

Przygotowania do procesu odlewania

Odlewnictwem nazywa się **dziedzinę techniki obejmującą wytwarzanie części maszyn lub przedmiotów przez wypełnianie ciekłym metalem odpowiednio przygotowanych form**. Otrzymane przedmioty nazywamy ogólnie odlewami, a metodę ich wytwarzania – odlewaniami.

Metodą odlewania wykonuje się przede wszystkim części maszyn (**do 80%**) w przemśle samochodowym, lotniczym, okrętowym, zbrojeniowym itp. Spotykamy ją również wielu innych dziedzinach np. w budownictwie, jubilerstwie, produkcji implantów, itp.

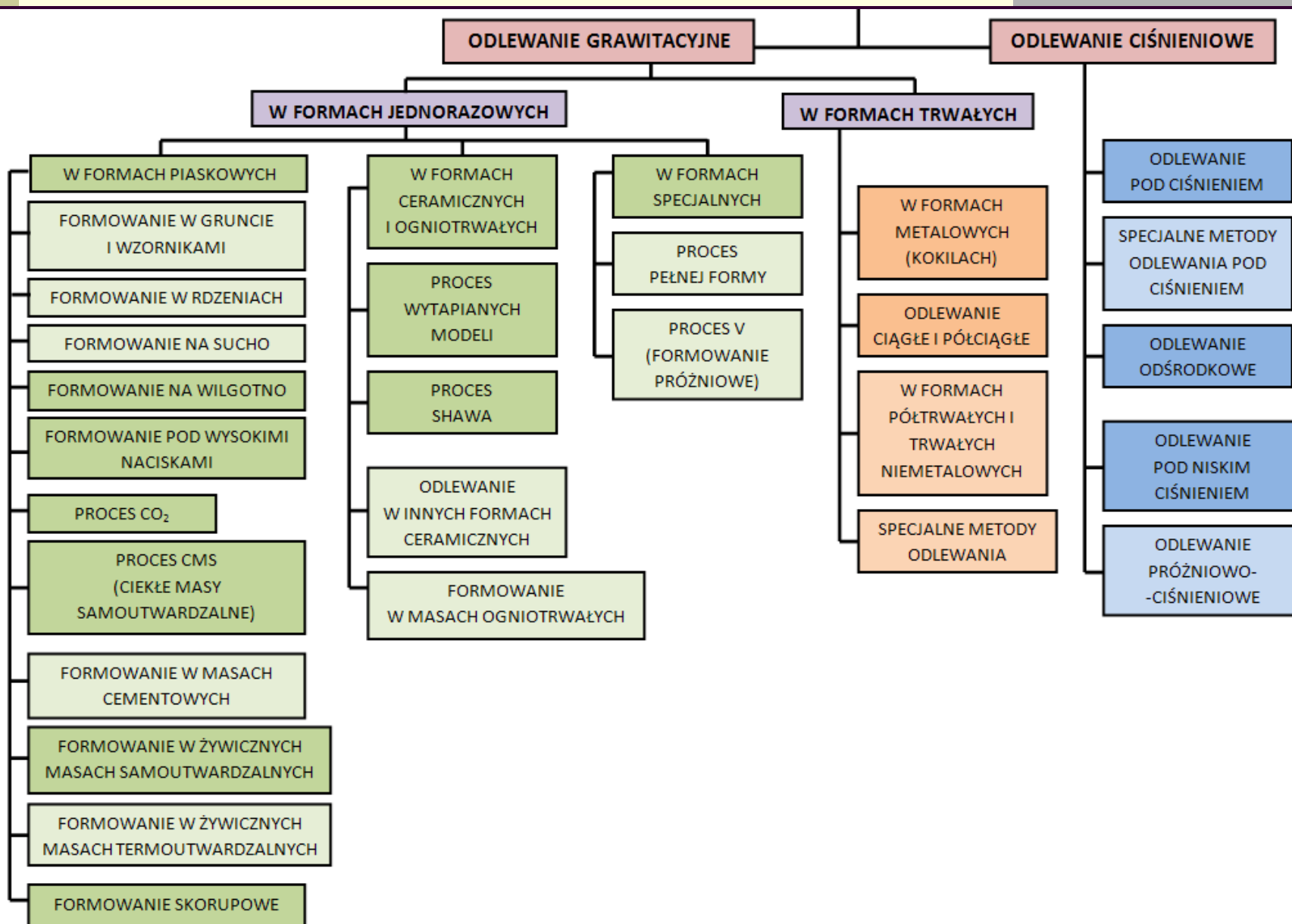
Proces odlewania obejmuje następujące **etapy**:

- 1) przygotowanie modelu przedmiotu,
- 2) przygotowanie materiałów formierskich,
- 3) przygotowanie formy odlewniczej,
- 4) przygotowanie stopu odlewniczego,
- 5) zalanie formy ciekłym metalem,
- 6) krystalizacja metalu w formie,
- 7) wyjęcie odlewu formy,
- 8) oczyszczenie i wykończenie odlewu.

Ze względu na **rodzaj metalu** wlewanego do formy:

- odlewnictwo żeliwa,
- odlewnictwo staliwa,
- odlewnictwo metali nieżelaznych ciężkich oraz lekkich.

METODY WYTWARZANIA ODLEWÓW



POJĘCIA PODSTAWOWE

Najczęściej stosowanym sposobem wykonywania odlewów jest zalewanie **ciekłym metalem formy jednorazowej**, sporządzonej z masy formierskiej. Formę wykonuje się (najczęściej) z dwóch lub kilku części, aby umożliwić wyjęcie modelu.

Formy i rdzenie po ich wykonaniu suszy się, żeby stały się dostatecznie wytrzymałe. Ciekły metal doprowadza się do wnętrza formy kanałami (wykonanymi w czasie formowania), które stanowią tzw. **układ wlewowy**.

Po wypełnieniu formy ciekłym metalem, jego zakrzepnięciu i ostygnięciu wyjmuje się odlew, oczyszcza z zanieczyszczeń i usuwa zbędne dodatki zakrzepłego metalu (układ wlewowy). Proces ten nazywa się wykończaniem odlewu.

Wykończony odlew sprawdza się pod kątem wad odlewniczych i wymagań technicznych (odbiór i kontrola jakości).

Forma odlewnicza – zespół elementów, które po złożeniu odtwarzają kształt odlewanego przedmiotu oraz układu wlewowego.

Model – element odwzorowania w formie kształtów zewnętrznych odlewu.

Rdzenie – elementy formy odtwarzające kształty wewnętrzne odlewu.

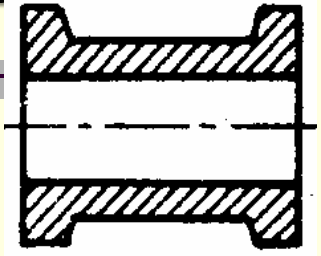
Znaki rdzeniowe - to elementy gniazdowe modelu i rdzenia.

Rdzennica – przyrząd służący do wykonania rdzenia.

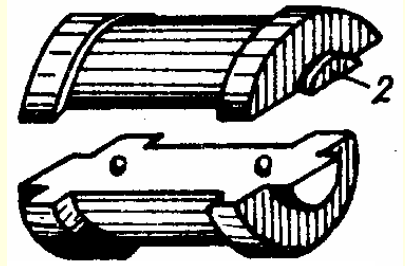
Masa formierska i rdzeniowa – mieszanina podstawowych i pomocniczych materiałów formierskich służąca do wykonania form jednorazowych i rdzeni.

ETAPY PROCESU ODLEWNICZEGO

1. **Opracowanie dokumentacji technologicznej odlewu** - rysunki uwzględniający sposób odlewania i naddatki, układ wlewowy i nadlewy, formę, niezbędne oprzyrządowanie.



2. **Wykonanie modelu** oddającego zewnętrzne kształty odlewu. Modele wykonuje się przeważnie jako dzielone z drewna, wosku lub tworzywa sztucznego.



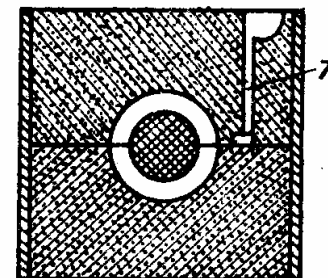
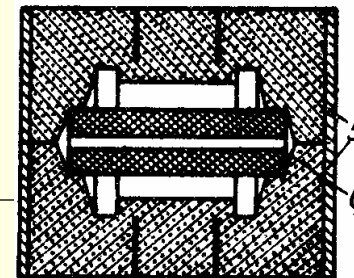
3. **Przygotowanie masy formierskiej i rdzeniowej**

4. **Wykonanie rdzeni** oddających kształty wewnętrzne. Wykonuje się je ręcznie według wzorników lub maszynowo.

5. **Wykonanie i złożenie formy** – odpowiednio uformowane połówki formy uzupełnia się przygotowanym rdzeniem. W jednej z połówek wykonuje się układ wlewowy, pozwalający na kontrolowane wypełnianie formy roztopionym metalem.

6. **Przygotowanie ciekłego metalu i zalanie formy.**

7. **Wybicie odlewów** z form i wstępna obróbka wykańczająca: usunięcie układów wlewowych i oczyszczenie odlewów.



