
TECHNOLOGIA FORM SKORUPOWYCH

Dr inż. W. Jankowski

Ćwiczenie 5

v. 2.0

1. Wprowadzenie.

Proces formowania skorupowego został opracowany przez **I. Croninga** w 1944r. Proces Croninga nazwany procesem **C**, dominuje w odlewnictwie skorupowym.

W 1953 r. H.W. Dietert opracował pewną odmianę procesu skorupowego, nazwanego procesem **D**. Proces **C** stosuje się przede wszystkim do wytwarzania form skorupowych, natomiast proces **D** do wykonania rdzeni skorupowych.

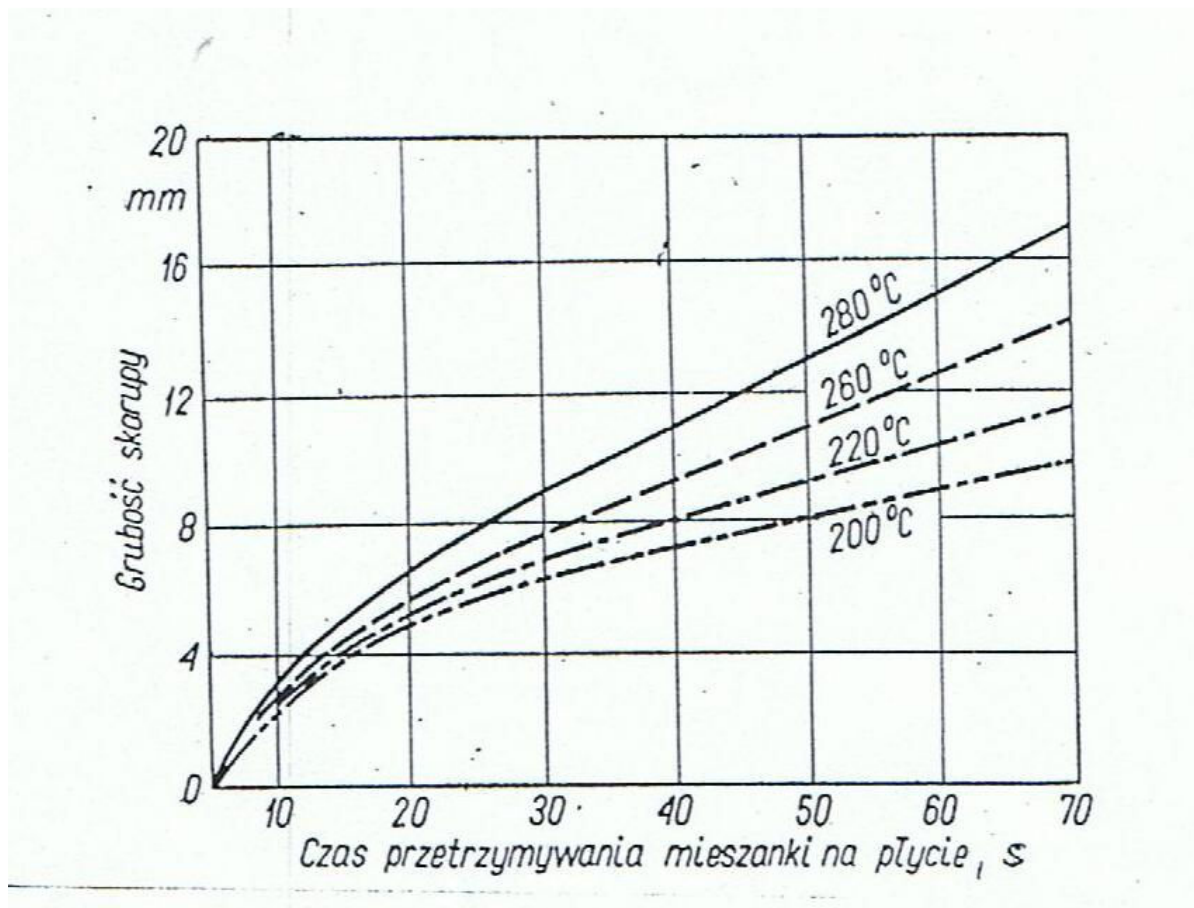
Proces formowania skorupowego znalazł szybko szerokie zastosowanie, ze względu na znaczne uproszczenie operacji przygotowania i składania form oraz dużą dokładność wymiarową i gładkość powierzchni wytwarzanych tą technologią odlewów. Pozwala to na całkowite lub częściowe wyeliminowanie obróbki mechanicznej odlewów. Obniżyć można więc minimalną wielkość nadadatków na obróbkę: ich wartość przyjmuje się w granicach $0,5 \div 1,5$ mm.

2. Zasady procesu skorupowego.

Odlewnie do form skorupowych polega na wypełnieniu ciekłym stopem cienko ściennych form odlewniczych, wykonanych z syntetycznej mieszaniny piasku kwarcowego z żywicą termoutwardzalną i utwardzaczem, przy zastosowaniu gorącej metalowej płyty modelowej lub rdzennicy.

W procesie Croninga (**C**) wytwarzanie form skorupowych polega na grawitacyjnym naniesieniu masy termoutwardzalnej na płytę modelowa podgrzaną do temperatury od $200 \div 280^{\circ}\text{C}$. Pod wpływem ciepła płyty żywica ulega stopieniu w warstwie o grubości kilku do kilkunastu milimetrów, przylegającej do powierzchni płyty i modeli. Powstaje w ten sposób cienka, plastyczna skorupa, której grubość zależy przede wszystkim od temp. płyty modelowej i czasu wytrzymywania masy formierskiej na płycie do momentu usunięcia pozostałej sypkiej masy przez obrót płyty o 180° . Doboru grubości skorupy dokonuje się z użyciem diagramu, przedstawionego na rysunku 1.

Skróceniu czasu wykonania skorupy sprzyja podgrzanie płyty do wyższej temperatury, przekroczenie jednak temperatury 260°C powoduje obniżenie wytrzymałości form, w skutek częściowego przypalenia się żywicy do nagrzanej płyty. Przyjąć można że najwyższą wytrzymałość skorup uzyskuje się dla temperatury płyty w zakresie 220÷260°C. Przy wyższej temperaturze płyty maksymalną wytrzymałość uzyskuje się w krótkim czasie.



Rys. 1. Grubość skorupy w zależności od czasu przetrzymywania mieszanki na płycie i temperatury płyty w przypadku nanoszenia przy użyciu zbiornika obrotowego.

Różnica pomiędzy temperaturą komory utwardzania form, a temperaturą płyty modelowej nie powinna być większa niż 80°C, gdyż może prowadzić do wzrostu naprężeń wynikających z nierównomiernej szybkości utwardzania. Naprężenia mogą być przyczyną paczenia się skorup po zdjęciu ich z płyt modelowych.

W procesie Dieterta (D) masę formierską wprowadza się w sposób wymuszony, przez wstrzeliwanie lub wdmuchiwanie, pomiędzy dwie nagrzane płyty: modelową i kształtową lub do rdzennicy. Metoda D została rozpowszechniona do wytwarzania rdzeni skorupowych. Płyty: modelowa lub kształtowa nagrzane są do temperatury, w której następuje utwardzanie masy, a więc czas wykonania formy lub rdzenia w procesie D jest znacznie krótszy niż w procesie C (trwa od kilku do kilkunastu minut).

3. Masy formierskie do wytwarzania form i rdzeni skorupowych.

Sypka masa szybkowiążąca (SMT) dla procesu skorupowego składa się z :

- **drobnoziarnistej osnowy piaskowej – Piasek kwarcowy** drobniejszy o średniej wielkości ziarna $0,10 \div 0,15 \text{ mm}$ (w praktyce stosuje się $0,20 \text{ mm}$). Są to zwykle piaski płukane, o dopuszczalnej zawartości lepiszcza do 0,5%, gdyż 1% lepiszcza zmniejsza wytrzymałość masy o 15 %. Obecność lepiszcza na powierzchni ziaren piasku obniża przyczepność i spoiwość błonki żywicznej, otaczającej dane ziarno.

Najkorzystniejsze ze względu na wytrzymałość skorupy, jest stosowanie piasków o ziarnach okrągłych i zaokrąglonych, w których zawartość krzemionki winna wynosić powyżej 97%.

Na osnowę znajdują też zastosowanie **piaski cyrkonowe**, które bardziej niż inne nadają się do wytwarzania piasków powlekanych. Cechuje je niski współczynnik rozszerzalności cieplnej, a zużycie spoiwa jest mniejsze niż w przypadku piasków kwarcowych zarówno ze względu na większą gęstość osnowy, jak i na zaokrąglony kształt ziarna.

Piaski oliwinowe stosuje się szczególnie do wytwarzania form i rdzeni skorupowych dla odlewów staliwnych, lub jako domieszki zwiększające działanie chłodzące formy.

