
TECHNOLOGIA WYTWARZANIA ODLEWÓW Z ZASTOSOWANIEM MODELI ZE SPIENIONEGO POLISTYRENU

Dr inż. W. Jankowski, Dr inż. J. Mocek

Ćwiczenie 3

v. 2.0

1. ZASADY PROCESU

Technologia pełnej formy polega na umieszczeniu modelu z polistyrenu spienionego (styropianu) - na którego powierzchnię naniesiona jest powłoka ognioodporna - w skrzynce formierskiej oraz zasypaniu modelu odlewu i układu wlewowego suchym piaskiem kwarcowym. Jest to pierwszy proces, w którym zastosowano masę formierską bez materiału wiążącego - SMB [8] - (amerykański patent F.Shroyer'a z 1956 r.). Piasek jest następnie wibrowany do osiągnięcia maksymalnej zwartości i gęstości. Ciekły metal wlany do formy zgazowuje model styropianowy, odtwarzając go doskonale w postaci odlewu. Gazy powstałe ze zgazowanego modelu przechodzą przez powłokę ochronną i piasek na zewnątrz formy [1,3,10,13].

2. ODMIANY PROCESU WYTWARZANIA ODLEWÓW

Z ZASTOSOWANIEM MODELI Z POLISTYRENU SPIENIONEGO

Proces modeli wypalanych, wykonanych ze spienionego polistyrenu, określane jako Expanded Polystyrene Moulding, znany jest pod nazwą handlową „FULL MOULD”, „POLICAST”, „REPLICAST FM lub CS”, „SIMPLICAST FM”.

W procesach typu FM (pełnej formy) model polistyrenowy usuwany jest z formy na drodze zgazowania go (destrukcji cieplnej) w trakcie zalewania ciekłym metalem. Cienkościenna forma ceramiczna nie jest wypalana przed zalewaniem. Wytwarzanie formy polega na naniesieniu na powierzchnię modelu jednej lub dwóch warstw powłoki (pokrycia) ceramicznej o określonej grubości - zwykle 1÷3 mm - i zaformowaniu całego zestawu w suchym, niezwiązanym piasku kwarcowym. Tak przygotowaną formę zalewa się ciekłym metalem.

Zgazowanie styropianu powoduje wzrost zawartości węgla na powierzchni odlewu co utrudnia, a czasem uniemożliwia stosowanie metody pełnej formy w klasycznej postaci. Opracowano wobec tego

jej odmianę, polegającą na wykonywaniu form skorupowych z zastosowaniem modeli styropianowych.

W procesach typu CS (form ceramicznych wypalanych) model polistyrenowy usuwa się poprzez wypalenie w piecach elektrycznych form ceramicznych przed ich zalaniem ciekłym stopem. Zestawy wypala się w temperaturze 800-1000° C, co pozwala usunąć model polistyrenowy i nadać powłoce skorupowej odpowiednią wytrzymałość. Zamiast jednej lub dwóch warstw powłoki nakłada się trzy lub cztery warstwy, a dodatkowe warstwy obsypywane są materiałem ogniotrwałym. Powłoka ceramiczna ogniotrwała ma grubość 3-8 mm. Po zaformowaniu w niezwiązanym piasku kwarcowym, ciekły metal wlewa się do pustej formy (technologia Replicast CS).

Technologia Simplicast FM

Stosuje się model polistyrenowy pokryty ogniotrwałą zawiesziną pod nazwą Stymorol, w celu utwardzenia skorupy wokół modelu, który po wypaleniu ciekłym stopem pozostawia odlaną replikę modelu. W metodzie tej, model o małej gęstości (poniżej 25 kg/m³) pokrywa się przez zanurzenie w ogniotrwałej zawieszinie Stymorol, wytwarzanej przez firmę Foseco dla stopów lekkich [9].

Technologia Replicast FM

W tej technologii zastosowano niezwiązany piasek o ziarnistości 0,5÷0,55 mm i próżniowe zasysanie od dna skrzynki formierskiej, dla poprawienia trwałości formy [9].

Technologia EPC

Technologia ta polega na zanurzeniu gotowych modeli w zbiorniku z pokryciem ogniotrwałym, suszeniu tego pokrycia i formowaniu w skrzynkach z piaskiem, który zagęszcza się. Po zagęszczeniu dodaje się zbiornik wlewowy i zalewa ciekłym stopem. Następnie skrzynka formierska przedmuchiwana jest powietrzem w celu utlenienia resztek polistyrenu i ochłodzeniu odlewu. Zakrzepły odlew przenosi się do zbiornika oziębiającego, gdzie zostaje usunięta większość pokrycia ogniotrwałego [11].

3. WYTWARZANIE MODELI DLA PROCESU PEŁNEJ FORMY

3.1. WYMAGANIA ODNOŚNIE DO MATERIAŁU NA MODELE

Dobry materiał na modele powinien charakteryzować się następującymi własnościami:

- a) **własności odlewnicze** - brak wady węgla błyszczącego, dobra sztywność, mała ilość wydzielanych gazów, mała toksyczność;
- b) **własności modeli** - krótki czas formowania, szybka stabilizacja wymiarów, gładka powierzchnia, dobra wytrzymałość i sprężystość modeli;
- c) **własności granulek** - mały wymiar granulek, długi czas przydatności do użycia, niska cena.