1 – naddatek, 2 – znaki rdzeniowe, 3 – połówki rdzennicy,
4 – rdzeń, 5 – skrzynki formierskie, 6 – gniazda rdzeniowe,
7 – układ wlewowy

DOKUMENTACJA TECHNOLOGICZNA

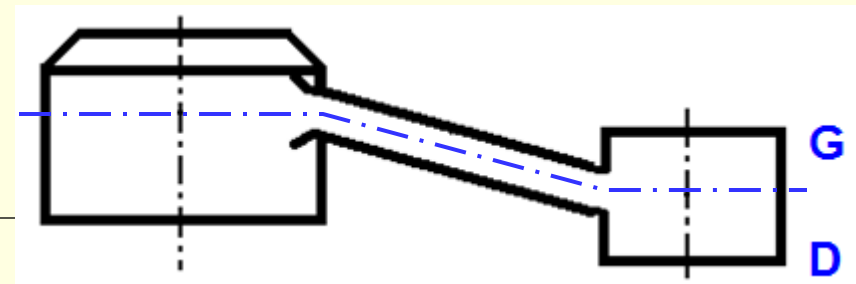
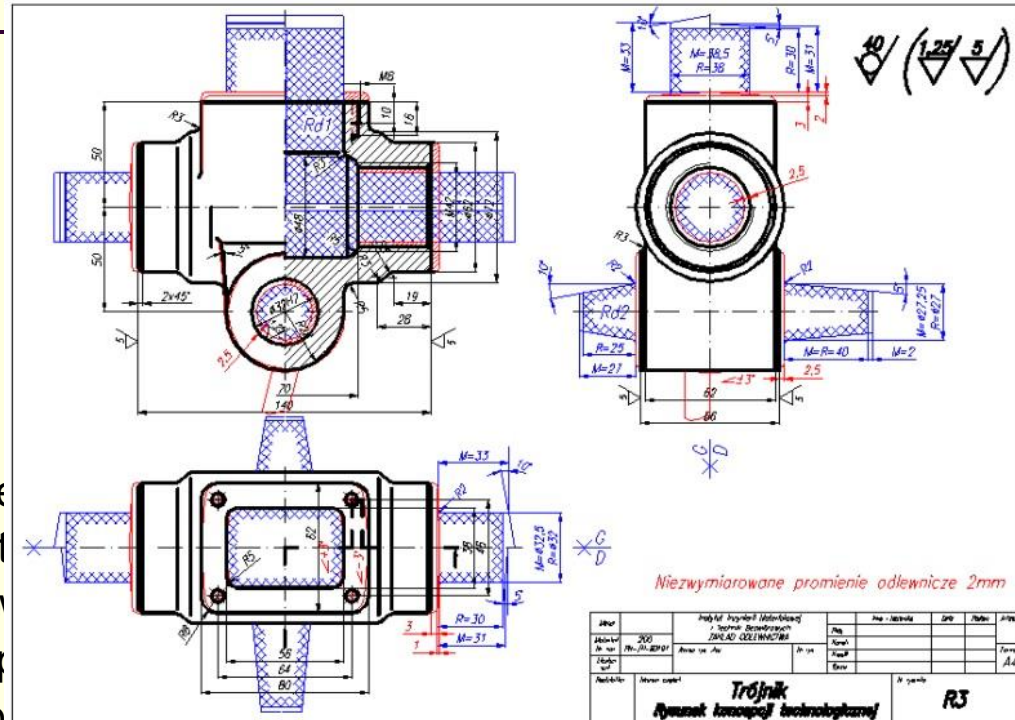
Rysunki

- konstrukcyjne gotowego wyrobu,
- koncepcyjne sposobu odlewania,
- surowego odlewu,
- zespołu modelowego
- formy odlewniczej,
- oprzyrządowania specjalnego.

Rysunek surowego odlewu powinien

- dane rozpoznawcze (nazwa, nr),
- powierzchnię podziału formy odlewniczej,
- bazy obróbkowe dla wyjściowej obróbki mechanicznej,
- naddatki technologiczne na obróbkę mechaniczną,
- pochylenia i zbieżności ścian odlewu zgodnie z płaszczyzną podziału formy,
- dane dotyczące wymiarów, odchyłek i wymagań specjalnych, np. obróbka cieplna,
- układ wlewowy i nadlewy.

Powierzchnia podziału dzieli odlew, formę i skrzynkę odlewniczą na dwie lub więcej części i przebiega ona zasadniczo przez największy przekrój przedmiotu.



UKŁAD WLEWOWY

Układ wlewowy – system kanałów wykonanych w formie, w celu **doprowadzenia ciekłego metalu** do wnętrza formy. Dodatkowo powinien on zapewniać **oczyszczenia strugi metalu** od przypadkowych wtrąceń i zanieczyszczeń (np. żużla) oraz **zasilanie krzepnącego odlewu** ciekłym stopem (skurcz).

Przy zalewaniu grawitacyjnym rozróżnia się dwa typy układów wlewowych:

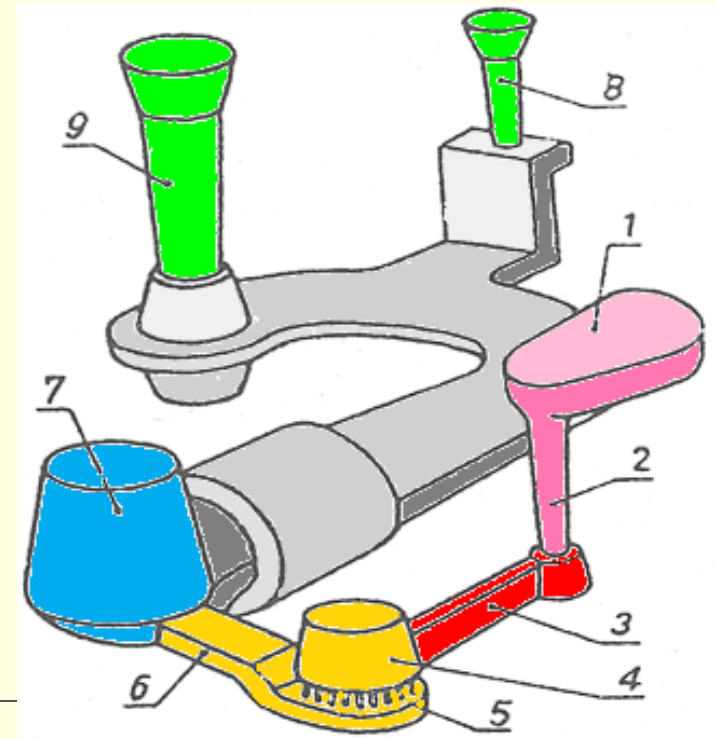
- zamknięte - układy ciśnieniowe, spełniają warunek geometryczny

$$F_{WG} > F_{WR} > F_{WD}$$

- otwarte - minimalny przekrój dławiający umieszcza się zazwyczaj na początku wlewu głównego lub rozprzewadzającego:

$$F_{WG} < F_{WR} < F_{WD}$$

Układ wlewowy oblicza się wychodząc z kryterium optymalnego czasu zalewania lub jego geometrii.

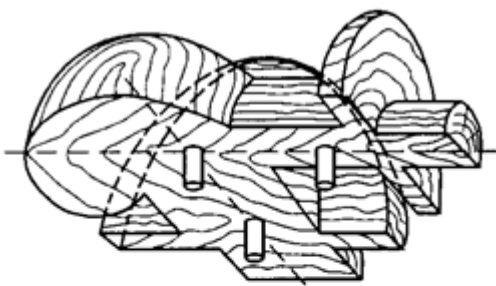


Zbiornik wlewowy ZW (1), wlew główny WG (2), wlew rozprowadzający WR (3), oddzielnik (4,5), wlew doprowadzający WD (6), nadlew boczny (7), przelew (8), nadlew górny (9)

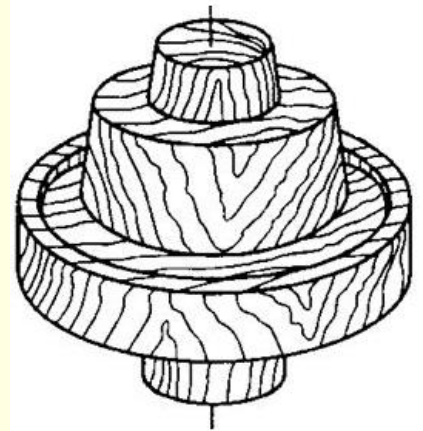
MODELE ODLEWNICZE

Model odlewniczy jest przyrządem o kształcie odpowiadającym odlewianemu przedmiotowi, uwzględniającym wielkość skurczu metalu w czasie krzepnięcia. Wszystkie modele można wykonać jako modele dzielone i niedzielone i z częściami odejmowanymi. Do formowania ręcznego, czyli do produkcji jednostkowej i małoseryjnej wykonuje się je z drewna. Znacznie bardziej trwałe są modele metalowe wykonywane najczęściej ze stopów aluminium, miedzi i żeliwa.

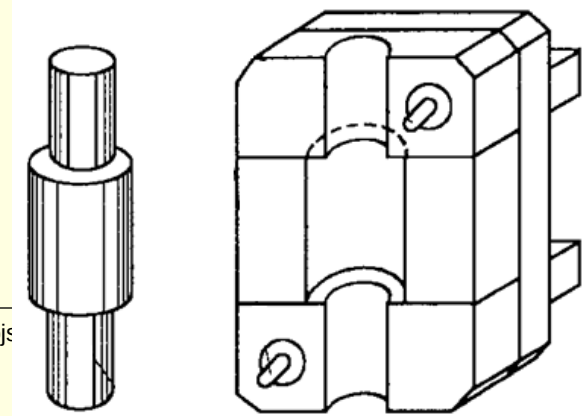
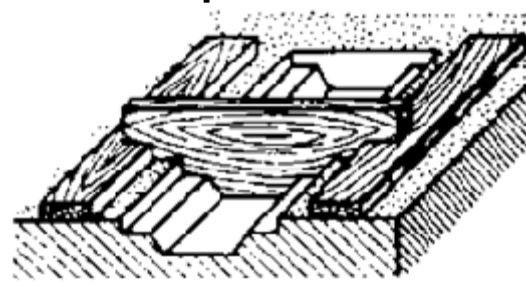
Modele **bezpośrednio** odtwarzające kształt odlewu: są to modele bezrdzeniowe (modele naturalne), dzielone lub nie.



Modele **pośrednio** odtwarzające kształt odlewu wymagające stosowania skrzynek rdzeniowych (rdzennic).