Stosuje się również mieszanki piasku cyrkonowego i kwarcowego ($50 \div 70\%$ cyrkonu). Zużycie piasku na osnowę masy dla technologii odlewania w formy skorupowe wynosi $400 \div 10000 \text{ kg/tonę odlewów}$.

- **spoiwa** – spoiwo stanowi zwykle żywica fenylowo – formaldehydowa typu **nowolak**.

Poza tym używane są niekiedy żywice typu : nowolakowe, krezolowe, ksylenowe. Dodatek żywicy, zależnie od jego rodzaju i gatunku, a także od przeznaczenia piasku powleczonego, wynosi $2,5 \div 4,5$ części wagowych w stosunku do osnowy piaskowej. W przypadku rdzeni dodatek żywicy zależny jest także od tworzywa odlewu, dla którego przeznacza się rdzeń i tak : $1,5 \div 2\%$ dla stopów metali nieżelaznych, $2,0 \div 3,5\%$ żeliwa, $2,5 \div 4,0\%$ dla staliwa.

- **utwardzacz –SZEŚCIOMTYLENOCZTEROAMINA** (wzór chemiczny $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) zwana poprawnie **urotropiną**. Urotropina dodawana do żywicy w postaci białego krystalicznego proszku rozkłada się pod działaniem temperatury na amoniak i formaldehyd. Początkowo plastyczna żywica przechodzi w temperaturze około 300°C w twardą, nietopliwą substancję wiążącą ziarna osnowy piaskowej, w wyniku przejścia odpowiednich ilości formaldehydu z rozkładu urotropiny.

Urotropina nie jest więc przyspieszaczem reakcji utwardzania, lecz składnikiem umożliwiającym przebieg utwardzania. Pozostałe produkty rozkładu urotropiny nadają związanej masie kolor od żółtego do brunatnego, wskazując na stopień utwardzania żywicy. Dodatek urotropiny wynosi zwykle $12 \div 16\%$ w stosunku do ilości żywicy.

4. Przygotowanie masy formierskiej (piasku powleczonego).

W odlewni stosuje się gotową masę, czyli piasek powleczony, przygotowany w zakładzie specjalistycznym.

Piasek powleczony stanowi sypki materiał, składający się z pojedynczych ziarn osnowy otoczonych cienką powłoką żywicy nowolakowej z dodatkiem urotropiny. Każde ziarno jest pokryte warstewką żywicy, co zapewnia dobre jej wykorzystanie i pozwala na znaczne obniżenie ilości spoiwa. Unika się również powstawania pyłu podczas wytwarzania form i rdzeni. Nie występuje również segregacja żywicy, mogąca spowodować zaburzenia w procesie produkcyjnym wobec niejednakowych własności form skorupowych. Stosuje się dwie metody powlekania piasku: na zimno i na gorąco. W metodzie zimnej suchy piasek o temperaturze otoczenia miesza się najpierw ze sproszkowaną mieszaniną żywicy i urotropiny. Następnie dodaje się rozpuszczalnik (alkohole etylowy lub jego wodny roztwór) i miesza się dokładnie. W czasie mieszania rozpuszczalnik odparowuje, masa przechodzi z konsystencji ciastowej w bryły, które w czasie dalszego mieszania ulegają rozdrobnieniu.

Korzystniejsze jest zastosowanie powlekania piasków na gorąco. Metoda ta polega na nagraniu piasku do temperatury w zakresie $150\div 250^{\circ}\text{C}$, w zależności od rodzaju żywicy, a następnie wprowadzeniu żywicy roztopionej, rozpuszczonej w alkoholu lub w stanie sproszkowanym. Dodatek żywicy, w zależności od jej rodzaju i gatunku oraz od przeznaczenia piasku powlekanego, wynosi $2,5\div 4,5$ części wagowych. Całość miesza się w mieszarce w sposób ciągły. Po obniżeniu temperatury mieszaniny od $130-150^{\circ}\text{C}$ dodaje się stearynianu wapnia, w ilości 10% w stosunku do ilości żywicy, która ułatwia równomierną rozprowadzenie żywicy na powierzchni ziarn. Po dalszym obniżeniu temperatury od $90\div 100^{\circ}\text{C}$ dodaje się urotropiny w ilości $12\div 16\%$ w stosunku do ilości żywicy. Po wymieszaniu składników i obniżeniu się temperatury mieszaniny od $30\div 40^{\circ}\text{C}$, piasek powleczony przesiewa się przez siatki o prześwicie oczka 1mm i pakuje w worki. Obecnie w kraju stosuje się dwa gatunki żywic do produkcji piasków powleczonych KHD III corlak.

Zawartość żywicy, w zależności od zaliczenia do jednej z trzech klas wyprodukowanych piasków powleczonych, wynosi:

- klasa I – 4,5%
- klasa II – 4,0%
- klasa III – 3,5%

5. Oddzielacze.

Żywice, wchodzące w skład masy formierskiej do technologii form skorupowych, mają tendencję do przywierania do gorących płyt modelowych, na które nałożono masę. Dlatego pracujące powierzchnie płyt modelowych, (rdzennic) należy pokryć odpowiednimi substancjami oddzielającymi, najkorzystniej cienką warstewką przy użyciu pistoletów natryskowych. Jako oddzielacze stosuje się oleje silikonowe, wosk Montana, a nawet naftę i oleje maszynowe. Stosowane oddzielacze powinny cechować się wysoką temperaturą wrzenia (powyżej 260°C), co umożliwia oddzielanie kilku form po jednorazowym naniesieniu oddzielacza.

6. Oprzyrządowanie modelowe i urządzenia do wykonania form i rdzeni skorupowych.

6.1. Płyty modelowe, modele i rdzennice.

Biorąc pod uwagę warunki wykonania form i rdzeni skorupowych, a zwłaszcza Zakresy temperatury konieczne do realizacji procesu, stosowane mogą być w tej technologii płyty modelowe i rdzennice wyłącznie metalowe.

Najczęściej stosowane do wyrobu płyt i modeli materiały to żeliwo szare i stal niskowęglowa; używa się też czasem stopów miedzi i stopów aluminium. Jako zasadę przyjmuje się, że modele powinny być wykonane z tego samego materiału, z którego wykonuje się płyty modelowe, aby miały taką samą rozszerzalność cieplną. Dobór materiału do wykonania płyty zależy od stopnia trudności wykonania płyt i modeli oraz od warunków ich eksploatacji.

Przewodnictwo cieplne płyt musi być wystarczająco duże, aby w jak najkrótszym czasie wytworzyła się plastyczna warstwa masy na płycie i modelach. Operacja ta decyduje bowiem o wydajności urządzenia.

Ściany modeli nie powinny być cieńsze niż 12÷15mm, a grubość płyty modelowej dość znaczna 20÷30mm.

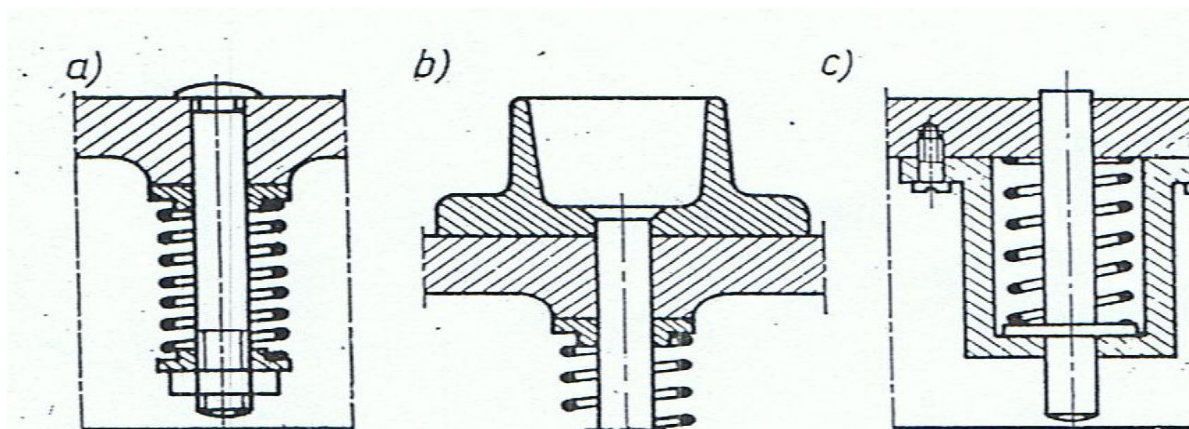
Płyty modelowe zimne są wstawiane do gorącego pieca, a nagrzane oddają ciepło masie skorupowej; poddawane są zatem ciągłym naprężeniom termicznym. Narzucanie masy, lub nadmuchiwanie, a zwłaszcza wstrzeliwanie powoduje niszczenie powierzchni płyt przez ścieranie cząstkami masy. Dlatego też materiał płyt modelowych, modeli i rdzennic winien być odporny na działanie ścierające zwłaszcza, przy produkcji wielko i średnioseryjnej. Płyty modelowe mogą być odlewane lub też spawane. Te ostatnie są stosowane rzadko (rys. 2a, 2b). Odlewane płyty modelowe (rys. 2a) są z reguły nieżebrowane, aby uniknąć ich odkształceń w procesie odlewania.