3.2. MATERIAŁY STOSOWANE NA MODELE

Podstawowym materiałem stosowanym na modele w tej technologii jest polistyren spieniony (EPS), syntetyczny produkt termoplastyczny. Do wyrobu polistyrenu piankowego (styropianu) stosuje się polistyren niskoudarowy, który jest kruchy i mało odporny na działanie wysokiej temperatury (ok. 70° C). Polistyren składa się z około 92 % węgla i 8 % wodoru, jego gęstość wynosi około 565 kg/m³. Materiał ten można spenić różnymi sposobami, a uzyskana gęstość pozorna może wynosić nawet 6 kg/m³. Do sporządzania modeli granulki surowego polistyrenu są ekspandowane do określonej gęstości, zazwyczaj ok. 15÷20 (24) kg/m³ - dla metody pełnej formy (Full Mould) oraz ok. 50 kg/m³ - dla metody form skorupowych (Replicast CS). Spieniony polistyren zawiera w 1 cm³ od 5 000 do 10 000 porów, przy czym ilość polistyrenu w ogólnej objętości wynosi poniżej 4 % wag. Ścisła kontrola tej operacji ma bardzo ważne znaczenie. Tak przygotowane granulki muszą być starzone przez pewien okres czasu (vide rozdz.3.3.-rys.2).

Fizykochemiczne właściwości takiego styropianu są następujące:

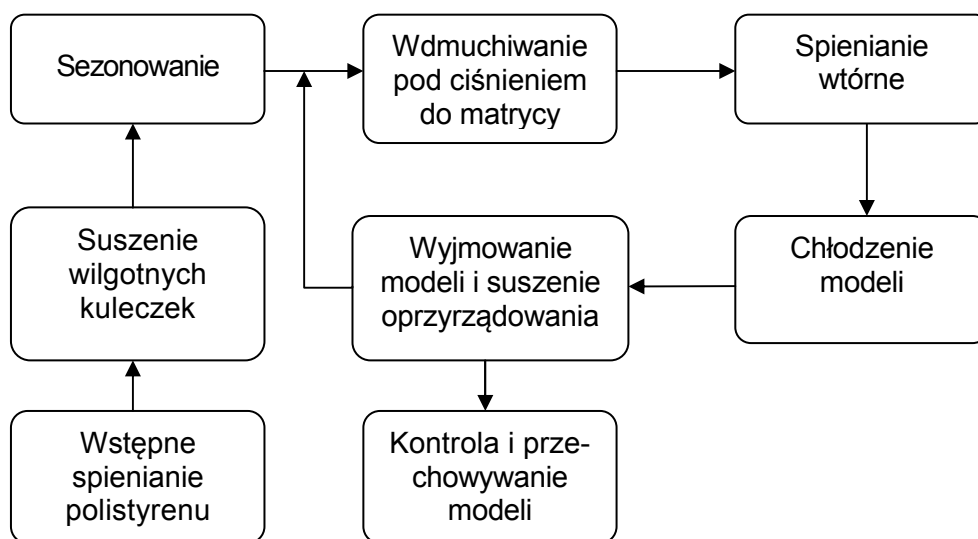
- wytrzymałość na zginanie 0,30 ÷ 0,35 MPa,
- wytrzymałość na ścislenie 0,09 ÷ 0,11 Mpa,
- wytrzymałość na rozciąganie 0,22 ÷ 0,34 Mpa,
- trwałość cieplna do 70 ÷ 80° C,
- temperatura mięknięcia 180 ÷ 250° C,
- temperatura zapłonu 275 ÷ 290° C,
- temperatura spalania około 328° C,
- współczynnik przewodzenia ciepła przy 0° C 0,035 W/(m K).

Przy stosowaniu modeli ze spienionego polistyrenu następuje wzrost zawartości węgla w odlewie o 0,1 ÷ 0,3 % [6,12]

Drugim materiałem stosowanym na modele w tej technologii jest spieniony polimetakrylan metylu (PMMA). Powoduje on mniej wtrąceń węgla w odlewach. Modele z polimetakrylanu metylu, zwykle o gęstości 20 ÷ 27 kg/m³, powodują wzrost zawartości węgla w odlewach o wartość mniejszą niż 0,05 % nawet w krytycznych obszarach blisko powierzchni i w górnych częściach odlewu. W podwyższonej temperaturze ulega on rozkładowi niemal wyłącznie na produkty gazowe. Dla spienienia polimetakrylanu metylu jest wymagana wyższa temperatura (przy wstępnym spienianiu temperatura wynosi 130° C, a ciśnienie pary wodnej - 0,175 MPa). Gęstość spienionego polimetakrylanu wynosi 16 ÷ 32 kg/m³, skurcz natomiast zbliżony do skurczu polistyrenu. Ze względu na małe wydzielanie węgla błyszczącego polimetakrylan metylu proponuje się na modele do odlewania staliwa i żeliwa sferoidalnego. Wadami modeli z tego tworzywa jest zwiększenie ilości i szybkości wydzielania gazów podczas zalewania i większy koszt [6, 12]. Trwają poszukiwania tworzywa będącego mieszaniną kilku polimerów (na przykład styropian + polimetakrylan + kopolimer).

3.3. WYTWARZANIE I ŁĄCZENIE MODELI

Schemat produkcji modeli z polistyrenu spienionego przedstawiono na rysunku 1 [5].



Rys. 1. Schemat produkcji modeli z polistyrenu spienionego [5]