Modele uproszczone.



MATERIAŁY FORMIERSKIE

Do wykonywania form służą **masy formierskie**, a rdzeni - **masy rdzeniarskie**.

Masy formierskie składają się z mieszaniny

- piasków kwarcowych 85-90% - odpowiedniej ziarnistości,
- gliny ogniotrwałej 5-10% - stanowiącej lepiszcze
- dodatków 2-6% - zwiększających spoistość masy: melasa, dekstryna, pokost
- wody 2-5%.

Masy formierskie dzielą się na: **przymodelowe** (świeże) i **wypełniające** (używane), do odlewania na sucho i mokro, naturalne i sztuczne.

Masy formierskie powinny charakteryzować się odpowiednią:

- **plastycznością** - zdolnością odtwarzania kształtów, zależną od ilości lepiszcza i wilgoci;
- **spoistością** - zdolność do przeciwstawiania się zewnętrznym obciążeniom;
- **przepuszczalnością** - zdolnością przepuszczania par i gazów tworzących się podczas wypełniania formy metalem,
- **podatnością** - zdolnością do zmiany kształtu pod wpływem skurczu odlewu;
- **ognioodpornością** - odpornością na działanie wysokich temperatur.

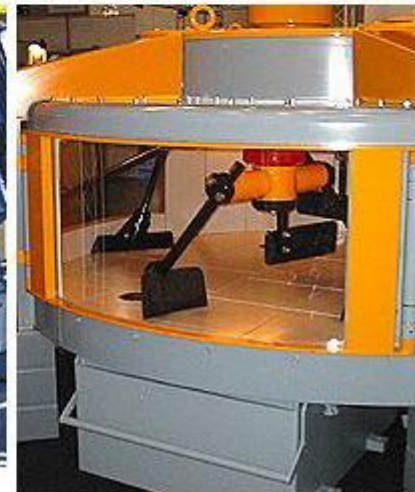
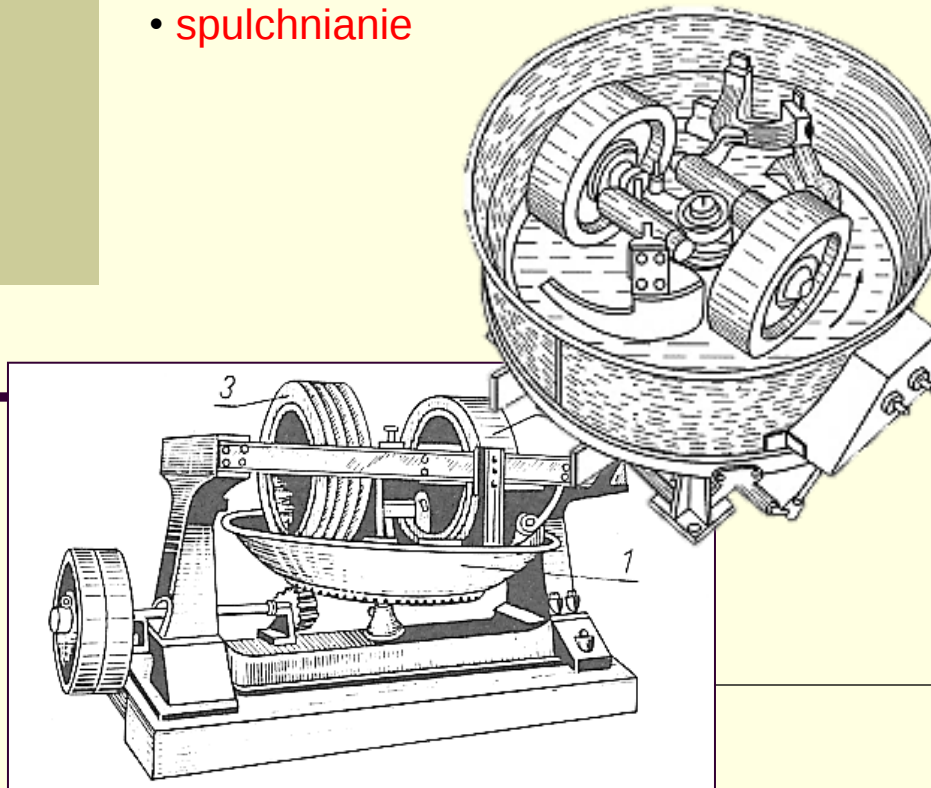
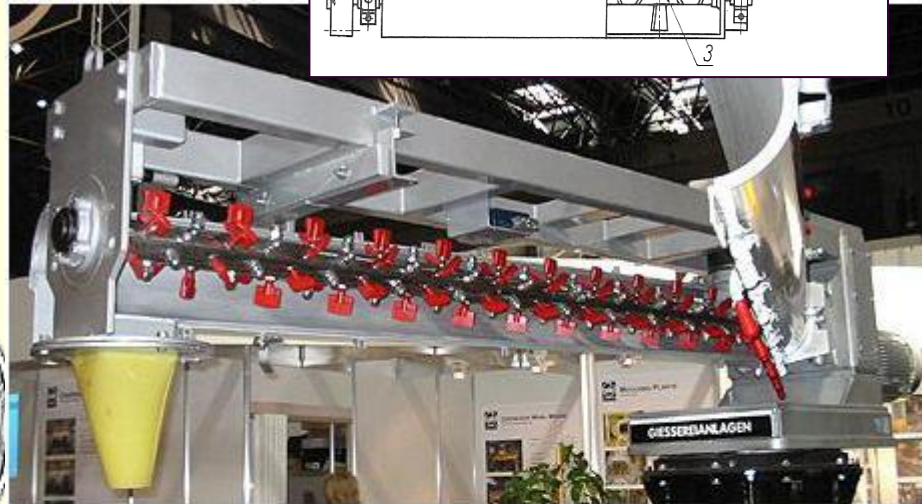
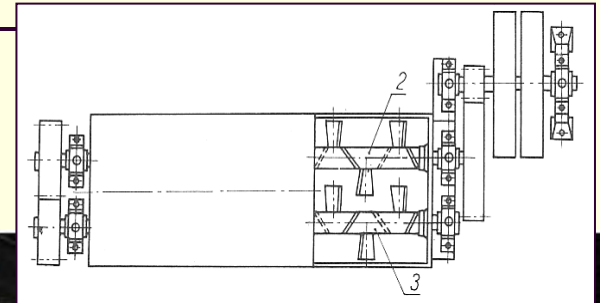
Masy rdzeniarskie muszą się cechować wyższą wytrzymałością i przepuszczalnością niż masy formierskie, co związane jest ze stosowaniem odpowiedniego lepiszcza.

Pomocnicze materiały formierskie: lepiszcza, dodatki (pył węglowy, grafit, mączka kwarcowa, pył siarkowy), proszki rozdzielcze (pył kwarcowy, kreda, talk).

MASZYNY FORMIERSKIE

Przygotowanie mas formierskich przeprowadza się na specjalnych urządzeniach i obejmują one takie czynności jak:

- suszenie
- rozdrabnianie
- przesiewanie
- mieszanie i nawilżanie
- spulchnianie



NARZĘDZIA I PRZYRZĄDY FORMIERSKIE

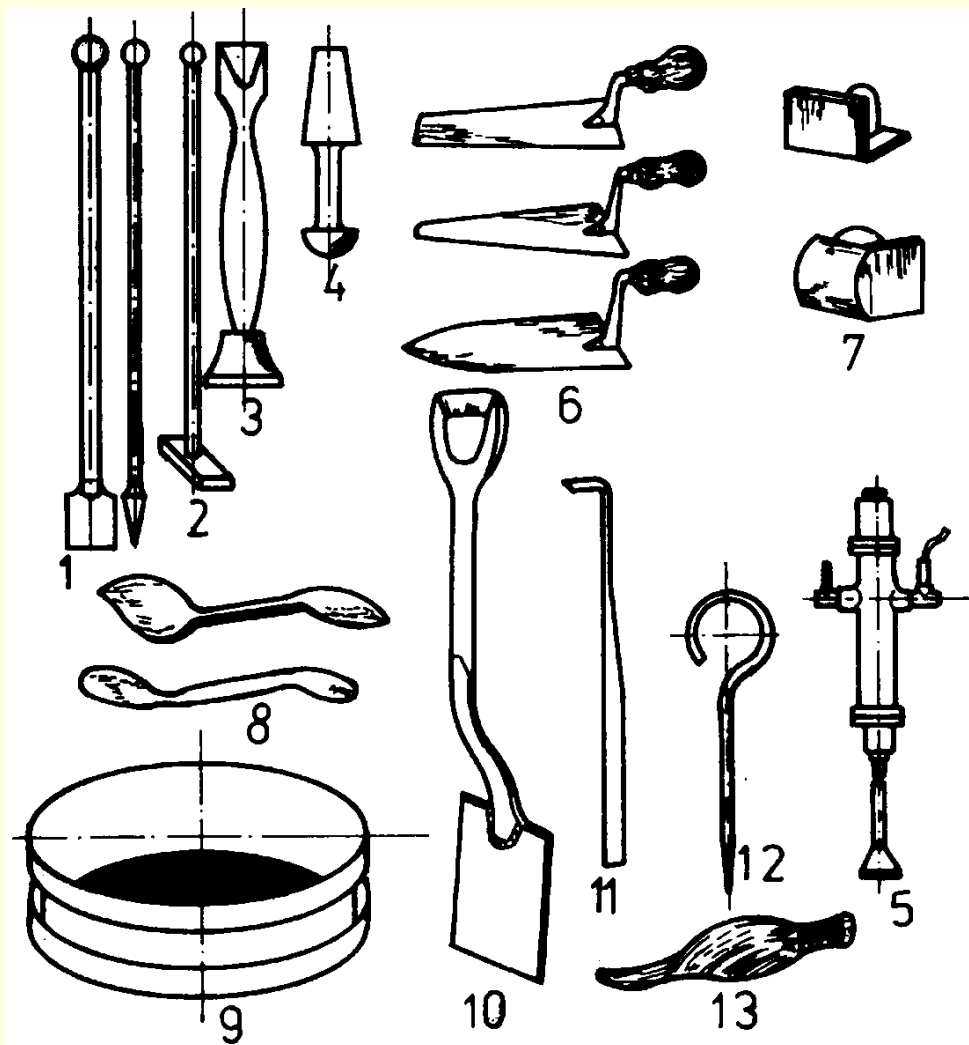
Oprządkowaniem modelowym nazywa się przyrządy, za pomocą których odtwarza się wnękę formy odlewniczej:

- modele
- płyty modelowe
- rdzennice

Do ręcznego wykonywania formy służą specjalne **narzędzia formierskie**:

- do zaformowania modelu w skrzynce lub w podłożu odlewni,
- do wyjmowania modelu, naprawiania i ostatecznego wykończenia formy.