Rys. 2. Płyty modelowe: a- odlewane, b- spawane.

Ponieważ płyty modelowe stanowią bardzo ważny element w procesie formowania skorupowego, dlatego muszą być wykonane z dużą dokładnością wymiarową i dużą gładkością powierzchni; ich powierzchnie robocze są z reguły polerowane.

Na metalowej płycie modelowej umieszcza się metalowe modele: odlewów, układu wlewowego i zasilającego, elementów ustalających połowki form. Płyty modelowe, wyposażone są również w wypychacze służące do oddzielania utwardzonej skorupy od płyty modelowej.



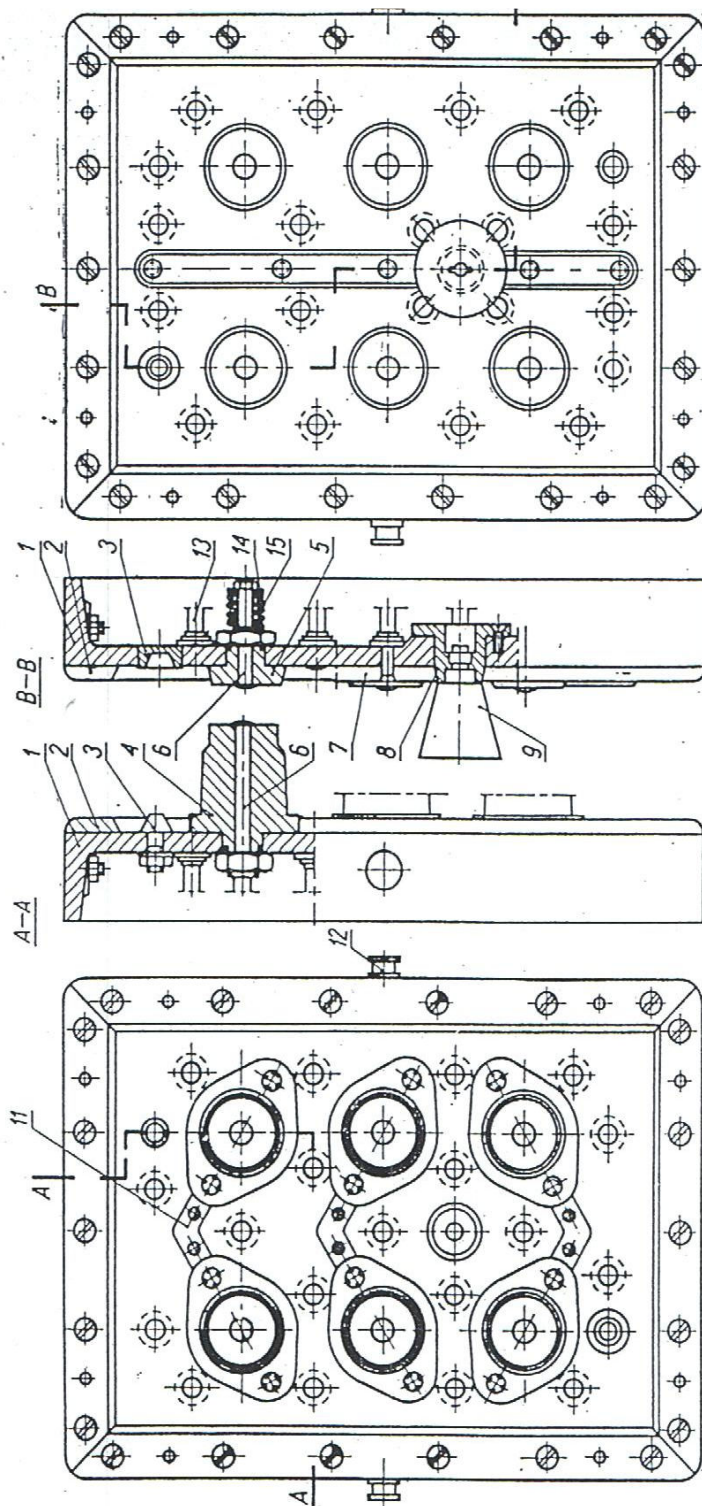
Rys. 3. Wypychacze indywidualne: a- wypychacz grzybkowy, b- wypychacz płaski, c- kryty wypychacz trzpieniowy.

Na rys.3 pokazano trzy rodzaje wypychaczy indywidualnych, mogą być zastosowane również wypychacze zespołowe. W stosunku do modeli wymagania co do ich jakości są podobne jak w przypadku płyt modelowych.

Na rysunku 4 pokazano przykład konstrukcji kompletu płyt modelowych do wytwarzania form z poziomą powierzchnią podziału, natomiast na rysunku 5 pokazano przykład konstrukcji kompletu płyt modelowych do wytwarzania form skorupowych z pionową powierzchnią podziału. Istnieje także możliwość stosowania płyt rewersyjnych.

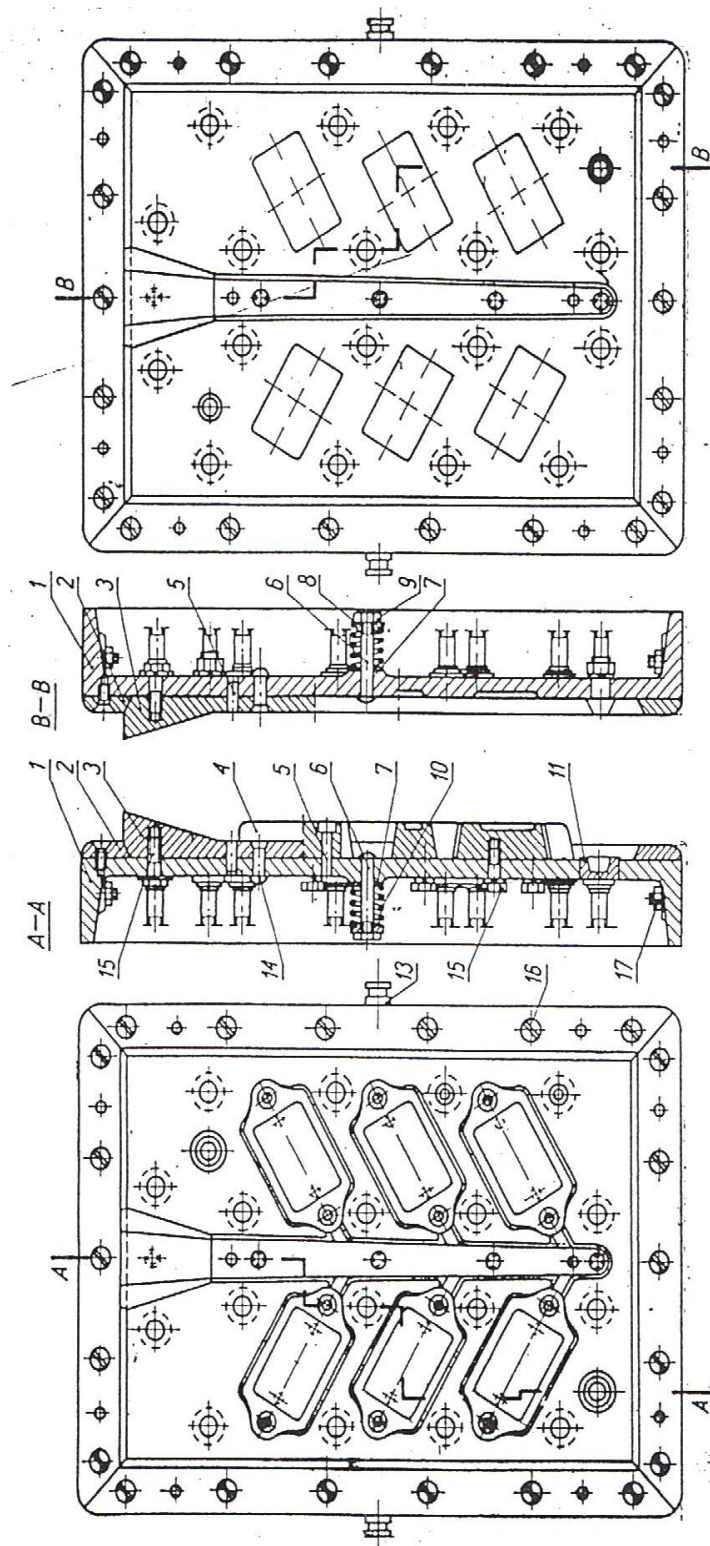
Konstrukcja metalowych rdzennic zależy przede wszystkim od kształtu i wymiarów rdzennic oraz od rodzaju maszyn i urządzeń, z którymi współpracuje. Jako zasadę przyjmuje się także konstruowanie rdzennic, które zapewniają maksymalną jej zawartość oraz płaskie zewnętrzne powierzchnie boczne. Rdzennice do wdmuchiwania lub wstrzeliwania masy skorupowej wykonuje się najczęściej jako dzielone pionowo, otwarte lub jako całkowicie zamknięte. W przypadku gdy kształt i wielkość rdzenia umożliwia wykonanie go jako pustego wnętrza, konstrukcja rdzennicy powinna być otwarta, względnie umożliwia zastosowanie odpowiednich wkładek metalowych.