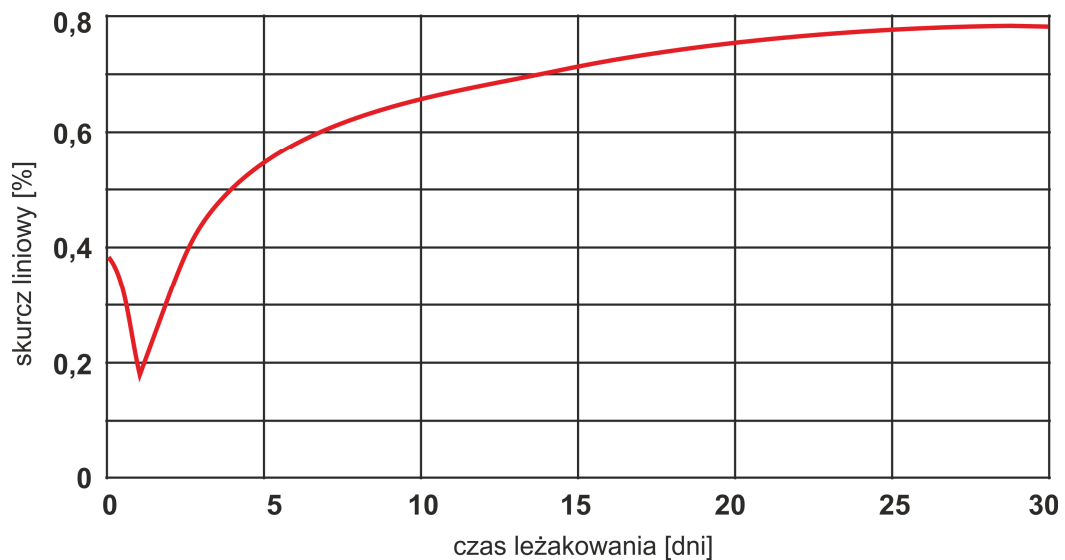
Wykonywanie modeli do produkcji seryjnej jest prowadzone w matrycach aluminiowych. Granulki są wdmuchiwane do matrycy, która po zamknięciu nagrzewana jest parą wodną ($110 \div 120^\circ \text{C}$) lub gorącym powietrzem pod ciśnieniem, aby granulki ekspandowały i połączyły się. Modele są wykonywane przy użyciu urządzeń podobnych do nadmuchiwarek. W produkcji małoseryjnej lub prototypowej można stosować matryce z tworzyw sztucznych. Modele do produkcji jednostkowej i małoseryjnej wykonuje się z bloków styropianu (o znanej gęstości) drogą obróbki mechanicznej.

Przybliżony kształt modelu uzyskuje się zazwyczaj za pomocą przecinaka ciepłego, a wykańczającą obróbkę - za pomocą frezarek szybkoobrotowych. Jeżeli to jest możliwe, modele są wykonywane w całości. Jednakże wiele z nich musi być wykonywanych w dwu lub więcej częściach, które następnie są sklejane. Aby zapewnić doskonale złączenie skomplikowanych kształtów, zazwyczaj niezbędnym jest stosowanie gorących, płynnych klei w sposób zmechanizowany (sklejarki) lub zautomatyzowany (roboty). Kleje stosowane do tej operacji nie mogą reagować ze styropianem, a ilość pozostałości po ich rozłożeniu nie może przekraczać 1 %. Również modele z wnękami i przewężeniami często wykonuje się w częściach i skleja. Grubość warstwy kleju nie powinna przekraczać 0,1 mm.

Modele układu wlewowego i nadlewów wykonuje się oddzielnie i łączy z głównym modelem za pomocą kleju lub gwoździ stalowych. Ukształtowanie układu wlewowego uważa się za najbardziej racjonalne, gdy doprowadzenie ciekłego metalu następuje wlewem syfonowym do najniższych miejsc wnęki formy. Przekroje elementów układu wlewowego powinny być większe niż w przypadku

form z mas klasycznych.

Po wykonaniu modelu należy przetrzymać go kilka dni, kiedy to następuje jego niewielki skurcz. Technologia wykonywania modeli styropianowych o wysokiej i stabilnej jakości nie jest łatwa i około 70 % odlewni stosujących technologię pełnej formy zamawia modele u wyspecjalizowanych dostawców [1, 3, 10, 13]. Całkowity skurcz modeli [7] wynosi przeciętnie 0,8 % dla modeli o gęstości powyżej 30 kg/m^3 , przy czym 75 % skurczliwości przypada na 7÷10 dni od momentu ich wykonania, a pozostałe 25 % do 30 dni, co obrazuje wykres na rysunku 2 [7]. Przyjmuje się, że po 10 dniach od wykonania problem skurczliwości można pominąć.



Rys.2. Skurczliwość modeli z polistyrenu spienionego [7]

Duże modele są zalewane pojedynczo, jednakże częściej modele są łączone w zestawy (grona, klastry) modelowe przed nałożeniem pokrycia i zalewaniem. Spotykane są dwa typy zestawów modelowych: najbardziej powszechnym jest koliste przyłączenie modeli wokół centralnego wlewu głównego. Zapewnia to zwartość i sztywność zestawu modelowego, który łatwy jest do ręcznego czy mechanicznego manipulowania przy nakładaniu pokrycia i ustawianiu w skrzynkach formierskich. Usytuowanie modeli w zestawach modelowych narzucone jest potrzebą wypełnienia wnęk w modelu suchą osnową piaskową jedynie przy pomocy wibracji.

Wlewy doprowadzające mają dwie funkcje: po pierwsze zapewniają usztywnienie modelu podczas zanurzania przy nakładaniu powłoki ochronnej oraz przy zasypywaniu piasku; po drugie wlewy spełniają swoją zwykłą funkcję kontrolowania szybkości wypełniania wnęki formy. Pionowe zestawy modelowe są łatwe w manipulacji, jednakże nie zawsze umożliwiają optymalne zalewanie. Inny typ zestawu modelowego obejmuje modele ustawione w szyku poziomym. Używając tego

sposobu, można umieścić w skrzynce bardzo dużą liczbę modeli. Dwie lub więcej warstw takich zestawów modelowych może być zalewane równocześnie, jednakże ten typ zestawu modelowego sprawia trudności przy nakładaniu powłoki, gdyż jest słaby mechanicznie. Podczas zanurzania przy nakładaniu powłoki mogą być używane usztywniacze, aby uchronić zestawy modelowe przed skręceniem.

4. POWŁOKI NA MODELE W TECHNOLOGII PEŁNEJ FORMY (FM)

Pokrycie modelu ogniotrwałą powłoką odgrywa kluczową rolę w metodzie pełnej formy. Jeżeli modele zalewane są bez powłoki, występują wady przypalenia, a przy wlewach doprowadzających obserwuje się erozję piasku. W niektórych przypadkach może wystąpić zupełne zapadnięcie się formy.