1,2 - ubijaki duże, 3,4 - ubijaki małe, 5 - ubijak pneumatyczny, 6 - gładziki płaskie, 7 - gładziki krawędziowe, 8 - jaszczurki, 9 - sito, 10 - łopata, 11 - lancet z haczykiem, 12 - haczyk do wyjmowania modelu, 13 - pędzel

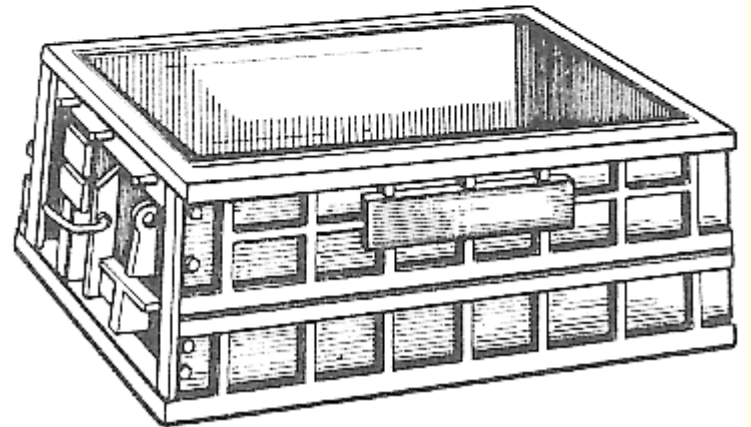
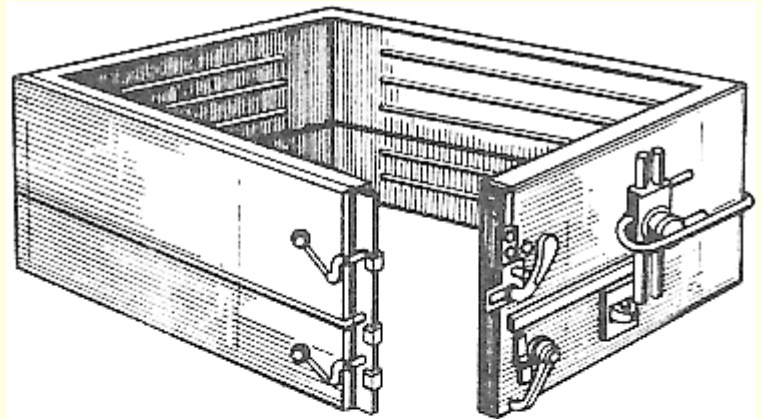


FORMY

Formy dzielimy na:

- jednorazowe - wykonywane najczęściej z piasku
- półtrwale - wykonywane z materiałów ceramicznych (grafit, szamot), służą do kilkukrotnego użytku
- trwale (kokile) – formy wykonywane z metali, wnętrza często pokryta jest napyłoną cienką niemetaliczną warstwą izolującą, służą do wielokrotnego użytku (kilka, kilkanaście tysięcy cykli).

Większości odlewów wykonuje się **w skrzynkach formierskich**. Stanowią one rodzaj sztywnych ram, sporządzonych najczęściej z żeliwa, blachy stalowej, lekkich stopów, tworzyw sztucznych. Skrzynki te wypełnia się masą formierską.

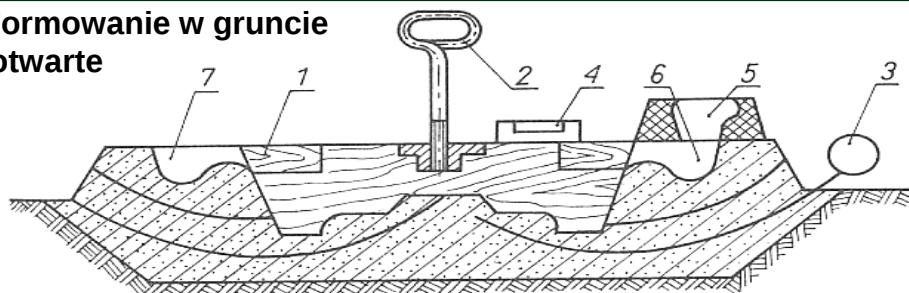


FORMOWANIE RĘCZNE

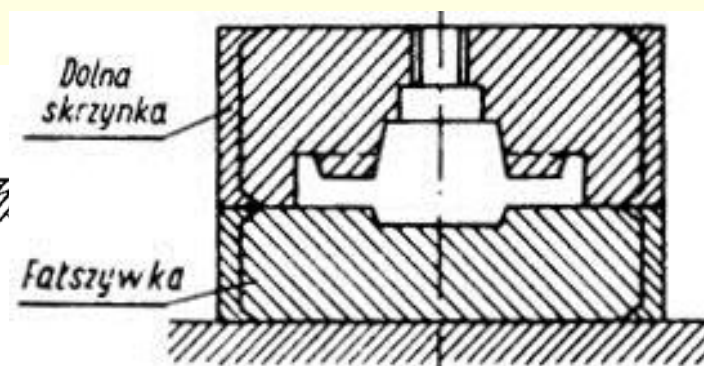
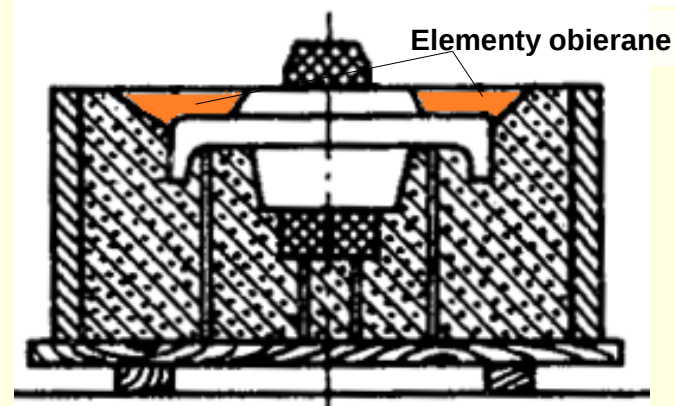
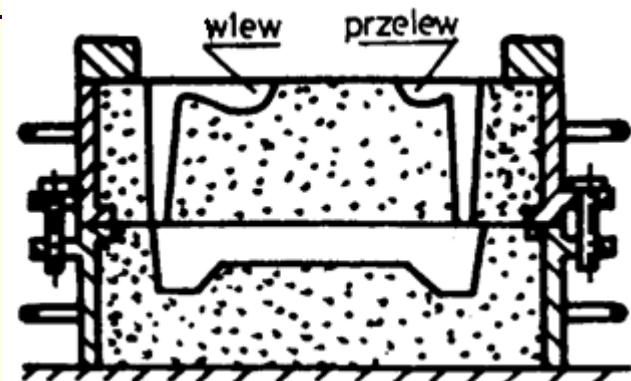
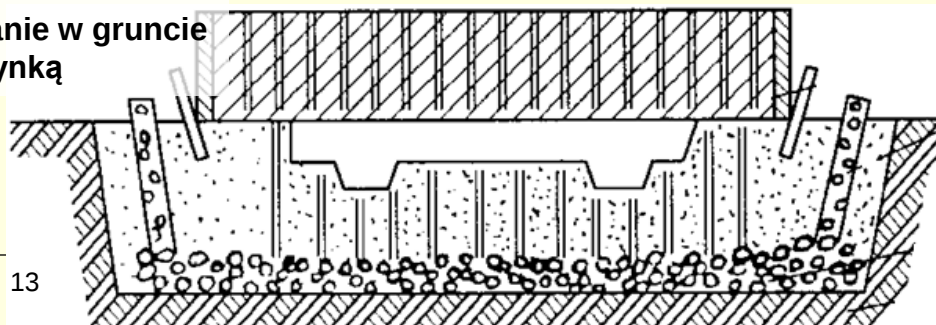
Formowanie ręczne obejmuje:

- formowanie w gruncie,
- formowanie w skrzynkach,
- formowanie z modelu niedzielnego,
- formowanie z modelu dzielonego,
- formowanie z obieraniem,
- formowanie z modelu z częściami odejmowanymi,
- formowanie na fałszywce
- formowanie z wzornikiem.

