

ĆWICZENIE 18

Zmiany wymiarowe wnętrza formy piaskowej

1. Cel ćwiczenia

W opracowaniu omówiono wybrane zjawiska fizyczne, występujące w ośrodkach rozdrobnionych spoistych i omówiono ich wpływ na zmiany wymiarowe wnętrza formy piaskowej, kształtowanej metodą prasowania statycznego przy użyciu dużych nacisków jednostkowych.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z mechaniką zagęszczania masy, odkształceniami sprężystymi masy i problemami oddzielania układu model-forma.

Ćwiczenie powinno uzmysłwić fakt, że masa zagęszczana metodą prasowania, bez zastosowania płyty prasującej profilowej lub głowicy wielotłokowej, powoduje wystąpienie w masie niejednorodnego rozkładu naprężeń i gęstości, co może powodować i na ogół powoduje jej deformację przy złożonym kształcie wnętrza.

2. Wprowadzenie

Korzystnym sposobem zagęszczania form piaskowych jest sposób formowania maszynowego – prasowanie przy użyciu statycznych nacisków jednostkowych. Naciski wywierane przez płytę prasującą wynoszą od 0,8 MPa do 2,5 MPa (nawet do 4 MPa). Pozwala to na osiągnięcie znacznego stopnia zagęszczenia masy w formie, uzyskuje się gęstość pozorną masy $\rho_o \geq 1,6 \text{ g/cm}^3$.

Formy o dużym stopniu zagęszczenia masy charakteryzują się zwiększoną odpornością wnętrza formy na deformacje spowodowane parciem ciekłego metalu a duże zagęszczenie masy w formie powodując ściśle upakowanie ziaren piasku utrudnia przenikanie ciekłego metalu w materiał formy (otwory kapilarne), co powoduje zmniejszenie chropowatości powierzchni odlewów.

Proces prasowania pod wysokimi naciskami (stosowany jako samodzielna metoda zagęszczania masy formierskiej) ma ograniczony zakres stosowania do wytwarzania form o prostych i płtykich wnętkach, jest stosowany do zagęszczania masy w komorach automatów formierskich wykonujących formy bezskrzynkowe. W przypadku badań laboratoryjnych stwarza on możliwość teoretycznego ujęcia zjawisk zachodzących przy zagęszczaniu. Wśród metod mechanicznego wykonywania form można wymienić proces wstrzeliwania masy formierskiej z doprasowaniem, zagęszczanie masy we wstrząsarkach z doprasowaniem, formowanie eksplozyjne, formowanie impulsem sprężonego powietrza, zagęszczanie impulsowe.

Stopień zagęszczenia masy w formie jest ważnym parametrem technicznym decydującym o powstaniu dobrego odlewu bez wad. Zależy on od wielkości ciśnienia wywieranego na masę w formie, właściwości materiałów formierskich, kształtu modeli oraz wstępnego stopnia zagęszczenia masy w formie. Masa stosowana do formowania pod wysokimi naciskami powinna charakteryzować się m. in. dużą płynnością i małą zawartością wody. Duże znaczenie mają również zagadnienia tarcia wewnętrznego w masie, tarcia zewnętrznego oraz odkształcenia sprężyste masy, powodujące paczenie się wnętrza formy i występowanie dużych oporów przy

oddzielaniu modelu. Omówione zjawiska wpływają na uzyskanie poprawnego rozkładu zagęszczenia masy w formie.

Należy zauważyć, że uzyskany stopień i równomierność zagęszczenia masy w formie jest wynikiem oddziaływań trudnej do określenia liczby parametrów w warunkach wzajemnych korelacji. Uwzględnienie wszystkich zależności, które czynią zagęszczanie pod wysokimi naciskami procesem o złożonej naturze fizycznej jest możliwe przy zastosowaniu systemów uczących się (np. sztucznych sieci neuronowych). Takie systemy w sposób automatyczny doskonalą swoje działanie poprzez analizę wyników doświadczenia (np. przebiegu procesu) i nabywanie wiedzy na tej podstawie.