Od powłoki ochronnej wymaga się następujących cech: nie dopuszczenia do zetknięcia się ciekłego stopu z materiałem formierskim, odpowiedniej plastyczności aby nie pękała podczas manipulowania i przechowywania modelu oraz miała odpowiednią przepuszczalność. Model z polistyrenu spienionego, wypełniający wnękę formy (w procesie FM), jest poddawany działaniu wysokiej temperatury ciekłego metalu, zalewanego przez układ wlewowy. Model przechodzi wówczas ze stanu stałego w stan gazowy. Na granicy układu: ciekły metal - model - forma zachodzi cały szereg zjawisk. W trakcie zalewania wydzielają się produkty rozkładu modelu: stałe (węgiel) i gazowe (CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , N_2).

Najbardziej toksycznym produktem spalania styropianu, występującym w znacznych ilościach jest CO , a pozostałe wydzielające się produkty spalania nie są toksyczne [4]. Na kinetykę rozkładu modelu wpływają: przepuszczalność i własności termofizyczne ogniotrwałej powłoki ochronnej, temperatura zalewania ciekłego stopu (co wiąże się ściśle w rodzajem zalewanego stopu), parametry układu wlewowego, tworzywo modelu (w tym przede wszystkim jego gęstość) i powierzchnia styku model - ciekły stop. Czynniki te w sposób istotny wpływają na jakość odlewów, głównie na stopień ich nawęglenia i zagazowania. W zależności od odległości modelu od źródła ciepła (zwierciadła ciekłego metalu) znajduje on się w stanie stałym, ciekłym lub gazowym.

Pomiędzy zwierciadłem ciekłego metalu, a modelem powstaje szczelina gazowa, w której wytwarza się ciśnienie gazów powstałe w wyniku destrukcji modelu. Ciśnienie to jest zwykle kilkakrotnie wyższe od ciśnienia gazów we wnęce formy wykonanej metodami tradycyjnymi. Gazy powstałe z modelu styropianowego przenikają przez warstwę powłoki ochronnej do piasku. Szybkość, z którą gazy przenikają przez powłokę, narzuca szybkość zalewania odlewu. Dlatego jest konieczna zdolność powłoki ochronnej do przepuszczania gazowych produktów rozkładu materiału modelu. Jeżeli przepuszczalność jest zbyt mała wówczas wzrasta ciśnienie w strefie zagazowania, spowalniając rozpad styropianu i powodując zagazowanie odlewu. Równocześnie przy nadmiernej przepuszczalności powłoki ciśnienie gazów nie wspiera dostatecznie warstwy powłoki ochronnej i suchej osnowy piaskowej, co zwiększa niebezpieczeństwo powstawania wad powierzchni odlewów.

Dla procesu pełnej formy muszą być stosowane specjalne powłoki, których przepuszczalność i inne

właściwości są ściśle określone. Dlatego też w większości przypadków stosuje się firmowe powłoki i wówczas należy stosować się ściśle do zaleceń dostawcy. Najczęściej stosuje się wodne powłoki kwarcowe. Po nałożeniu są one suszone w suszarkach niskotemperaturowych z dobrą cyrkulacją powietrza, a temperatura suszenia nie powinna przekraczać 60° C. W przypadku modeli zawierających skomplikowane wnęki, trudno jest niekiedy wysuszyć powłokę ciepłym powietrzem i używa się do tego celu nagrzewania mikrofalami [1,3, 10, 13].

Stosuje się też alkoholowe powłoki cyrkonowe lub grafitowe, najlepiej nanoszone dwuwarstwowo, przy czym ich grubość może osiągać 1,5 mm. Powłokę nanosi się na duże modele przez natryskiwanie lub malowanie pędzlem, natomiast na mniejsze (szczególnie przy produkcji seryjnej) -przez zanurzenie modeli w powłoce.

5. FORMOWANIE ZESTAWÓW MODELOWYCH

5.1. MATERIAŁY I SKRZYNKI FORMIERSKIE

W technologii pełnej formy masę formierską stanowi sucha osnowa piaskowa, bez lepiszcza czy spoiwa. Właściwości osnowy charakteryzują m.in.: wielkość i kształt ziaren, ich powierzchnia i rozkład ziarnowy, zawartość frakcji pylistych, skład chemiczny, ognioodporność i przepuszczalność. Zaleca się stosowanie osnowy o ziarnach okrągłych i wielkości 0,25 ÷ 0,45 mm. Ognioodporność i skład chemiczny uzależnione są przede wszystkim od rodzaju zalewanego stopu. Stosuje się głównie piaski kwarcowe oraz cyrkonowe, chromitowe i oliwinowe.