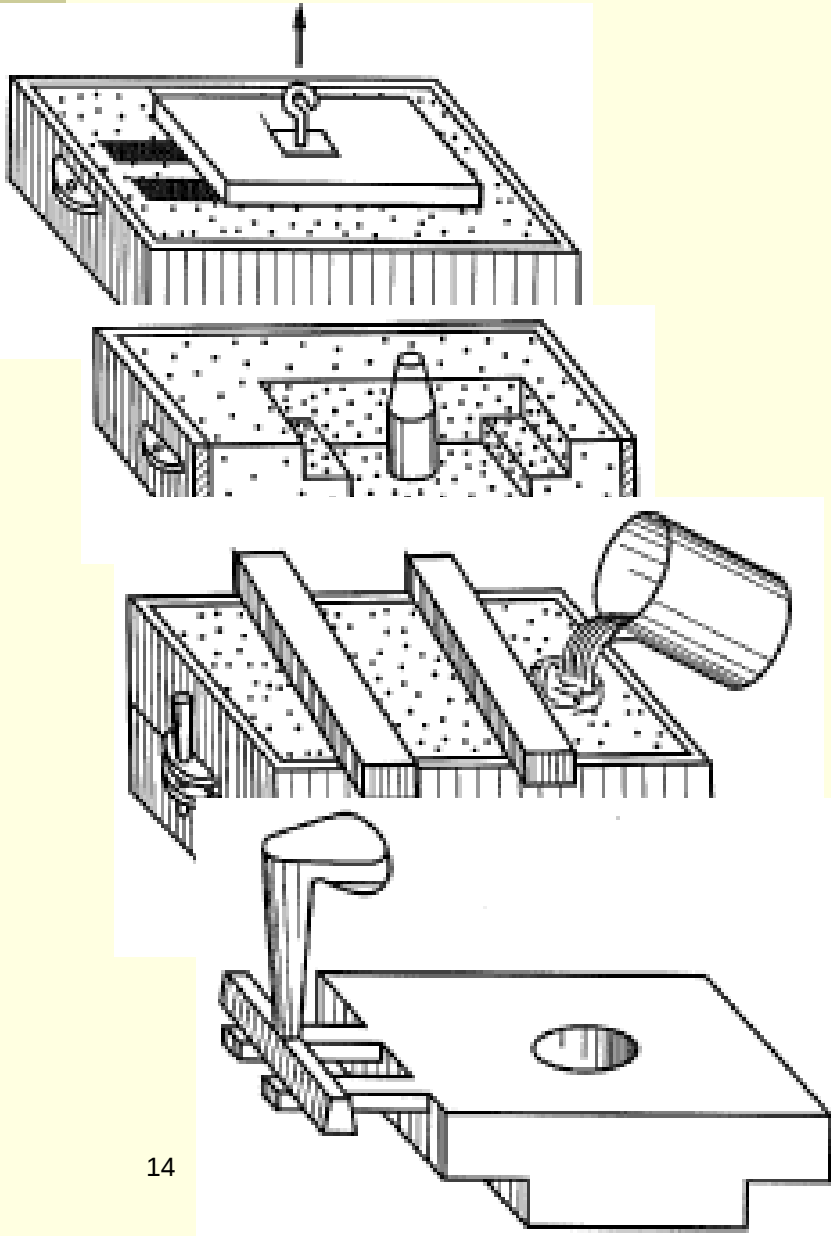
Formowanie w gruncie
otwarte



Formowanie w gruncie
pod skrzynką



FORMOWANIE RĘCZNE

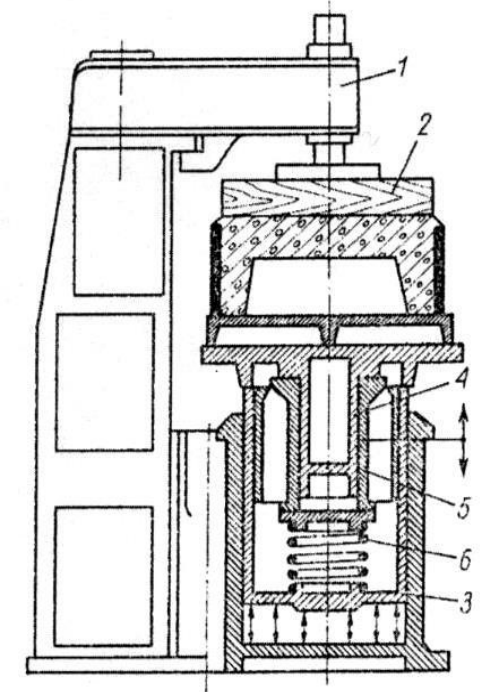
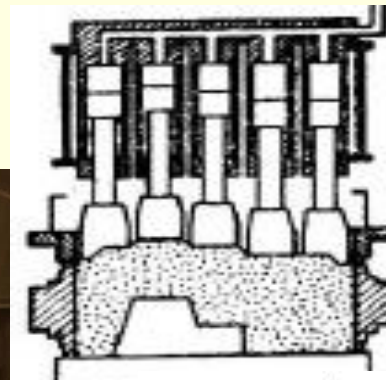


1. Ustawienie modelu na płycie
2. Nałożenie dolnej skrzynki formierskiej
3. Nakładanie masy przymodelowej (30-50mm)
4. Napęlnienie skrzynki masą wypełniającą
5. Ubijanie masy w skrzynce
6. Zgarnięcie nadmiaru masy zagęszczonej
7. Kanały odpowietrzające przez nakłuwanie
8. Obrócenie dolnej połowy formy, ustawienie górnego znaku rdzeniowego i elementów układu wlewowego
9. Ustawienie górnej skrzynki formierskiej
10. Wypełnienie masą górnej skrzynki
11. Zdjęcie górnej połowy formy, obrócenie o 180° i kontrola twardości
12. Wstawienie rdzenia do dolnej części formy
13. Montaż formy, jej obciążenie i zalanie ciekłym stopem
14. Wybicie surowego odlewu

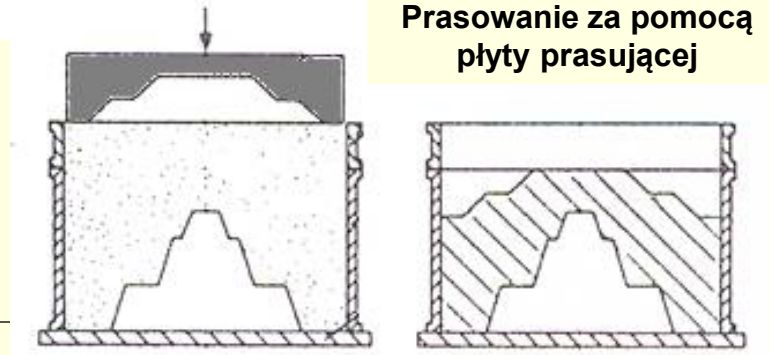
FORMOWANIE MASZYNOWE

Formowanie maszynowe przeprowadzane jest na maszynach formierkach, służących do mechanicznego zagęszczania masy i wyjmowania modelu z formy. Dzielimy je na formierki:

- Z **ręcznym ubijaniem** masy,
- **Prasujące** lub **doprasowujące** – stosowane prawie wyłącznie do form małych i średnich. Skrzynkę wypełnioną masą formierską po brzegi ramki nastawczej dociskamy płytą prasującą za pomocą sprężonego powietrza.

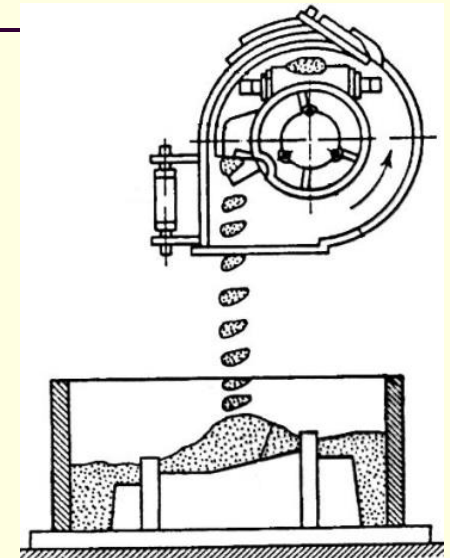
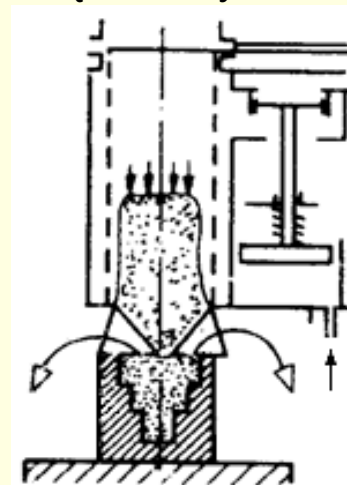
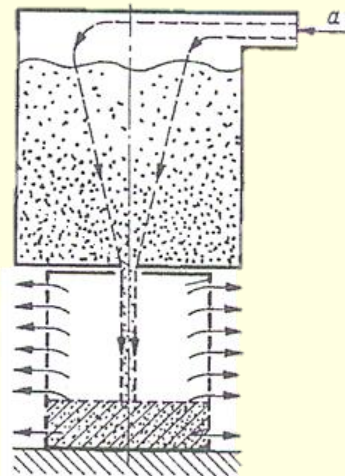
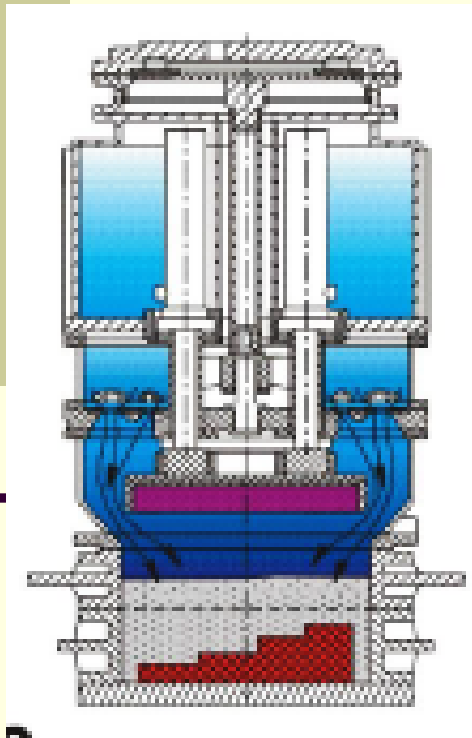


Prasowanie za pomocą
płyty prasującej



FORMOWANIE MASZYNOWE

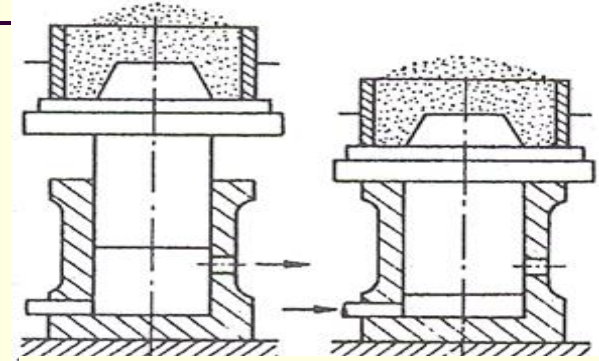
- **Narzucarki** - metoda łączy wypełnianie formy i zagęszczania masy. Polega na narzucaniu małych porcji masy z dużą prędkością (30m/s). Przeznaczona do form dużych i bardzo dużych o średnim stopniu skomplikowania wnętrza formy.