3. Czynniki wpływające na jakość formy

Bezpośredni wpływ na stabilność procesu odlewania, na odchyłki wymiarów formy, jej jakość oraz na dokładność wymiarową odlewu mają następujące czynniki technologiczne:

- a) Oprzyrządowanie modelowe – jego dokładność, stabilność wymiarowa, mała przyczepność masy i duża odporność na zużycie;
- b) Skład, sposób przygotowania i właściwości masy – wytrzymałość na ściskanie, ścinanie i rozciąganie, płynność, osypliwłość i odporność na promieniowanie cieplne (wymagane właściwości mas można uzyskać dzięki zastosowaniu optymalnego stosunku wodno – glinowego wynoszącego 0,3 – 0,5);
- c) Sposób wykonania formy i rdzeni oraz montażu formy - ze względu na dokładność wymiarowego odwzorowania modelu przez wnękę formy szczególnie istotne są następujące czynności: prasowanie masy, odciążenie masy, oddzielenie modelu od formy (czynnościom tym towarzyszą zjawiska fizyczne powodujące zmiany wymiarowe wnętrza formy w porównaniu z wymiarami modelu);
- d) Zalewanie formy i stygnięcie odlewów - przyczyną zmian wymiarowych wnętrza formy jest rozepchnięcie wnętrza formy (spowodowane parciem ciekłego metalu, zmianami rozkładu wilgotności w formie oraz zmianami objętościowymi stygnącego i krzepnącego metalu);
- e) Obróbka cieplna odlewu.

4. Błędy odwzorowania wnętrza prasowanej formy piaskowej Stan naprężeń w zagęszczonej masie

Podstawowym celem zagęszczenia masy jest:

- a) dokładne odwzorowanie kształtu i wymiarów wnętrza formy odpowiadających kształtowi i wymiarom modelu,
- b) zapewnienie odpowiedniej odporności wnętrza formy na parcie ciekłego metalu przy zachowaniu możliwie dużej przepuszczalności masy.

Pod wpływem statycznego nacisku płyty prasującej masa w skrzynce ulega przemieszczeniu z równoczesnym jej odkształceniem trwałym (plastycznym) – objętościowym i postaciowym oraz odkształceniem sprężystym. Prasowana masa przemieszcza się w kierunku pionowym, zgodnie z ruchem roboczym płyty prasującej i w kierunku do niego prostopadłym – poziomym. Początkowy etap prasowania to praktycznie tylko pionowe przemieszczenie cząstek masy, w wyniku tych pionowych przemieszczeń masa nad modelem (najniższy słup masy) najpierw uzyskuje

najwyższy stopień zagęszczenia i największy stan naprężeń ściskających, w porównaniu z masą z innych przestrzeni (wyższych jej słupów). Masa z przestrzeni nad modelem osiąga stan granicznej równowagi i przepływa do następnej przestrzeni formy. Proces kończy się z chwilą, kiedy suma oporów wewnętrznych w formie będzie miała wartość zewnętrznego nacisku prasowania.

Utrudnienia występujące przy zagęszczeniu:

- a) W pobliżu płyty prasującej i modelującej; poziomy ruch masy jest hamowany na skutek tarcia jej cząsteczek o powierzchnię tych płyt. Tworzą się stożki deformacji, czyli quasi sztywne obszary formy, w których masa przemieszcza się i zagęszcza w kierunku pionowym, a nie przemieszcza się lub przemieszcza się tylko w znikomym stopniu w kierunku poziomym. Masa zawarta w takim stożku deformacji nie wywiera parcia poziomego na ścianki skrzynki;
- b) Utrudnione jest także zagęszczanie formy w tzw. szczelinach formy, czyli w obszarach ograniczonych pionowymi ścianami modelu lub pionowymi ścianami modelu skrzyni, bardzo często występuje tylko jeden pionowy kierunek przemieszczenia masy zgodny z kierunkiem sił zagęszczających.

W wyniku trwałego odkształcenia masy, wyrażającego się zmianą objętości i postaci masy, następuje zmiana jej struktury: następuje zbliżenie ziaren osnowy i zmiana ich wzajemnego położenia. Doprowadza to do zmian strukturalnych masy, które są przyczyną wzrostu jej właściwości wytrzymałościowych i zmian właściwości technologicznych – wzrost gęstości pozornej, zmniejszenie przepuszczalności. Stan obciążenia zewnętrznego i wywołany nim stan naprężenia w rozpatrywanym ośrodku – masie, który powoduje początek zniszczenia danej postaci masy, nazywa się stanem granicznym.

Rozkład naprężeń ściskających w zagęszczonej masie, szczególnie w szczelinach formy jest nierównomierny. Opory tarcia wewnętrznego i zewnętrznego powodują, że wraz ze wzrostem odległości od płyty prasującej w kierunku jej ruchu roboczego, maleją naprężenia ściskające w masie. Zmniejszenie się pionowych i poziomych naprężeń powoduje nierównomierny, malejący rozkład parcia poziomego masy na pionowe powierzchnie skrzynek formierskich i modeli.