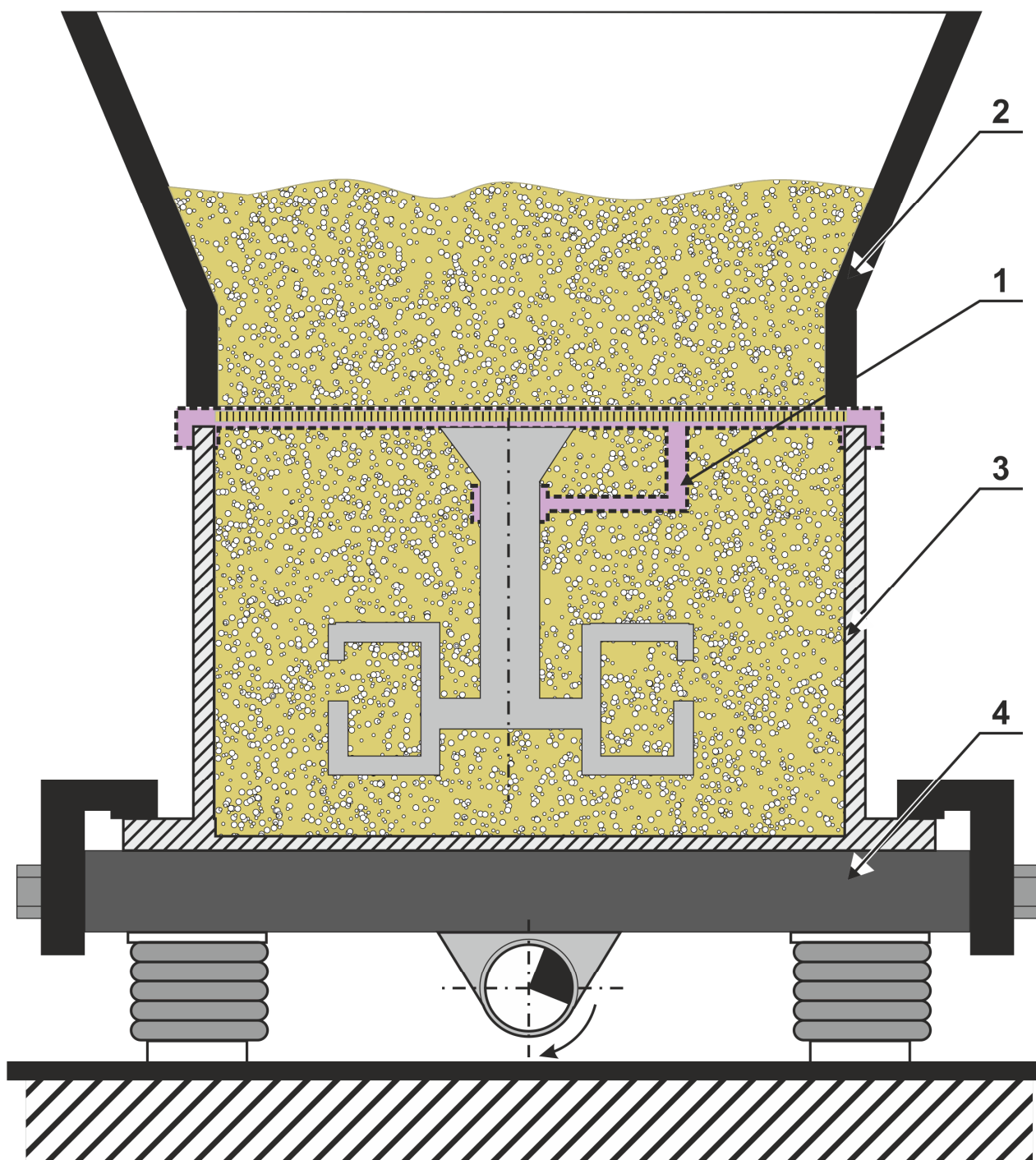
Zestaw modelowy z powłoką ogniotrwałą umieszczany jest w skrzynce formierskiej ręcznie lub mechanicznie. Zestawy modelowe pionowe wygodniej jest formować w skrzynkach o prześwicie kwadratowym lub prostokątnym. Skrzynki formierskie są zwykłymi konstrukcjami z blachy stalowej, skręcanyymi wzmocnieniami przed wibrowaniem. Typowym rozmiarem jest Φ 750 x 900 mm lub 900 x 900 x 900 mm. Odpowiednio duża wysokość jest niezbędna, gdyż model jest zazwyczaj przykryty warstwą piasku o grubości przynajmniej 250 mm. Zestawy modelowe są zasypywane równomiernie piaskiem kwarcowym, a następnie skrzynka jest poddawana wibracji dla uzyskania odpowiedniego zagęszczenia piasku oraz wypełnienia przez niego wnęk modelu.

Technika wibrowania ma istotne znaczenie, ponieważ nadmierna wibracja może wypaczyć lub nawet złamać model, natomiast przy małym zagęszczeniu piasku może nastąpić penetracja metalu w czasie zalewania. Stosuje się specjalnie zaprojektowane stoły wibracyjne, zdolne do wibrowania nawet w trzech płaszczyznach, jednakże większość odlewni zadawała się wibracją jednoosiową, wytwarzaną przez dwa przeciwnie obracające się silniki. W tym przypadku nie jest możliwe przemieszczanie piasku do góry w wyniku wibracji; wobec tego modele (zestawy modelowe) muszą być tak zorientowane, aby wnęki były zapełniane poziomo lub w dół [1, 3, 10, 13].

5.2. URZĄDZENIA STOSOWANE DO FORMOWANIA ZESTAWÓW

Na rysunku 3 [2] przedstawiono przykładowe urządzenie wibracyjne, stosowane do

zagęszczania piasku wokół zestawów modelowych. Podstawowe elementy urządzenia wibracyjnego to: zespół mocowania zestawu modelowego - 1, zasobnik piasku - 2, skrzynka formierska - 3 i stół wibracyjny - 4.



Rys.3. Schemat przykładowego urządzenia wibracyjnego do formowania zestawów modelowych w metodzie pełnej formy [2]

Odpowiednie zamocowanie zestawów modelowych ma duże znaczenie. Zespół mocujący może być utwierdzony poza zespołem wibracyjnym, lub też bezpośrednio na pojemniku formy z wykorzystaniem

elementów sprężystych. Modele mogą być umieszczane również na warstwie wcześniej nasypanego piasku. Doprowadzenie piasku może odbywać się przewodem, rynną lub przez dystrybutor perforowany. Niewłaściwe dozowanie piasku może doprowadzić do uszkodzenia modeli. Objętość i kształt pojemnika formy musi uwzględniać asortyment wykonywanych odlewów. Mając na uwadze obniżenie zapotrzebowania piasku i zużycia energii na zagęszczanie oraz skrócenie czasu wykonywania form, należy dążyć do minimalizacji objętości pojemnika formy. Zastosowanie wibracji w procesie formowania zestawów modelowych pozwala obniżyć tarcie wewnętrzne w osnowie piaskowej.