- **Nadmuchiwarki i strzelarki** – stosowane prawie wyłącznie do rdzeni małych i średnich oraz wstępnego zagęszczania form. Masa rdzeniowa jest porywana i zagęszczania pod wpływem dużej prędkości strumienia masy ciśnieniowej (0.4-0.5 MPa) wywołanej przez gwałtowne spalanie mieszanki gazów palnych lub pod wpływem sprężonego powietrza, (0.4-0.6 MPa), które działa jak tłok.

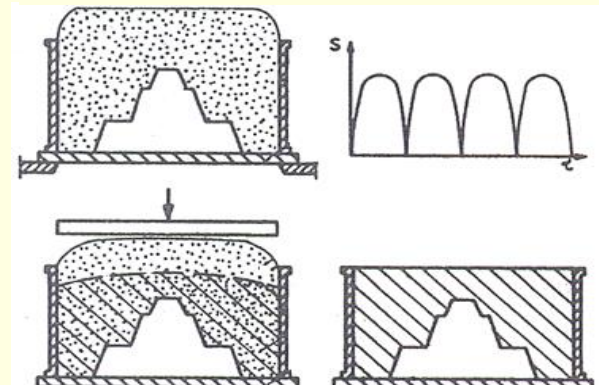
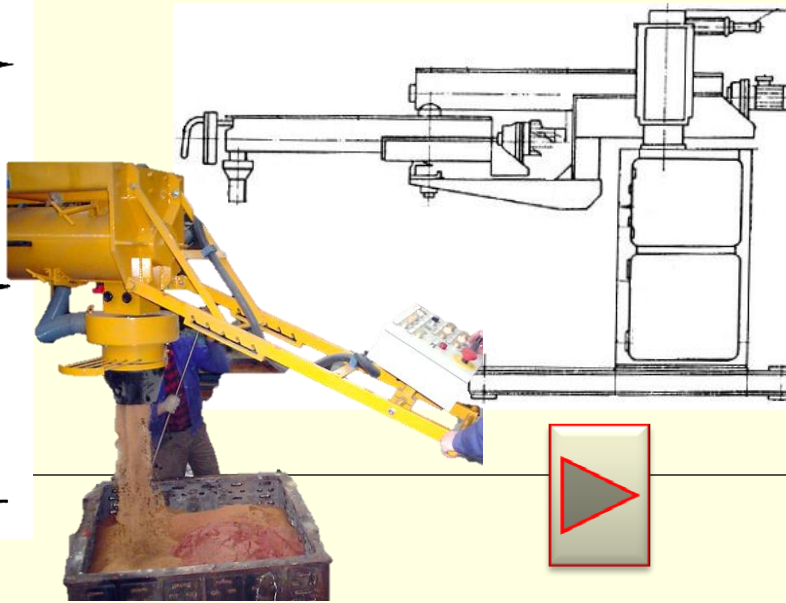
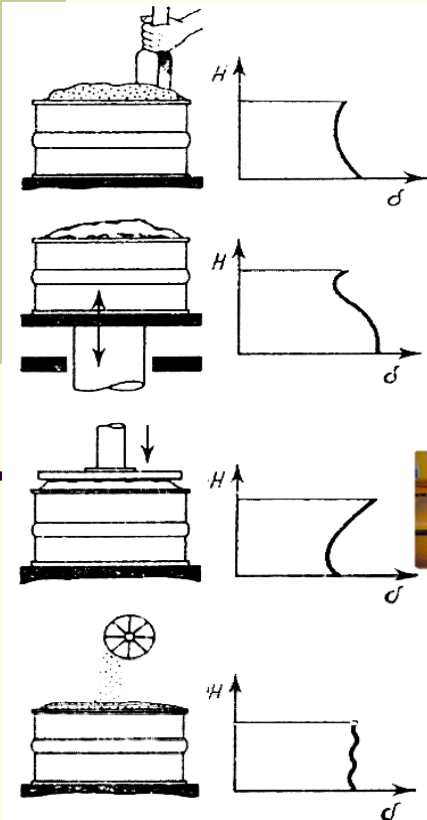
FORMOWANIE MASZYNOWE

- **Wibracyjne** - wykorzystuje się drgania o częstotliwości 60-100 Hz i amplitudzie 0.5-0.7 mm; czas zagęszczania około 10s. Przeznaczona do zagęszczania form średnich i dużych o masach sypkich lub ciekłych.

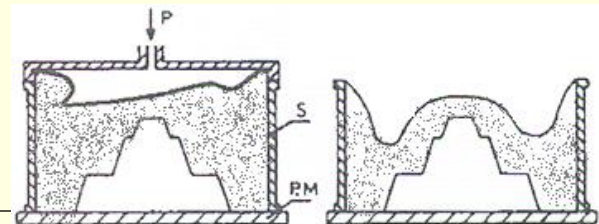


Schemat działania wstrząsarki pneumatycznej

- **Mieszarko-nasypywarki** – stosowane do rdzeni, a także form średnich i dużych. Ślimakowe mieszadło dozuje do skrzynki masę formierską, którą należy dogęścić ręcznie lub wibracyjnie.



Zagęszczanie przez wstrząsanie z doprasowaniem



Prasowanie za pomocą elastycznej przepony

Przygotowanie ciekłego metalu i zalewanie form

Tworzywa odlewnicze - jednymi z najistotniejszych wymagań, obok określonych właściwości eksploatacyjnych, jest zdolność płynięcia, wypełniania i odwzorowywania wnętrza formy odlewniczej (lejność) przez płynny metal.

Tworzywa odlewnicze dzielimy na **stopy żelaza** oraz **stopy metali nieżelaznych** takich jak: stopy Mg, Al, Ti, Cu, Ni, Co, Zn, Pb.

Staliwo – techniczny stop żelaza zawierający do ok. 2% C oraz innymi pierwiastkami, odlany do form, nie przerobiony plastycznie.

Staliwa niestopowe – zwykłej i wyższej jakości, $R_m = 400-550 \text{ MPa}$, 0.25% C, 1-1.5% Mn, 0.6% Si, $P \leq 0.035$, $S \leq 0.035$, $Ni + Cr + Cu + Mo + V \leq 1\%$

Staliwa stopowe

- konstrukcyjne (~1.5% Cr, Mn) - stosowane na silnie obciążone odlewy, dobra wytrzymałość i plastyczność oraz znaczną odporność na zmienne obciążenia
- odporne na ścieranie (~6.5% Cr, Mn) - s. Hadfielda
- odporne na korozję (~25% Cr, ~31% Ni, Mo, Cu)
- żaroodporne i żarowytrzymałe - odporne jest na utlenianie w $\uparrow$ temperaturach oraz dużą wartość właściwości mechanicznych (~30% Cr, ~40% Ni, ~2.5% Si)
- narzędziowe (Cr, Ni, Mo, V)



ŻELIWO

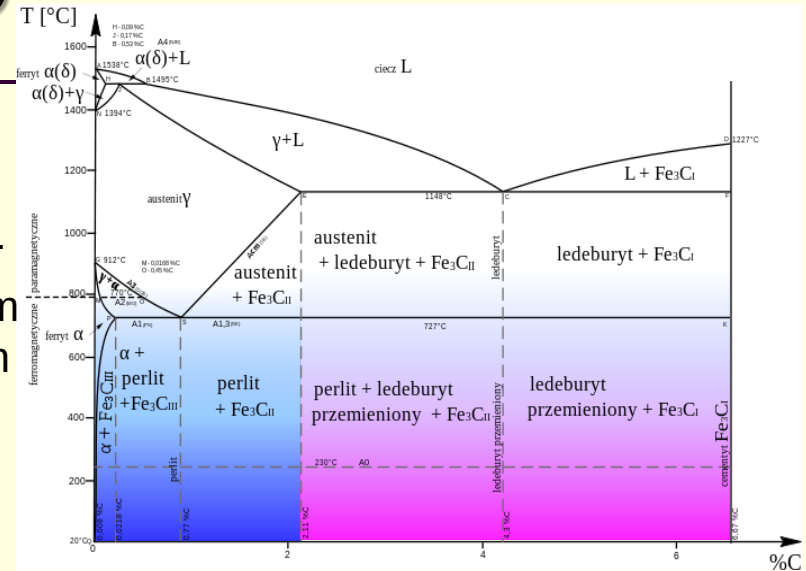
Żeliwo – stop żelaza z węglem i z innymi pierwiastkami jak Mn, Si, P, S o zawartości węgla 2-6.67% stosowany w postaci odlewów.

Żeliwo szare - grafit w postaci płatkowej, Rm
~270 MPa, 3.2÷3.5% C, ~2.2% Si, ~1.2% Mn

Modyfikowane – węgiel żarzenia

Sferoidalne – grafit kulkowy

Wermikularne – grafit krętkowy



Żeliwo białe – węgiel w postaci związanej Fe_3C
Ciągliwe - plastyczne, wydłużenie do 12%.

Żeliwo połowiczne (pstre) – węgiel w postaci cementytu i grafitu.