Rozważania analityczne i badania umożliwiły stwierdzenie, że nierównomierny rozkład naprężeń w formie występuje nie tylko wzdłuż jej wysokości, lecz również w jej przekroju poprzecznym. W procesach prasowania form wnekowych – z modelem – istotny wpływ na rozkład naprężeń w formie ma kształt płyty prasującej. Najgorszy rozkład nacisków jednostkowych a więc i zagęszczenia masy uzyskuje się przy zastosowaniu sztywnej i płaskiej płyty prasującej. Najbardziej równomierny rozkład jednostkowych nacisków uzyskujemy przy prasowaniu od góry płytą profilowaną lub głowicą wielotłokową.

Podsumowując, stopień i równomierność zagęszczenia masy w formie prasowanej przy użyciu dużych jednostkowych nacisków zależy od:

- właściwości masy formierskiej, głównie kąta tarcia wewnętrznego i spójności masy wynikającej z siły wiązań ziaren piasku i lepiszcza,
- jednostkowych nacisków prasowania i właściwego kształtu płyty prasującej,
- wymiarów i kształtu wnętrza formy,
- współczynnika tarcia zewnętrznego masy,
- wstępnego, równomiernego zagęszczenia masy w skrzynce podczas dozowania.

5. Zmiany wymiarowe wnętrza formy spowodowane odkształceniami sprężystymi masy

Kolejną ważną czynnością w procesie kształtowania wnętrza formy piaskowej metodą prasowania jest odciążanie masy. Etapowi temu towarzyszą zmiany wymiarowe wnętrza formy spowodowane odkształceniami sprężystymi masy. Odkształcenia sprężyste masy występują równocześnie z jej odkształceniami plastycznymi i charakteryzują się zwiększeniem objętości zagęszczonej masy z chwilą jej odciążenia. Odkształcenie plastyczne masy jest odkształceniem, które pozostaje w rozdrobnionym spoistym materiale po usunięciu obciążenia. Każdy materiał rozdrobniony taki jak masa formierska wykazuje odkształcenie trwałe od samego początku procesu obciążania. Jest to dowód na to, że masa formierska nie posiada wyraźnej granicy plastyczności, a odkształceniu plastycznemu towarzyszy zwiększenie jej gęstości pozornej.

Obciążając wielokrotnie tą samą próbkę masy do takiej samej wartości a następnie odciążając ją - odkształcenie plastyczne w kolejnych próbach maleje praktycznie do zera, a odkształcenie sprężyste masy pozostaje. Odkształcenia sprężyste masy spowodowane są odkształceniami sprężystymi ziaren piasku oraz odkształceniami przylegających do powłok materiałów wiązań i pozostałych składników. Występujące skutki odkształceń:

- a) zmiany wymiarowe wnętrza form po oddzieleniu od modelu i wynikające stąd zmniejszenie dokładności wymiarowej odlewów;
- b) naruszenie spójności powierzchniowych warstw wnętrza form, prowadzące do zwiększenia chropowatości odlewów;
- c) wypaczanie lub pękanie form w złożonych kształtach, spowodowane różnicowanymi wartościami odkształceń;
- d) obniżenie wytrzymałości masy, spowodowane rozrywaniem mostków wiążących ziarna.

Wartość odkształceń sprężystych zależy od:

- a) wartości jednostkowych nacisków prasujących, przy czym zależność odkształceń sprężystych od jednostkowego nacisku prasowania jest nieliniowa;
- b) wymiarów geometrycznych formy lub wysokości słupa masy wyrażonych stosunkiem do średnicy próbki.

Skład masy, ziarnistość piasku, zawartość betonu, zawartość wody nie wpływają lub wpływają w niewielkim tylko stopniu na odkształcenia sprężyste.

Wnioski poczynione przez niektórych autorów dowodzą, że zmiany wymiarowe wnętrza form spowodowane odkształceniami sprężystymi masy różnią się od stwierdzonych w badaniach laboratoryjnych. Wynika to głównie ze stopnia złożoności wnętrza formy, zróżnicowania słupów masy, niejednorodnego stanu zagęszczenia masy wzdłuż wysokości skrzynki oraz jednoczesnego występowania odkształceń w kierunku prasowania i w kierunku do niego prostopadłym.