6. ZALEWANIE FORM W METODZIE PEŁNEJ FORMY

Do wlewu głównego ze styropianu dołączony jest zbiornik wlewowy. Zazwyczaj jest to zbiornik ceramiczny (dla stopów żelaza) lub stalowy (dla stopów aluminium). W czasie zalewania stopów aluminium model styropianowy wstrzymuje przepływ metalu ciekłego, a prędkość zalewania jest kontrolowana przez przepuszczalność powłoki ogniotrwałej. Temperatura zalewania jest zazwyczaj wyższa niż przy zalewaniu do form tradycyjnych. Jest to konieczne ze względu na pobieranie ciepła przez model styropianowy w czasie jego zgazowywania. Postęp w zakresie materiałów, na powłoki ochronne umożliwia coraz częściej zalewanie ciekłych stopów z temperatury zbliżonej do stosowanej przy klasycznym odlewaniu grawitacyjnym.

Przy odlewaniu stopów żelaza model zgazowywany jest znacznie szybciej. Duże jednostkowe objętości gazów, przechodzące przez piasek mogą spowodować przemieszczanie lub nawet częściową fluidyzację piasku. Może wówczas nastąpić zapadnięcie się formy.

Niebezpieczeństwo to można zmniejszyć przez odsysanie powietrza ze skrzynki formierskiej w czasie zalewania. Coraz więcej odlewni stosuje próżnię przy wytwarzaniu żeliwnych odlewów z modeli styropianowych o grubości ścianek powyżej 20 mm, aczkolwiek podwyższa to koszty. Główną różnicą pomiędzy odlewaniem stopów żelaza w sposób konwencjonalny i metodą pełnej formy jest to, że przy zastosowaniu tej ostatniej nie jest możliwe kontrolowanie prędkości zapełniania wnęki formy poprzez przekrój wlewów doprowadzających. Wlewy doprowadzające o małym przekroju są zbyt łamliwe aby mogły być wykonywane ze styropianu. Generalnie mają one większe przekroje i zalewanie musi przebiegać bardzo szybko dla zapewnienia zapełnienia układu wlewowego.

7. WYKONANIE ĆWICZENIA

7.1. WYKONANIE MODELI

Modele wykonuje się z polskiego materiału pod nazwą Owipian EP, produkowanego przez Zakłady Chemiczne w Oświęcimiu.

Parametry spieniania wstępnego:

temperatura pary wodnej	80° C
ciśnienie pary wodnej	0,08 MPa,
czas spieniania	15 ÷ 20 s,
czas sezonowania	24 h

Parametry spieniania wtórnego:

temperatura pary wodnej	96° C
ciśnienie pary wodnej	0,12 Mpa
czas spieniania	6 s,
czas sezonowania	

- na podstawie wytycznych z rozdziału 3.3

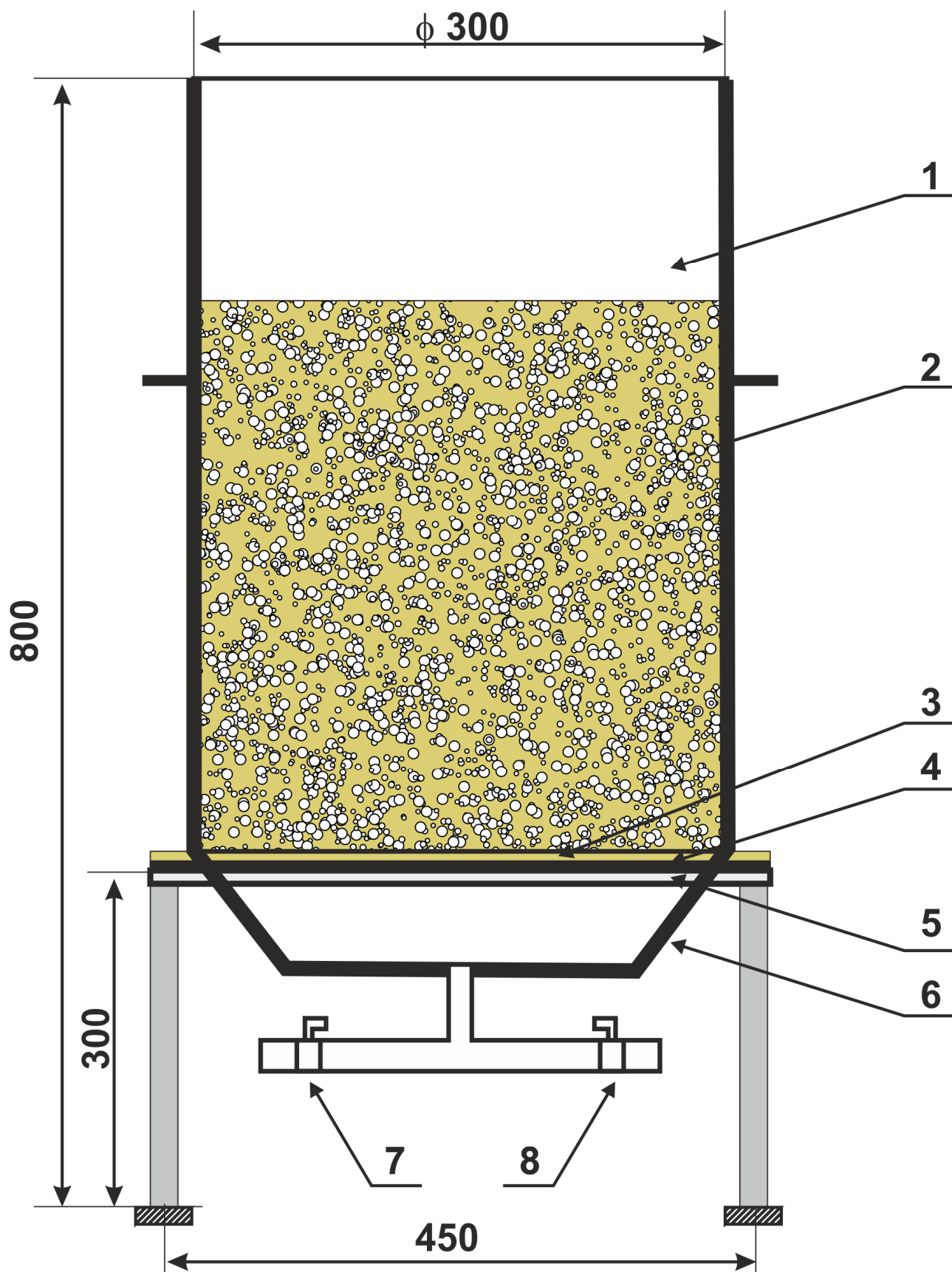
Z tak spienionego styropianu w postaci płyt należy wykonać modele, o podanym na ćwiczeniu kształcie i wielkości, używając odpowiednich narzędzi, tzn. ostrego noża mechanicznego i przecinaka cieplnego. W ten sam sposób należy przygotować modele wlewu głównego, doprowadzającego i przelewu. Model odlewu należy połączyć z modelami układu wlewowego za pomocą kleju, nałożonego bardzo cienką warstwą. Sklejone zestawy modelowe należy wysuszyć w suszarce laboratoryjnej (z nadmuchem powietrza), w temperaturze ok. 40° C.

