowania spoiwa

Do szklanej zlewki odmierzyć 100 ml (100 g) wody destylowanej, wsypać do niej 10 g węglanu amonu, ustawić na mieszadło magnetycznym i mieszać do całkowitego rozpuszczenia się węglanu amonu w wodzie. Otrzymuje się w ten sposób 10-cio procentowy roztwór wodny węglanu amonu. Do plastikowego naczynia odmierzyć 100 ml gotowego spoiwa (zhydrolizowanego krzemianu etylu), mieszając wlać do niego 4 ml czynnika żelującego i mierzyć czas, po którym spoiwo przejdzie w stan żelu.

#### 3.3. Przygotowanie modeli i skrzynek formierskich

Do wykonania w czasie ćwiczeń form metodą Shaw'a, stosuje się modele wykonane z gumy silikonowej (polastosilu). Modele należy dokładnie oczyścić miękką szmatką i pokryć warstewką aerozolu oddzielnika pod nazwą silform. Wokół modelu ustawić ścianki rozbieralnej skrzynki formierskiej, połączyć je ze sobą zaciskami.

#### 3.4. Przygotowanie ciekłej mieszanki ceramicznej i wykonanie formy

Ciekłą mieszankę ceramiczną sporządzić wg następującego składu:

- spoiwo (zhydrolizowany krzemian etylu) 1000 ml,

- osnowa piaskowa (mulit) 3000 g,
- utwardzacz (10 % roztwór wodny węgla amonu) 40÷60 ml.  
- w zależności od wyników próby żelowania

Do plastikowego naczynia (wiaderka) wlać odmierzoną ilość spoiwa; następnie dodawać niedużymi porcjami odważoną ilość osnowy piaskowej cały czas mieszając. Po wymieszaniu mieszanki ceramicznej, odstawić ją na kilkanaście minut w celu umożliwienia wypłynięcia pęcherzykom powietrza, wprowadzonym w czasie mieszania. W tym czasie odmierzyć ustaloną ilość czynnika żelującego; następnie wprowadzać go powoli, małymi porcjami do ciekłej mieszanki ceramicznej, cały czas mieszając całość. Gotową mieszkankę wlać powoli do przygotowanej uprzednio skrzynki formierskiej. Po zestaleniu się formy wyjąć model, rozebrać skrzynkę formierską formę przenieść na metalowej podstawie pod wyciąg i podpalić. W podobny sposób należy wykonać drugą część formy.

### **3.5. Obróbka termiczna wykonanych form i przygotowanie ich do zalewania**

Wykonane połówki formy, po ich wstępnym wypaleniu przenieść do pieca komorowego i podgrzewać do temperatury 900°C z szybkością około 100°C/godz., a następnie wyżarzyć je przez 4÷5 godzin w tej temperaturze. Po zakończeniu wyżarzania połówki formy należy studzić razem z piecem, po czym przygotować je do zalewania ciekłym stopem.

## **4. WYKONANIE SPRAWOZDANIA**

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

1. Opis celu i zakresu ćwiczenia,
2. Krótkie merytoryczne wprowadzenie do tematu,
3. Szczegółowy opis ćwiczenia, z podaniem składu roztworu do hydrolizy krzemianu etylu i składu ciekłej mieszanki ceramicznej,
4. Wnioski końcowe w odniesieniu do jakości uzyskanych form Shaw'a i uzyskanych z nich odlewów.

## **5. PYTANIA KONTROLNE**

1. Ogólna charakterystyka metody Shaw'a.
2. Zasady hydrolizy krzemianu etylu.
3. Skład roztworu do hydrolizy i warunki przeprowadzania hydrolizy krzemianu etylu.
4. Sposób wykonania ciekłej mieszanki ceramicznej w celu wypełnienia skrzynki formierskiej lub rdzennicy; czynnik żelujący (utwardzacz).
5. Modele, skrzynki formierskie, rdzennice i pozostałe oprzyrządowanie dla metody Shaw'a.
6. Obróbka termiczna form wykonanych metodą Shaw'a.
7. Własności form i rdzeni wykonanych metodą Shaw'a.

8. Rodzaje form stosowanych w metodzie Shaw'a.
9. Przygotowanie do i zalewanie form w metodzie Shaw'a.
10. Zalety i wady metody Shaw'a - odmiany metody.

## Literatura

- [1] **Gawroński J.** i in.: Laboratorium z technik wytwarzania-odlewnictwo. Skrypt Pol.ŚI nr 844, Gliwice 1979.
- [2] **Jabłoński J., Jankowski W., Żardecki W.:** Technologia silprec. Z.Nauk. AGH, s.Metal, i Odlewn, Kraków 125(1989)1271, 207.
- [3] **Jankowski W., Iwański E.:** Samoutwardzalna masa formierska lub rdzeniowa. Patent RP nr 164288. AGH, Kraków 1994.
- [4] **Lech L., Chabowski W.:** Odlewanie precyzyjne metodą Shaw'a w Anglii, USA i Japonii. Przegląd Odlewnictwa,(1964)12, 338.
- [5] **Lewandowski J.L.:** Przygotowanie form odlewniczych. Masy formierskie i rdzeniowe. Skrypt AGH nr 1062, Kraków 1987.
- [6] **Lewandowski J.L.** i in.: Niektóre problemy związane z przygotowaniem i zastosowaniem spoiw zawierających krzemionkę koloidalną. Przegląd Odlewnictwa. (1981)8, 249.
- [7] Norma Polska PN-82/H-01563 pt.: Odlewnictwo. Technologia Shaw'a. Terminologia.
- [8] Poradnik Inżyniera - Odlewnictwo. WNT, W-wa 1972.
- [9] **Sakwa W., Wachelko T.:** Materiały na formy i rdzenie odlewnicze. „Śląsk”, Katowice 1981.