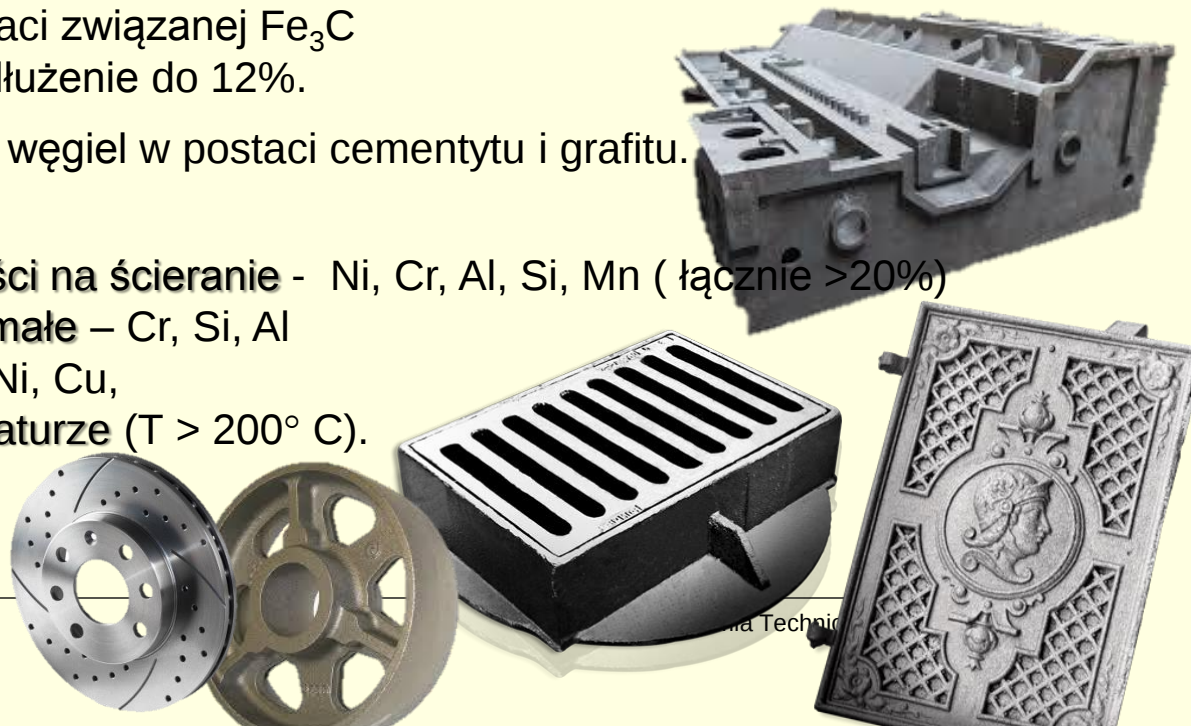
Želiwa stopowe

O podwyższonej odporności na ścieranie - Ni, Cr, Al, Si, Mn (łącznie >20%)

Żaroodporne i żarowytrzymałe – Cr, Si, Al

Odporne na korozję – Si, Ni, Cu,

Do pracy w niskiej temperaturze ($T > 200^{\circ}\text{C}$).



NIEŻELAZNE STOPY ODLEWNICZE

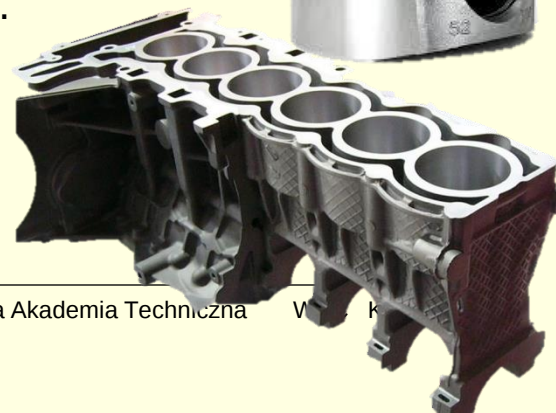
Brązy – to odlewnicze stopy **Cu** zawierające powyżej 2% Zn oraz innymi pierwiastkami (Al, Si, Be, Ni, Mn, Pb).

- **Cynowe** – na silnie obciążone i narażone na ścieranie elementy maszyn (spiż),
- **Aluminiowe** – dobra odporność korozyjna – śruby okrętowe,
- **Krzemowe** – nie iskrzą – narzędzia w przemyśle petrochemicznym,
- **Ołowiowe** – b. mały współczynnik tarcia - panewki łożysk ślizgowych,
- **Berylowe** – b. wysoka wytrzymałość ($R_m = 1200 \text{ MPa}$, $A = 25\%$).

Mosiądze – stopami odlewniczymi są tylko stopy wielofazowe (**Cu**: ~50% Zn, ~18%Al, 2% Pb, Mn, Fe), ze względu na dobrą odporność korozyjną stosowane są na odlewy armatury i w przemyśle okrętowym.

Siluminy – to odlewnicze stopy **Al** zawierające 11-14% Si oraz 5-25% innych pierwiastków stopowych, głównie Si, Cu, Mg i Ni. Mają doskonałe właściwości odlewnicze i mechaniczne. Najczęściej odlewane w kokilach i pod ciśnieniem.

Elektron – to odlewniczy stopy **Mg** z 3-11% Al, 5% Zn oraz 0.5% Mn. Charakteryzuje się on bardzo wysoką wytrzymałością (~210MPa) przy gęstości ok. 2 g/cm^3 . Stosowany na części lotnicze i silniki wyczynowe.

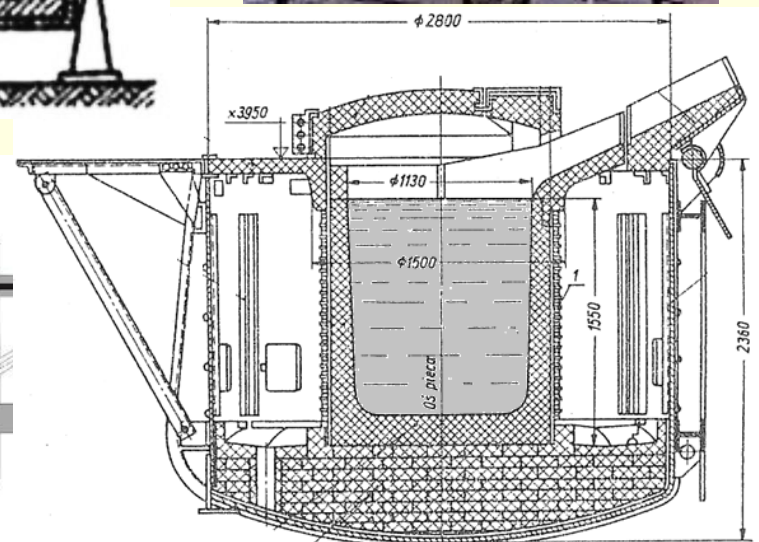
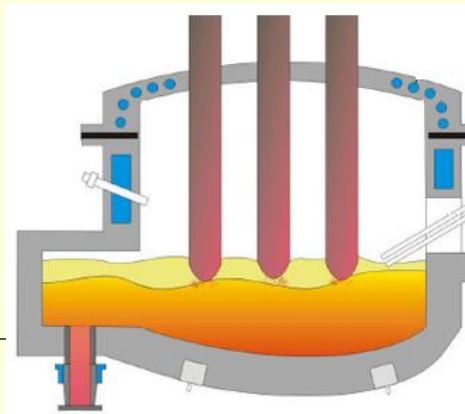
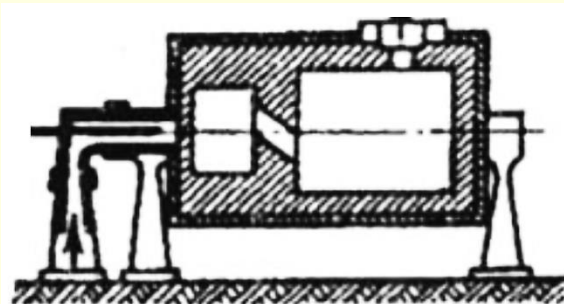
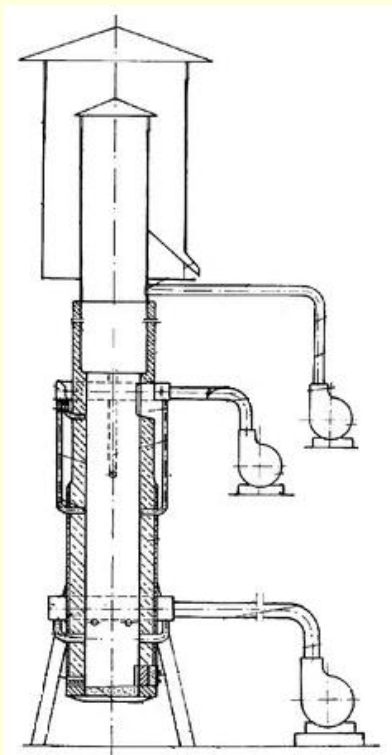


PIECE ODLEWNICZE

Rozróżnia się następujące rodzaje pieców:

- szybowe,
- tyglowe,
- płomieniowe,
- elektryczne: oporowe, łukowe i indukcyjne

Jako źródło ciepła wykorzystuje się koks, pył węglowy, gaz opałowy, mazut lub prąd elektryczny.