Jako materiał na rdzennice do procesów gorących (proces skorupowy, proces gorącej rdzennicy) stosuje się głównie żeliwo szare lub żeliwo sferoidalne. Decydują o tym: dobra obrabialność duża pojemność cieplna, odporność na ścieranie, odporność na wewnętrzne naprężenia termiczne, odporność na oddziaływanie chemiczne produktów rozkładu żywic.



Rys 4. Płyty modelowe dla form do zalewnia poziomego :

- 1- płyta podmodelowa, 2- ramka, 3- modele elementów ustalających
- 4- model, 5- górny znak rdzeniowy, 6- belka wlewu, 7- odlana część wlewu głównego, 8- wlew główny, 11- wlew doprowadzający, 12- czop mocujący płytę na zbiorniku, 13- podkładka centrująca sprężynę, 14- nakładka centrująca sprężynę, 15 – sprężyna.



Rys. 5. Płyty modelowe dla form skorupowych do zalewnia pionowego:

- 1 – płyta modelowa, 2 – ramka, 3 – zbiornik wlewowy, 4 – model, 5 – kołek, 6 – wypychacz, 7 – podkładka centrująca sprężynę, 8 – nakrętka centrująca sprężynę, 9 – nakrętka, 10 – sprężyna, 11 – modele elementów ustalających, 13 – czop mocujący płytę na zbiorniku, 14 – nit, 15 – śruba, 16 – wkręt, 17 – nakrętka.

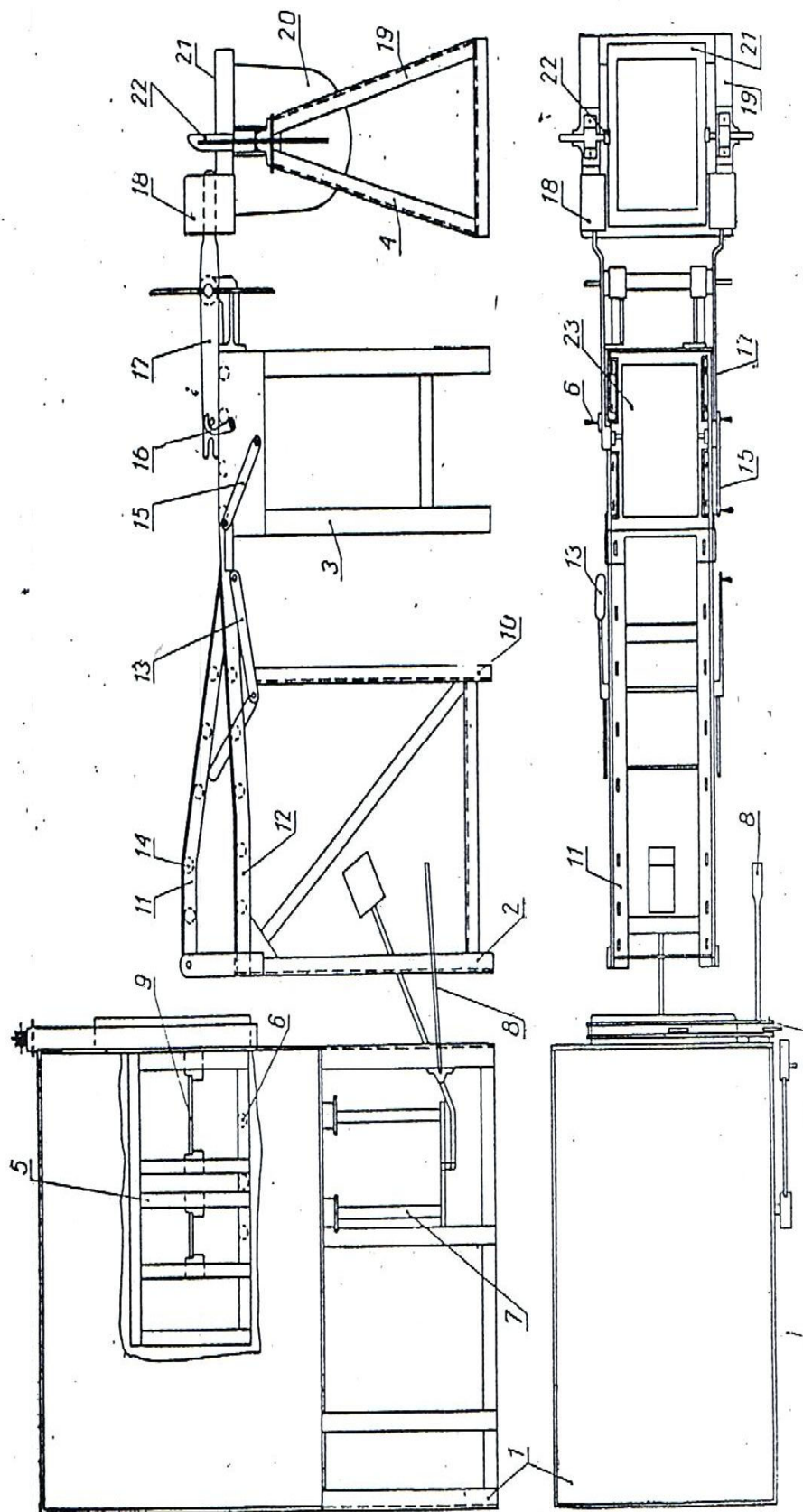
6.2. Urządzenie do wykonywania form i rdzeni skorupowych.

Do najprostszego sporządzania form skorupowych służą najprostsze urządzenia. Urządzenia te były pierwszymi urządzeniami doświadczalnymi przy wdrażaniu wytwarzania form skorupowych metodą Cronina (C).

Przykładem takiego urządzenia przedstawiono na rysunku 6. Urządzenie składa się z pieca elektrycznego **1**, stojaka **2** pomostu przenośnikowego, stołu **3** do oddzielania utwardzonych skorup od płyt modelowych oraz zbiornika zasypowego **20**. Piec elektryczny komorowy, konstrukcji przystosowanej do urządzenia z zakresem temperatury do 550°C ma wewnątrz ramkę **5** umożliwiającą załadowanie płyt modelowych na dwóch poziomach. Na dolnym poziomie ramy znajdują się rolki **6**, ułatwiające wsuwanie płyt do pieca. Na poziomie rolek znajduje się ramka, połączona układem dźwigniowym **7**, przechodzącym przez dno pieca, z pedałem **8**. Przy naciśnięciu pedału płyta zostaje uniesiona do góry i swoją krawędzią boczną podnosi półeczki zapadkowe **9**, na których ona zawisa po zwolnieniu pedału. Stojak **2** składa się z podstawy **10** konstrukcji spawanej, przenośnika rolkowego dolnego **12** oraz układu dźwigniowego **13** do podnoszenia przenośnika górnego. Przenośnik **11** jest wyposażony w dwa rzędy rolek **14**, ułatwiających przesuwanie płyty oraz ma obrzeże uniemożliwiające zesunięcie się płyty przenośnika. Stół **3** do oddzielania skorup od płyt modelowych ma ruchomą płytę **23**, która przy naciśnięciu dźwigni **15** wykonuje ruch pionowy. Po obu stronach stołu znajdują się dźwignie naciskowe **16**, służące do unieruchomienia płyty modelowej na stojaku. Stół jest połączony z jednej strony z układem dźwigniowym **17**, zaopatrzonym w przeciwwagę **18**, do przerzucania płyty modelowej ze stołu na zbiornik zasypowy **20**.