7.2. NAKŁADANIE CERAMICZNEJ POWŁOKI OCHRONNEJ NA ZESTAW MODELOWY

Ceramiczną powłokę ochronną wykonuje się przez nakładanie pędzlem mieszanki (w postaci gęstej zawiesiny) mączki kwarcowej i spoiwa krzemianowo-kopolimerowego wiążącego chemicznie. Mączka kwarcowa poddana jest wcześniej prażeniu przez 5 h w temperaturze 1000° C. Po kilku godzinach przygotowany w ten sposób zestaw modelowy z warstwą (lub dwoma warstwami) pokrycia ochronnego można zaformować i zalać ciekłym stopem.

7.3. URZĄDZENIE I SPOSÓB FORMOWANIA ZESTAWU MODELOWEGO

Na rysunku 4 przedstawiono schemat, a na fotografii (rysunek 5) widok urządzenia do formowania zestawów modelowych dla procesu pełnej formy w złożu fluidalnym piasku. Zasada działania urządzenia, przedstawiona na rysunku 6, polega na wykorzystaniu zjawiska fluidyzacji. Zjawisko to występuje w czasie zetknięcia się fazy stałej z fazą gazową (lub ciekłą) i polega na utrzymaniu ładunku drobnych cząstek ciała stałego w stanie gęstej zawiesiny w strumieniu gazu (płyну), przepływającego z dołu do góry. Główny element urządzenia stanowi cylinder - 1, w którym znajduje się suchy piasek kwarcowy - 2. Dno cylindra, umieszczone nad skrzynią powietrzną, składa się z trzech warstw: płyty stalowej z nawierconymi gęsto otworami $\Phi 3$ mm - 5, siatki o prześwicie oczek 0,10 mm - 4 i płótna filcowego - 3. Taki układ zapewnia równomierny rozkład złoża fluidalnego w całej objętości cylindra.



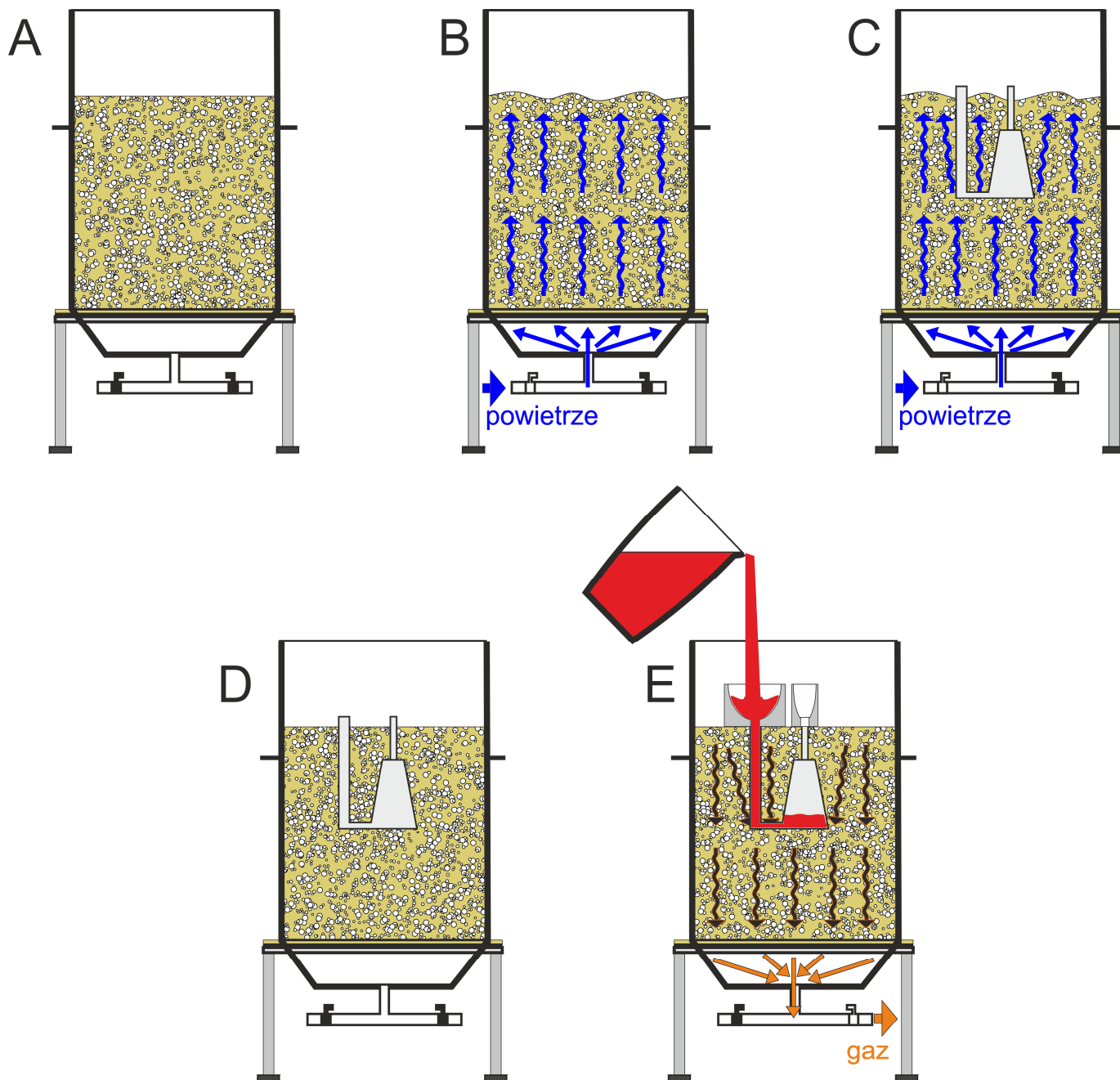
Rys.4. Schemat urządzenia do formowania modeli styropianowych w złożu fluidalnym piasku, stosowanego w czasie ćwiczeń: 1 - cylinder, 2 - suchy piasek kwarcowy, 3 - płótno filcowe, 4 - siatka o prześwicie oczek 0,10 mm, 5 - płyta perforowana (otwory $\phi=3$ mm), 6 - skrzynia powietrzna, 7 - zawór doprowadzenia powietrza, 8 - zawór odprowadzenia gazów.