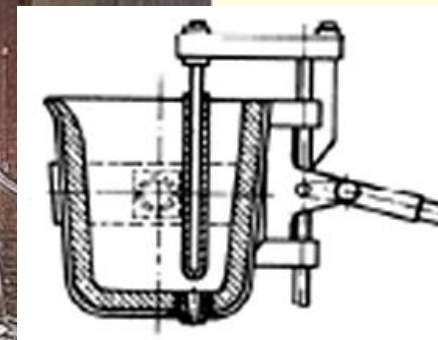
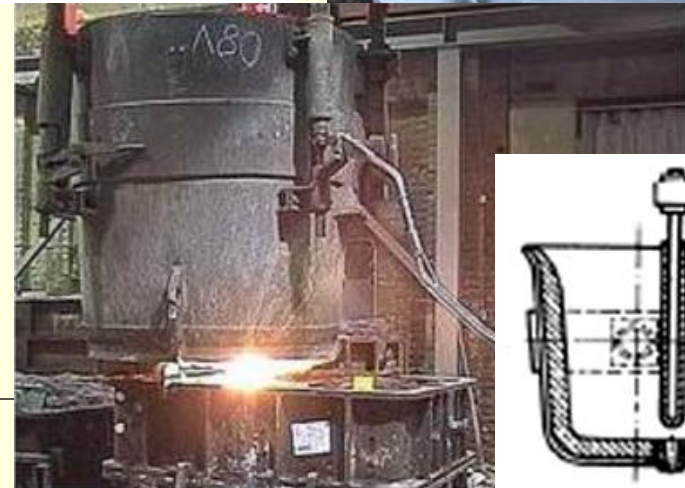
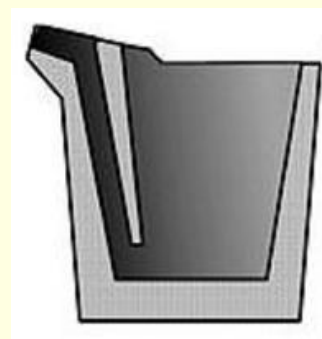
Piec tyglowy

KADZIE ODLEWNICZE

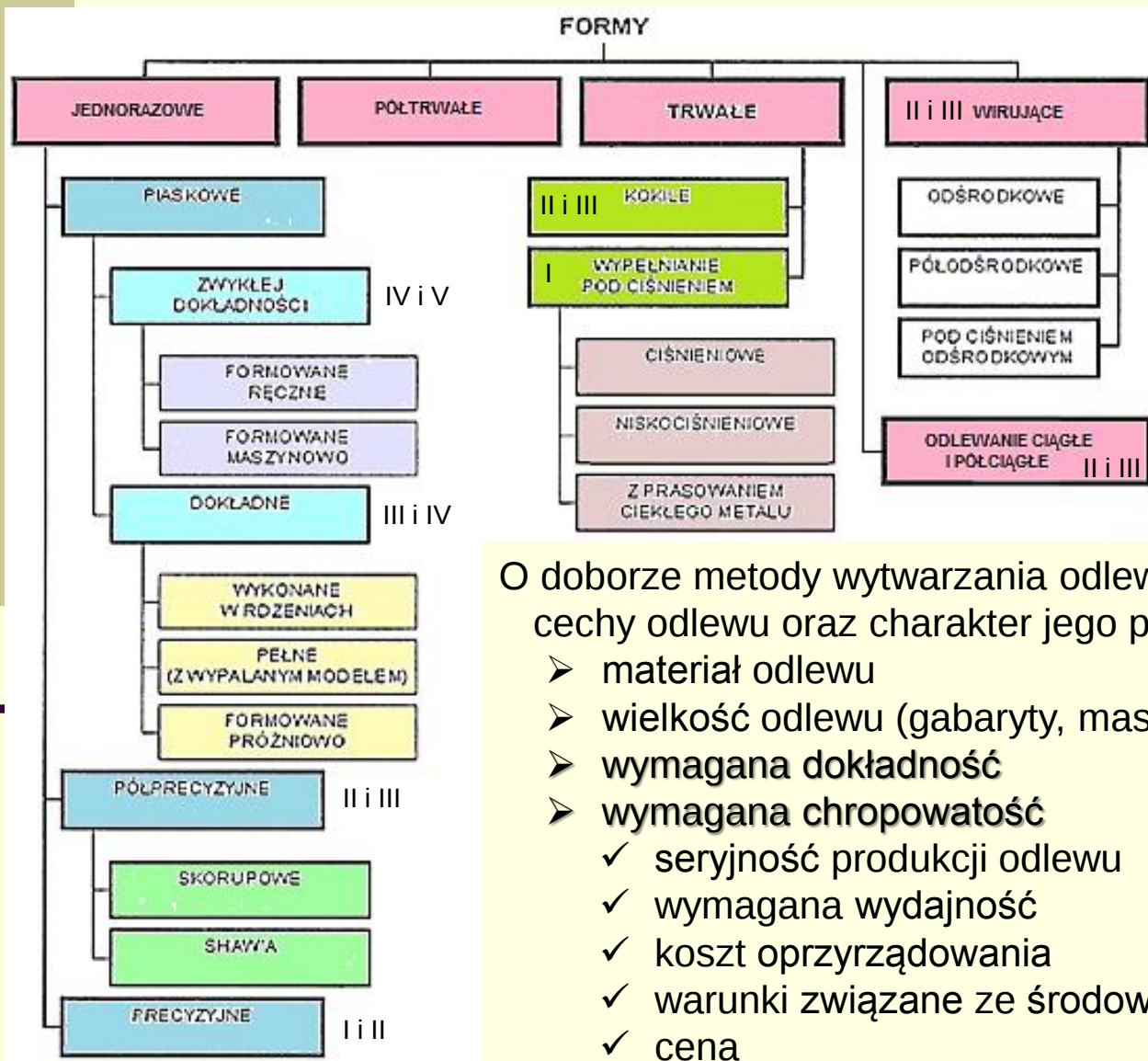


Kadzie odlewnicze:

- a) łyżka odlewnicza,
- b) kadź z widłami,
- c) kadź suwnicowa otwarta,
- d) kadź suwnicowa zamknięta,
- e) kadź przechylna z przegrodą,
- f) kadź syfonowa (czajnikowa),
- g) kadź zatyczkowa



Specjalne metody odlewania



Klasa dokładności	Odchyłka [mm]	Klasa chrop. Ra [μm]
I	±0.1-0.4	1.6-25
II i III	±0.3-0.4	6.3-50
III i IV	±0.4-1.2	12.5-100
IV i V	±0.7-2	50-200

O doborze metody wytwarzania odlewu decydują cechy odlewu oraz charakter jego produkcji:

- materiał odlewu
- wielkość odlewu (gabaryty, masa)
- wymagana dokładność
- wymagana chropowatość
- ✓ seryjność produkcji odlewu
- ✓ wymagana wydajność
- ✓ koszt oprzyrządowania
- ✓ warunki związane ze środowiskiem pracy i otoczenia
- ✓ cena

ODLEWANIE DO FORM PIASKOWYCH

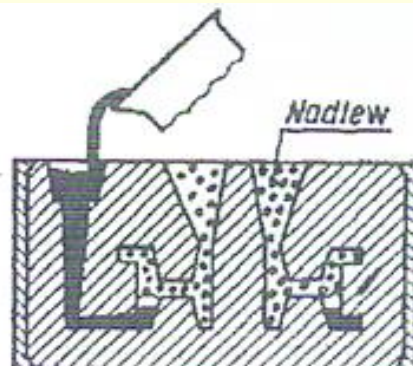
Formy piaskowe to formy jednorazowe wykonywane z masy formierskiej. Po zalaniu metalem i jego skrzepnięciu, forma jest niszczona w celu usunięcia z niej odlewu. III, IV i V klasa **dokładności** wykonania odlewów.

Formy piaskowe dokładne

Formowanie w rdzeniach - do wykonywania odlewów o bardzo skomplikowanych kształtach.

Formowanie próżniowe - polega na wiązaniu ziaren czystego piasku za pomocą sił wywołanych stanem trójosiowego ściskania, który powstaje w wyniku różnicy ciśnień - atmosferycznego i obniżonego.

Metoda pełnej formy (Lost Foam) - po wykonaniu modelu ze spienionego polistyrenu (styropianu) pokrywa się go powłoką ochronną i umieszcza w skrzynce, gdzie obsypuje się go masą samoutwardzalną lub suchym piaskiem pozbawionym lepiszcza i zagęszcza vibracyjnie. Podczas zalewania styropianowy model ulega stopieniu a następnie zagazowaniu, natomiast metal wypełnia wnękę.



ademia



ODLEWANIE DO FORM SKORUPOWYCH

Formowanie skorupowe jest prostą i szybką odmianą odlewania w formie piaskowej. Stosowane do produkcji seryjnej i masowej form i rdzeni odlewów małych i średnich, o wysokich wymaganiach wymiarowych i dobrej gładkości powierzchni. **II i III klasa dokładności** wykonania odlewów.

Masa formierska:

- czysty, płukany i drobnoziarnisty piasek kwarcowy,
- 4-8% sproszkowanej nowolakowej żywicy fenolowej,
- 10-12% w stosunku do żywicy urotropiny jako utwardzacza,
- 0,1% nafty jako środka powodującego lepsze rozprowadzenie żywicy.

Masa formierska jest mieszaniną, której utwardzenie zachodzi pod wpływem temperatury.

Zalety metody to:

- możliwość zastosowania do wszystkich stopów odlewniczych,
- możliwość wykonania odlewu cienkościennego
- duża gładkość powierzchni formy,
- duża dokładność wykonania.

Wady:

- wysoki koszt materiałów formierskich,
- skomplikowane i drogie maszyny do formowania,
- ograniczona masa odlewu do 100kg.



FORMY SKORUPOWE

Formy składają się z dwóch lub więcej części (skorup) o grubości nieprzekraczającej 6-10mm, wykonanych z piasku kwarcowego otoczonego żywicą termoutwardzalną.

- Masę nasypuje się na podgrzaną (ok. 220-280 °C) płytę modelową.
- Żywica topi się i spaja ziarna piasku.
- Obracamy płytę o 180° i usuwamy nadmiar piasku.
- Utwardzamy warstwę masy 350 °C.
- Łączymy z innymi skorupami.
- Obsypujemy dodatkowo pisakiem.
- Zalewamy metalem.

Proces Croninga