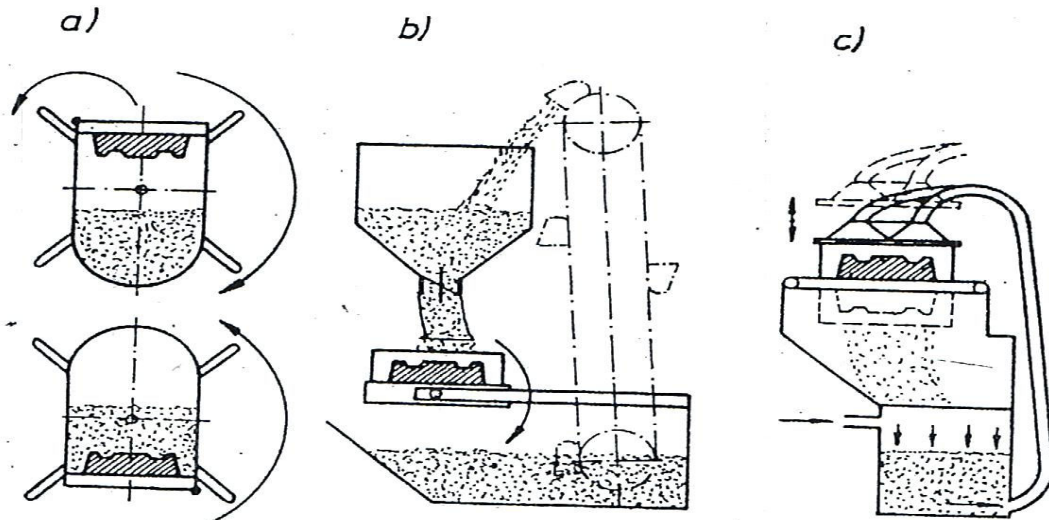
Płytę modelową przenosi się ręcznie pomiędzy piecem, zbiornikiem z masą i urządzeniem do oddzielania utwardzanych form od płyt modelowych. Również ręcznie obraca się zbiornik z masą po nałożeniu na niego płyty modelowej.

W procesie C nanoszenie masy na płytę modelową, oprócz opisanego wyżej obrotu zbiornika, może być realizowane przez zasypywanie z nieruchomego zbiornika z dozownikiem lub przez nadmuchiwanie z dołu albo z góry z następnym usuwaniem nadmiaru masy przez obrót płyty modelowej. Omówione rysunki przedstawiono na schematach rys.7. Konstruowane i produkowane urządzenia realizujące te trzy podstawowe sposoby wytwarzania form skorupowych w procesie C można podzielić na : jednopłytowe ręczne, częściowo zmechanizowane lub automatyczne.



Rys 6. Urządzenie liniowe US-03 (opis w tekście).

Urządzenie dwupłytowe z prostoliniowym przemieszczaniem płyt, obrotowe dwu- i czteropłytowe, wielopłytowe całkowicie zmechanizowane. Oprócz tego produkowane są urządzenia do wytwarzania skorup dwuwarstwowych w procesie C.



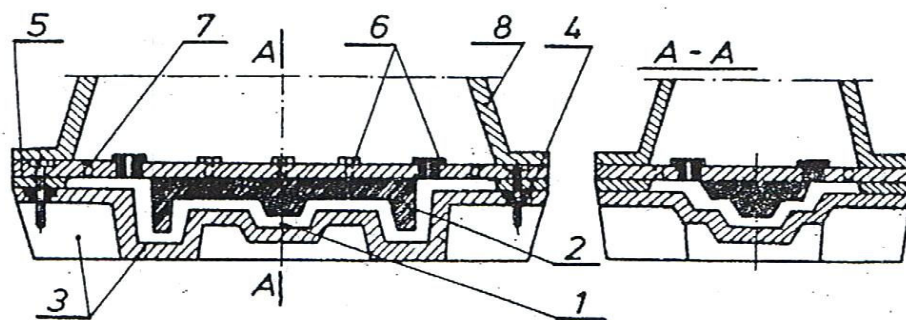
Rys. 7. Sposoby wytwarzania form skorupowych: a-narzucanie masy przez obrót zbiornika, b- zasypywanie ze zasobnika, c-nadmuchiwanie.

Proces Dieterta (D) realizuje się według zasady przedstawionej na rysunku 9 dla otrzymywania rdzeni. Małe rdzenie wykonuje się zwykle jako pełne, za pomocą różnych typów nadmuchiwarek. W pozostałych przypadkach, rdzeni większych i o skomplikowanych kształtach, stosuje się strzelarki. Do wytwarzania form w procesie D stosuje się oba rodzaje maszyn. Urządzenia typu nadmuchiarki i strzelarki mogą być częściowo lub całkowicie zmechanizowane i zautomatyzowane. Ważnym zagadnieniem, rzutującym na koszt wytwarzanych rdzeni w procesie D jest dobór odpowiedniego sposobu ogrzewania rdzennic.

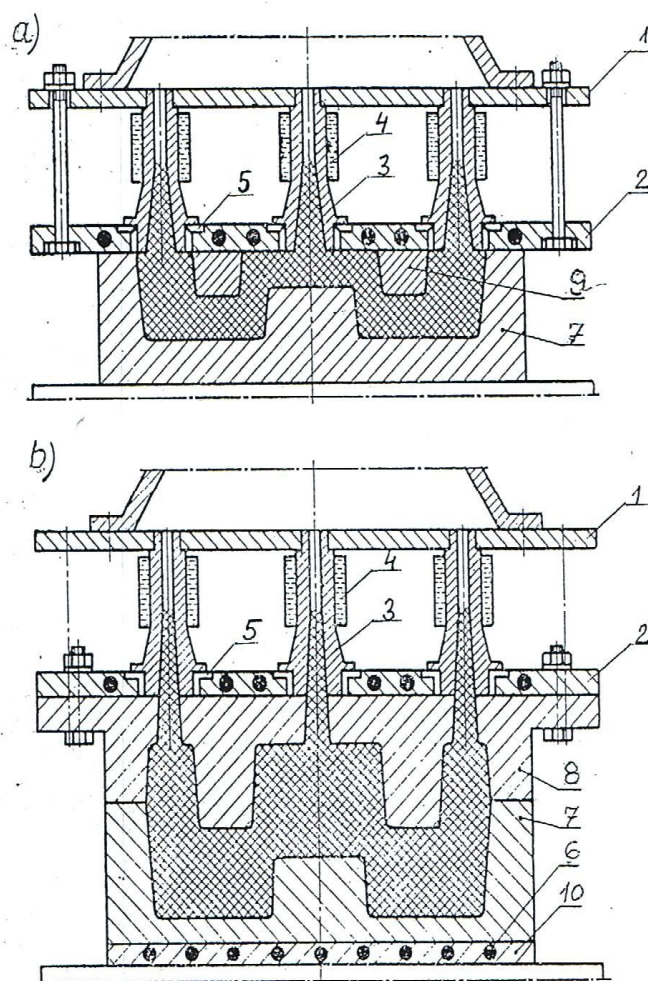
Stosuje się następujące sposoby ogrzewania rdzennic:

- 1) Elektrycznie, indywidualnymi elementami grzejnymi wmontowanymi w korpus rdzennicy,
- 2) Elektrycznymi płytami grzejnymi uniwersalnymi, stanowiącymi wyposażenie rdzeniarki,
- 3) Opalenie gazem z zastosowaniem palników indywidualnych lub połączonych w zespół płyty grzewczej,
- 4) Gorącymi spalinami lub ogrzonym powietrzem odparowanym do skrzynkowych płyt grzewczych lub zamkniętych przestrzeni skrzynkowych, stanowiących zewnętrzny płaszcz rdzennicy,
- 5) Przez przedmuchiwanie ogrzanego powietrza poprzez wnękę rdzennicy.

Różnica temperatury w poszczególnych częściach rdzennicy nie powinna przekraczać $\pm 10^{\circ}\text{C}$.



Rys 8. Zasada formowania skorupowego wg. procesu D: 1- skorupa, 2-model, 3-płyta konturowa, 4-ramka, 5-podmodelowa płyta dmuchowa, 6- otwory dmuchowe, 7- otwory odpowietrzające, 8-głowica nadmuchiwicki lub strzelarki.



Rys. 9. Głowica z płytą grzewczą dla rdzennic z poziomą powierzchnią podziału: a- z rdzennicą jednostronną otwartą lub z płytą dociskową, b- z rdzennicą zamkniętą dzieloną poziomo, 1- płyta strzałowa, 2-płyta grzewcza, 3- tulejki strzałowe, 4- płaszcz wodny, 5- szczeliny izolacyjne, 6- elementy grzewcze, 7,8 -rdzennica, 9- wkładki zastępujące płytę dociskowa, 10- płyta grzewcza dolnej części rdzennicy.

7. Wytwarzanie form skorupowych i ich własności.

Do najważniejszych parametrów wykonania form skorupowych należą:

- temperatura płyty modelowej,
- temperatura utwardzania skorup,
- sposób nanoszenia masy formierskiej (piasku powlekanego) na płytę modelową,
- szybkość utwardzania żywicy,
- skład masy formierskiej i jej własności fizyczne.