Rys.5. Urządzenie do formowania modeli styropianowych w złożu fluidalnym piasku

Do skrzyni powietrznej doprowadzona jest rura, która na zewnątrz rozgałęzia się i kończy dwoma zaworami i odpowiednimi króćcami - 7 i 8. Jednym zaworem doprowadza się sprężone powietrze w czasie formowania zestawu modelowego; wówczas drugi zawór jest zamknięty. Po zaformowaniu modeli zamyka się zawór powietrzny, otwierając równocześnie drugi zawór

z podłączonym do jego króćca odkurzaczem przemysłowym dużej mocy. Powstałe w piasku podciśnienie zwiększa jego zagęszczenie, a następnie w czasie zalewania formy i krzepnięcia odlewu sprzyja skutecznemu odprowadzaniu powstających ze spalania modelu styropianowego gazów na zewnątrz cylindra. Po zaformowaniu zestawu modelowego,



Rys.6. Zasada działania urządzenia do formowania zestawów modelowych stosowanego na ćwiczeniach

na wystające ponad piasek części wlewu głównego i przelewu nakłada się, zaformowane wcześniej w nadstawkach z klasycznej masy formierskiej, zbiornik wlewowy i zakończenie stożkowe przelewu.

7.4. ZALEWANIE MODELI STYROPIANOWYCH I WYBIJANIE ODLEWÓW

Przygotowany i zaformowany zestaw modelowy zalewa się stopem aluminium (AK 11), przy czym jego temperatura przegrzania jest wyższa o ok. $20\pm 30^{\circ}$ C niżeli w przypadku zalewania do form klasycznych piaskowych. Przepływające przez piasek kwarcowy powietrze (w wyniku zasysania go przez odkurzacz) sprzyja szybszemu chłodzeniu zalanego odlewu i zmniejsza w sposób istotny emisję gazów, powstających ze zgazowywania modelu styropianowego. Po ok.15÷20 minutach od zalania wyłącza się odkurzacz, otwiera zawór sprężonego powietrza i powstałe ponownie w ten sposób złożo fluidalne znakomicie ułatwia wyjęcie zakrzepłego odlewu. Jednocześnie sprężone powietrze chłodzi zarówno zakrzepły odlew, jak też piasek kwarcowy.

7.5. OCENA WYNIKÓW UZYSKANYCH W CZASIE ĆWICZENIA

Po ostygnięciu odlewu należy go oczyścić z resztek powłoki ochronnej i ocenić wizualnie jego jakość, szczególnie powierzchni. Stwierdzone ewentualne wady odlewu należy sklasyfikować i ustalić przyczyny ich powstania.

LITERATURA

- [1] **Ashton M.C., Sharman S.G., Brookes A.J.:** The Replicast FM (Fuli Mould) and CS (Ceramic Shell) Process. AFS Transaction, 92(1984), 271-280.
- [2] **Bast J., Nikolov K.:** Verdichtungsvorgange bei der formherstellung fur das vollformgiessverfahren. Mat. I Międzyn. Konf. nt: Tendencje rozwojowe w mechanizacji procesów odlewniczych. WO AGH-PAN, Kraków 1994, s.52.
- [3] **Brown J.R.:** The Evaporative Casting Process. 55 th International Foundry Congress. Moskva, 1988.
- [4] **Clegg A.J.:** Expanded polystyrene moulding - a status report. Foundry T. J.,159(1985)3312-12,177.
- [5] **Hughes P.P.:** Practical experiences with replicast ceramic shell. Mat. Konf. IBF: Evaporative pattern castings for the designer and castings user. Coventry, 1988.
- [6] **Huskonen W.D.:** New Dewelopmments Spur Interest in Evaporative Pattern Casting Process. Foundry, (1987)12, 34.
- [7] **Kanicki D.P., Donovan B.F.:** Foam producers aim of improved material control and deveiopments. Modem Casting, 37(198^09, 38.
- [8] **Lewandowski L.:** Przygotowanie form odlewniczych. Masy formierskie i rdzeniowe. Skrypt uczelniany AGH, nr 1062, Kraków 1987.
- [9] **Loast foam casting - shaping up to the future. A reviev of the polystyrene moulding technology from Foseco. Britisćh Foundryman, 80(1986)12, 466.**