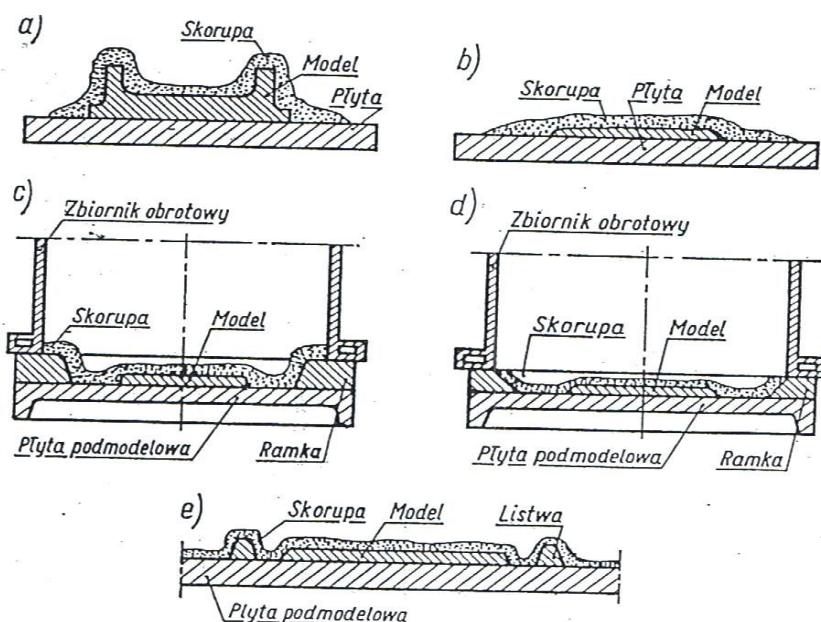
Do małych i drobnych odlewów wykonuje się formy skorupowe o grubości ok. 4mm; jednak produkcja, masowa, szczególnie dla odlewów o większej masie, wymaga stosowania nieco grubszych skorup, rzędu 6-10mm.

W procesie C wytwarza się formy z pozioma i pionowa powierzchnią i podziału, z piasku powlekanego jednorodnego, jak również formy dwuwarstwowe. Te ostatnie mają warstwę przymodelową z piasku drobnoziarnistego, o zwiększonej ilości żywicy oraz drugą warstwę z piasku grubszego o niskiej zawartości żywicy. Przy wykonywaniu skorup dwuwarstwowych uzyskuje się obniżenie zużycia żywicy, ponieważ dla drugiej warstwy można stosować piasek z mniejszą jej ilością lub można użyć masę wypełniającą z innym materiałem wiążącym.

Wytrzymałość masy skorupowej w temperaturze pokojowej zależy w małym stopniu od czasu i temperatury utwardzania oraz od jakości żywic stosowanych powszechnie. Istotny wpływ na wytrzymałość mają przede wszystkim: ilość żywicy w masie, wielkość ziarna osnowy piaskowej oraz stopień zagęszczenia masy przed utwardzeniem. Im mniejsze jest ziarno osnowy, tym więcej należy dodać żywicy w celu uzyskania maksymalnej wytrzymałości. Rośnie ona ze zmniejszeniem ziarna osnowy piaskowej. Zwiększenie stopnia zagęszczenia masy, na przykład przez wprowadzenie wibracji przy wytwarzaniu plastycznej skorupy, pozwala na zwiększenie wytrzymałości. Dalsze zwiększenie wytrzymałości masy można uzyskać przez doprasowanie swobodnie nasypanej masy, ciśnieniem wywieranym przez elastyczną przeponę. Maksymalne zagęszczenie masy, czemu towarzyszy najwyższa wytrzymałość masy, osiąga się przy nadmuchiowaniu lub wstrzeliwaniu masy i następnym doprasowaniem przeponowym.

W praktyce, istotne znaczenie posiada wytrzymałość skorup w temperaturze do jakiej nagrzewają się podczas zalania.

Wymagana grubość formy skorupowej jest zależna od wytrzymałości utwardzonej masy skorupowej, grubości ścianek odlewu, temperatury metali i czasu zalewania formy. Najkorzystniejsze ze względu na koszt materiałów jest stosowanie form najcieńszych. Należy zwrócić jednak uwagę, że forma skorupowa nagrzewając się od metalu traci część wytrzymałości, gdyż żywica w kontakcie z otoczeniem ulega przylepianiu. Im wyższa będzie procentowa zawartość żywicy, tym czas jej spalania będzie dłuższy, ale równocześnie przedłoży się czas obniżenia wytrzymałości przy nagraniu od metalu. Jeśli zapewni się odpowiednią wytrzymałość i sztywność form skorupowych, można odlać od nich stopy z dużą wartością tzw. rozszerzenia przed skurczowego. Niekiedy wymaga to zewnętrznego wzmocnienia, zwiększającego sztywność form. Sztywność form skorupowych zależy też od kształtu i wielkości modeli rozmieszczonych na płycie modelowej. Na rys.10 pokazano różne sposoby zabezpieczenia sztywności form skorupowych, podczas ich wytwarzania.



Rys. 10. Sztywność skorup: a- przy wysokich modelach, b- przy niskich modelach, c, d- przy zastosowaniu ramek, e- przy zastosowaniu listew.

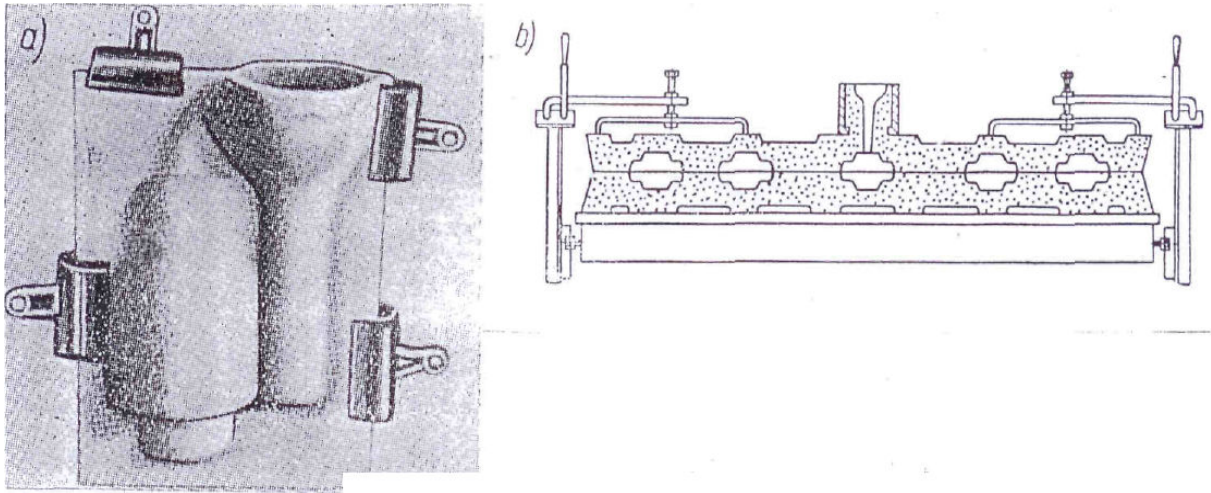
Ścianki formy skorupowej odkształcają się przy zalewaniu ciekłym metalem, po czym w ciągu 10~15s wyginają się w stronę powierzchni zalewanej, następnie wygięcie zmienia szybko kierunek i forma odkształca się w stronę przeciwną. Odkształcanie form skorupowych w czasie zalewania i stygnięcia ciekłego stopu, można zmniejszyć przez zwiększenie grubości jej ścianek, przyspieszenie stygnięcia odlewu lub umieszczenie formy w zagęszczonym sypkim materiale (np. piasku). Niezbyt korzystnym zabiegiem jest zwiększenie zawartości żywicy, gdyż rośnie wówczas ilość wydzielanych gazów z formy.

8. Przygotowanie form skorupowych do zalewania.

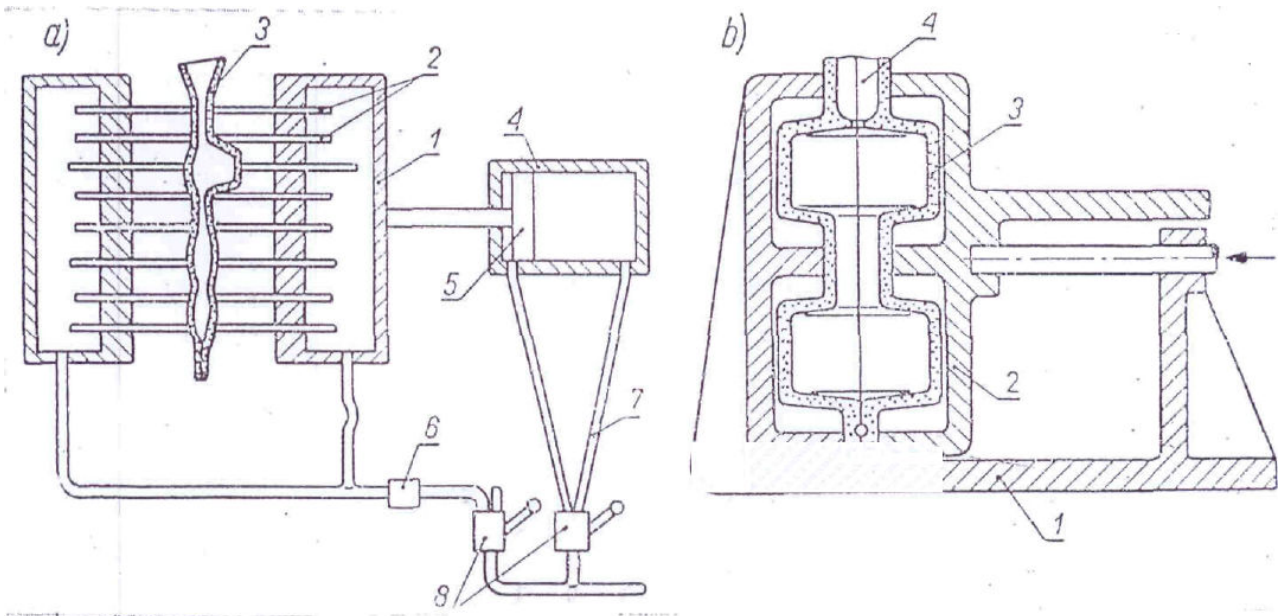
Przygotowanie form do zalewania ciekłym stopem, składa się z następujących operacji:

- montażu rdzeni w formie,
- łączenie Części (połówek) form skorupowych.

Łączenie połówek form może odbywać się przy pomocy klejenia z dodatkowym zabezpieczeniem przy pomocy zacisków, klamer, ściągaczy, itp. Łączenie połówek form musi być wykonane bardzo dokładnie, do czego służą w pierwszym rzędzie elementy centrujące, odtworzone z płyt modelowych na powierzchni podziału formy. Do łączenia obu części form skorupowych stosowane są najczęściej kleje mocznikowe i żywica fenolowo-formaldehydowa (sproszkowana na gorąco); można również stosować prądy wysokiej częstotliwości. Do klejenia form służą urządzenia z dociskiem pneumatycznym, względnie urządzenia wytwarzające próżnię między dwiema elastycznymi przeponami które dociskają do siebie powierzchnię skorup powleczone klejem. Na rysunkach 11 i 12 pokazano schematycznie przykłady takich rozwiązań.

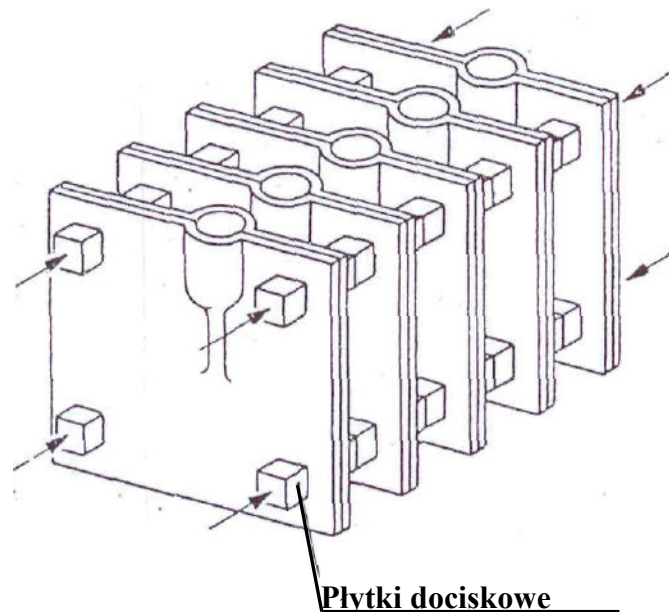


Rys. 11. Łączenie połówek form skorupowych: a) przy pomocy zacisków, b) przy pomocy Klamer



Rys. 12. Urządzenia do łączenia skorup: a) urządzenie pneumatyczne:
1- komora sprężonego powietrza, 2- nurniki stalowe, 3- forma skorupowa, 4- cylinder pneumatyczny, b) przyrząd pneumatyczny.

W przypadku korzystniejszego, pionowego podziału form skorupowych, formy zajmują mniej miejsca po złożeniu do zalewania i można łączyć je w zespoły, co przedstawiono schematycznie na rysunku 13.



Rys. 13. Łączenie form skorupowych w zespoły do zalewania.

Przestrzeń wolne między formami wypełnia się śrutem, piaskiem lub mieszaniną tych materiałów. Dodatkowym aspektem takiego postępowania jest możliwość celowego różnicowania szybkości odprowadzenia ciepła z zalanych form. Formy przygotowane do zalewania, z poziomą powierzchnią podziału, mogą być łączone w stosy. Nowszym rozwiązaniem jest łączenie form skorupowych w bloki do zalewania przez zanurzenie w piaskowym złożu fluidalnym.

9. Proces gorącej rdzennicy.

Zasada form i rdzeni skorupowych znalazła zastosowanie w innych technologiach, lub stała się podstawą do modyfikacji klasycznego procesu; dla przykładu można tu wymienić procesy: CHILMET, COLSHEL, SHELL-FACE-MOLDING, SCRATA, proces H, czy polski proces FLOTERM. W tym ostatnim osnowę masy stanowi średnio i gruboziarnisty płukany piasek kwarcowy, spoiwem jest ciekły komponent wodorozpuszczalnej żywicy termoutwardzalnej, środka powierzchniowo-czynnego oraz wody i aktywatora.

Rozwinięciem procesu formowania skorupowego jest metoda gorącej rdzennicy, znana ogólnie pod nazwą HOT BOX process. Różni się ona od procesu formowania skorupowego tym, że jest stosowana wyłącznie do wytwarzania rdzeni, wykonuje się rdzenie pełne, a reakcja utwardzania jest egzotermiczna. Sprzyja to dalszemu utwardzaniu masy po usunięciu źródła ciepła początkującego proces utwardzania, czyli po wyjęciu rdzenia z rdzennicy.

Metodą tą wykonuje się obecnie około 75-80 % rdzeni do odlewów motoryzacyjnych jest ona szczególnie przydatna dla wytwarzania rdzeni dużej dokładności wymiarowej, dobrej wytrzymałości i wybijałości. Masa stosowana w tej metodzie jest znacznie tańsza od masy do formowania skorupowego. Masa ma natomiast gorszą płynność i ograniczoną żywotność.

Na osnowę masy w metodzie gorącej rdzennicy stosuje się wyłącznie piasek kwarcowy o temperaturze poniżej 25°C, minimalnej zawartości lepiszcza i frakcji pyłowych, wielkości ziarna 0,15 ÷ 0,30mm, małej zawartości domieszek alkalicznych.

Spoivo stanowią prawie wyłącznie żywice syntetyczne: przede wszystkim furfurylowe, fenolowo-mocznikowo-formaldehydowe, fenelowo-formaldehydowe i mocznikowo-formaldehydowe. Zależnie od rodzaju żywicy, jej dodatek wynosi 1,5÷3 części wagowych.

Utwardzaczami są roztwory kwaśnych soli (tzw. utwardzacze utajone), a ich dodatek wynosi 10÷25% w stosunku do ilości żywicy. Do masy może też być dodany Fe₂O₃ dla zabezpieczenia przed powstawaniem nakłuc oraz roztwór amoniaku w celu zwiększenia żywotności masy. Masę sporządza się zwykle w mieszarkach łopatkowych o ruchu okresowym lub ciągłym. Masa ma żywotność od 20 minut do 2 godzin, zależnie od rodzaju żywicy oraz ilości i jakości utwardzacza.

Zasada procesu gorącej rdzennicy polega na nadmuchiowaniu lub wstrzeleniu masy do metalowej rdzennicy, nagrzanej do temperatury 180°C÷280°C (zwykle 220 ÷ 230°C) i wytrzymaniu masy w rdzennicy do uzyskania stopnia jej utwardzenia, jaki umożliwia wyjecie rdzenia bez uszkodzenia. Czas ten wynosi od kilku do kilkudziesięciu sekund. W tym czasie następuje utwardzenie powierzchniowych warstw rdzenia, a jego wewnętrzne części utwardzają się dalej samoczynnie w wyniku oddziaływania zawartego w masie utwardzacza i ciepła egzotermicznej reakcji.

Rdzenie pokrywa się powłokami ochronnymi alkoholowymi lub wodnymi. Odmianą metody HOT-BOX jest proces HBC, w którym zastosowano spoivo o zmniejszonej zawartości wolnego fenolu i formaldehydu, a jako utwardzacz - stosuje się urotropinę stosowaną w metodzie formowania skorupowego. Uzyskano mniejszą szybkość utwardzania masy.

Należy zwrócić uwagę także na opracowaną w latach siedemdziesiątych metodę ciepłej rdzennicy (WARM-BOX-VERFAHREN); różni się od metody gorącej rdzennicy rodzajem spoiwa i temperaturą utwardzania masy (120°C do 170°C).

10. Zalety i wady technologii formowania skorupowego.

Zastosowanie form i rdzeni skorupowych w odlewnictwie wykazuje wiele korzyści w porównaniu z odlewaniem do form piaskowych. Główne zalety metody są następujące:

- duża dokładność wymiarowa odlewów,
- duża gładkość powierzchni odlewów,
- zmniejszone naddatki na obróbkę mechaniczną (mniejsza masa odlewów),
- znacznie mniejsze zużycie materiałów formierskich,
- niższa temperatura zalewanych stopów,
- mniejsza pracochłonność oczyszczania odlewów,
- możliwość stosowania w szerokim zakresie powierzchni surowych odlewów,
- możliwość pewnej mechanizacji i automatyzacji procesu.

Metoda formowania skorupowego może być stosowana do seryjnej i masowej produkcji drobnych i średnich odlewów, wykonywanych ze wszystkich stopów odlewniczych, aczkolwiek najbardziej odpowiednim materiałem na odlewy w tej technologii jest żeliwo (jest ono najmniej wrażliwe na ziarnistość osnowy masy, żywica wypala się bardzo intensywnie w czasie ich stygnięcia, co znacznie polepsza wybijałość form). Dla uzyskania gładkich powierzchni odlewów stalowych konieczne jest stosowanie drobnych piasków oraz specjalnych dodatków do wykonywania form.

Jako podstawową wadę procesu należy wymienić wysoki koszt masy formierskiej i oprzyrządowania modelowego.

Technologia formowania skorupowego stosowana jest najczęściej do wytwarzania odlewów motoryzacyjnych, maszynowych, kokil, armatury, itp.

11. Wykonanie ćwiczenia, cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z technologią wytwarzania form i rdzeni skorupowych (**proces C**), z konstrukcją i budowa, oprzyrządowania modelowego, a także z urządzeniami służącymi do realizacji procesu. W czasie ćwiczenia przewiduje się wykonanie kilku kompletów form skorupowych (dwuczęściowych) i rdzeni stosowanych do nich.

12. Materiały i urządzenia do wykonywani a ćwiczenia.

Formy skorupowe wykonuj się z piasku powleczonego klasy II, przy użyciu płyt modelowych jednostronnych, odtwarzających połówki formy o poziomej powierzchni podziału. Jako środek oddzielający stosuje się olej silikonowy lub inny środek równorzędny co do własności. Stanowisko do przeprowadzania ćwiczeń składa się z:

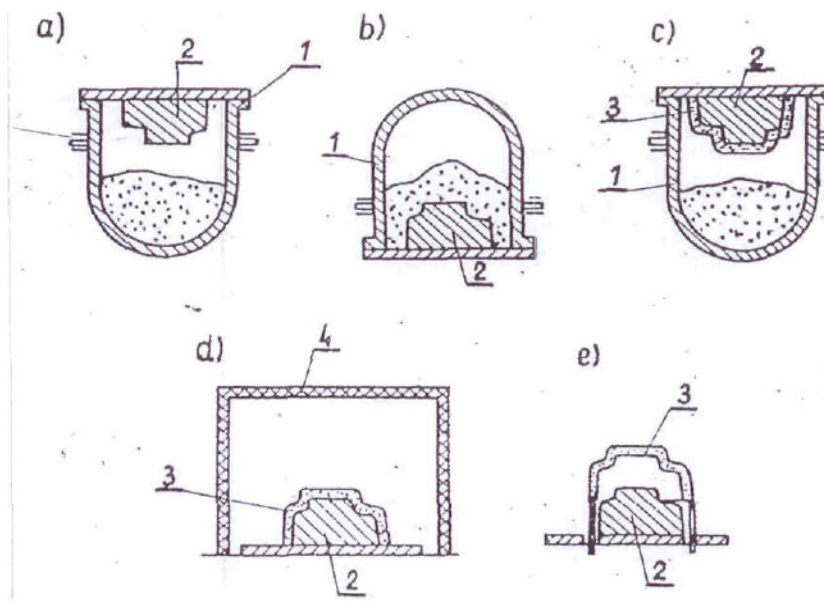
- urządzenia liniowego do wytwarzania form skorupowych,
- kompletu dwóch płyt modelowych, służących do wykonywania połówek formy dzielonej poziomo,
- termopary stykowej wraz ze wskaźnikiem pomiaru temperatury,
- stanowiska do składania i zalewania form,
- pistoletu natryskowego i węża ze sprężonym powietrzem.

13. Przebieg ćwiczenia.

Przed przystąpieniem do wykonania połówek form należy wykonać następujące czynności:

- włożyć obydwie płyty modelowe do pieca grzewczego,
- ustawić regulator temperatury pieca na wartości 300oC,
- włączyć ogrzewanie pieca,
- napęlnić zbiorni obrotowy pieca piaskiem otaczanym,
- po określonym przez prowadzącego czasie sprawdzić temperaturę płyty za pomocą termopary stykowej ze wskaźnikiem; winna ona wynosić 220 – 260oC; płyty modelowe należy pokryć oddzielaczem.

Czynności konieczne do wykonania połówki formy, pokazano schematycznie na rysunku 14.



Rys. 14. Formowanie skorupowe proces C: a- nagrzana płyta modelowa nad zbiornikiem z masą, b- obsypanie modelu i płyty piaskiem powleczonym, c - powstanie skorupy na modelu, d- utwardzanie skorupy, e- zdjęcie skorupy, 1-zbiornik, 2-model, 3-skorupa,4-piec.

Zbiornik (1) wypełniony do połowy swej głębokości piaskiem otoczonym, nakrywa się podgrzaną płytą modelową (2) przez obrócenie jej o 180° . Po zamknięciu zbiornika całość obraca się o 180° w płaszczyźnie pionowej dzięki czemu piasek otoczony zrzucany jest na nagrzaną roboczą powierzchnię płyty. Czas przetrzymywania piasku na płycie zależy od temperatury płyty i parametrów przyszłej formy, a wynosi zwykle $20 \div 60$ s. Następnie płytę wraz z warstwą przylegającą do jej powierzchni plastycznej masy odwraca się do położenia wyjściowego i wprowadza do pieca grzewczego o temperaturze $300 \div 350^{\circ}\text{C}$. Po utwardzeniu skorupy oddziela się ją od płyty modelowej mechanicznie, przy użyciu wypychaczy. Płytę modelową przedmuchiemy sprężonym powietrzem w celu usunięcia drobnych zanieczyszczeń powstałych w trakcie wykonywania skorupy i wprowadzamy do pieca grzewczego. Postępujemy identycznie przy wykonaniu drugiej połówki formy z drugiej płyty modelowej.

W czasie wykonywania połówek form skorupowych, w rdzownicy wykonuje się 6 sztuk rdzeni z masy rdzeniowej ze szkłem wodnym. Po wykonaniu połówek form skorupowych montujemy w nich rdzenie, formy składamy. Po ich ostygnięciu spinamy je klamrami i przenosimy na stanowisko zalewania.

Po zakończeniu wykonywania połówek form skorupowych wyłączamy piec grzewczy, a płyty modelowe oczyszczamy przedmuchiując sprężonym powietrzem.

14. Wykonanie sprawozdania z ćwiczeń.

Sprawozdanie z ćwiczeń powinno zawierać:

- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- parametry wykonania połówek form i pomiar ich grubości,
- wnioski z przebiegu ćwiczenia.

Literatura:

- [1] **Harpula J. , Wertz Z.:** Formowanie skorupowe. WNT, Warszawa 1967.
- [2] **Gołowin S. J.:** Specjalne metody odlewania. WMT. Warszawa 1963.
- [3] **Lewandowski L.:** Przygotowanie form odlewniczych- masy formierskie i rdzeniowe. Skrypt Uczelniany AGH, nr 1062, Kraków 1987.
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją **Gawrońskiego J.:** Wybrane zagadnienia z technologii formy odlewniczej z ćwiczeniami. Cz.I. Skrypt uczelniany Pol. Śląskiej, nr 775, Gliwice 1978.
- [5] **Sokołow N.A.:** Litie v obołockovyje formy. Masinostrojenje, Moskwa 1969.
- [6] **Skarbiński M.:** Uruchomienie produkcji w odlewni. WNT, Warszawa 1971.
- [7] **Sakwa W., Wachelko T.:** Teoria, i praktyka technologii materiałów formierskich. Śląsk. Katowice 1970.
- [8] **Fidos H.:** Nowoczesne metody odlewania. S. Nowa Technika, s.19, PWT, Warszawa 1959.
- [9] **Wroński Z.:** Wytwarzanie rdzeni odlewniczych wewnątrz pustych metodą formowania skorupowego i metodą gorącej rdzennicy. Prz. Odlewnictwa 1967, nr. 4.
- [10] **Błaszowski K. Murza-Mucha P.:** Wytwarzanie rdzeni z mas termo- i samoutwardzalnych w produkcji wielkoseryjnej. WNT, Warszawa 1973.
- [11] **Chwałkowska B. i in.:** Nowy gatunek piasku powleczonego- "Cormas". Prz. Odlewnictwa. 1975, nr 7, s. 194.
- [12] **Rapacki H.:** Zasady konstruowania płyt modelowych do formowania skorupowego. Prz. Odlewnictwa 1937, s.301.