6. Oddzielenie modelu od zagęszczonej formy

Istotnym etapem w procesie kształtowania wnętrza formy piaskowej, zagęszczonej prasowaniem statycznym przy użyciu dużego nacisku jednostkowego jest oddzielenie zespołu modelowego od formy. Ta faza procesu formowania, występująca po wcześniejszym zagęszczeniu masy i jej odciążeniu, ma bezpośredni wpływ na

dokładne odwzorowanie we wnęce formy kształtu i wymiarów modelu. W czasie oddzielania mogą zaistnieć następujące odkształcenia:

- a) odkształcenie trwałe masy w postaci naruszenia spójności warstw masy w strefie kontaktu masa – model, powodujące uszkodzenia wnęki formy, spowodowane zbyt małą wytrzymałością masy na ścinanie
- b) odkształcenie trwałe masy, powodujące zniekształcenie wnęki, wywołane niedokładnością prowadzenia mechanizmu oddzielenia maszyny formierskiej
- c) odkształcenia sprężyste masy, powodujące zmiany wymiarowe wnęki, spowodowane istnieniem w odciążonej masie naprężeń własnych.

W celu ułatwienia wyjęcia modelu z formy stosuje się pochylenia odlewnicze, które dodatkowo zniekształcają wnękę formy.

Oddzielenie układu model – forma polega na pokonaniu sił, jakie występują na powierzchni styku modelu z zagęszczoną i odciążoną masą. Po zdjęciu obciążenia zewnętrznego w odkształconej i zagęszczonej masie pozostają naprężenia własne o nieznanymi wartościami i nieznanym rozkładzie. Przyjmuje się, że ich wartość jest w przybliżeniu zależna od wartości nacisku prasowania.

Drugą przyczyną powstania sił oporu podczas wyjmowania modelu z formy jest adhezja masy formierskiej do powierzchni modelu. Adhezja, zwana również przyczepnością, polega na łączeniu się powierzchni dwóch ciał lub faz doprowadzonych do zetknięcia wskutek oddziaływania między nimi sił. Nieodzownym warunkiem wystąpienia adhezji cieczy do ciała stałego jest zwilżanie powierzchni ciała przez tą ciecz. Wartość siły adhezji działającej na powierzchnię poziomą modelu, zależy od wielu zmiennych czynników technologicznych: jednostkowego nacisku prasowania, liczby zaformowań modelu, rodzaju materiału modelowego, stanu powierzchni modelu oraz składu masy. Ze wzrostem jednostkowego nacisku prasowania rosną również siły oporu oddzielenia oraz właściwości wytrzymałościowe masy, należy przy tym zaznaczyć, że wzrost siły oporu jest intensywniejszy od wzrostu wytrzymałości masy. W procesie oddzielenia dużą rolę spełniają właściwości plastyczne masy, pozwalające na wychylenie katowe modelu podczas jego przemieszczania bez trwałego uszkodzenia formy.

7. Przebieg ćwiczenia

Badania wykonywane podczas ćwiczenia laboratoryjnego mają na celu analizę zagadnień wytwarzania formy w zakresie zapewnienia odpowiedniego stopnia i równomierności zagęszczenia masy formierskiej i ich wpływu na dokładność odlewów, umożliwiając bezpośrednio określenie:

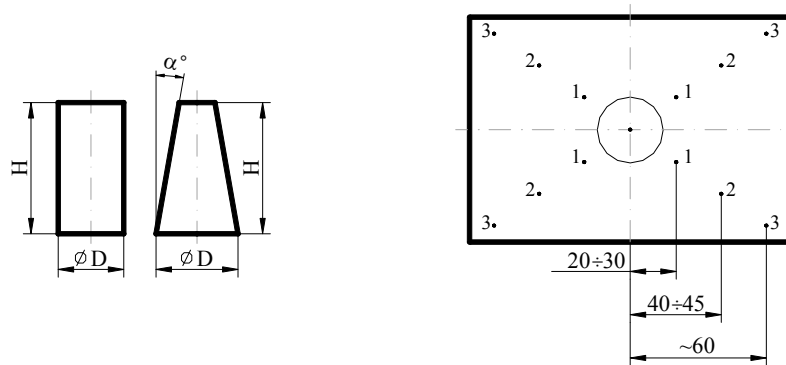
- wpływu kształtu modelu na równomierność zagęszczenia masy w formie,
- wpływu parametrów zagęszczania przy ustalonych wymiarach i kształtach modelu na dokładność odwzorowania tego modelu przez wnękę.

Ćwiczenie obejmuje badania, które należy wykonać dla form wytworzonych metodą prasowania pod wysokimi naciskami (z zastosowaniem prasowania jednostronnego od góry płaską płytą prasującą) na modelach o zmiennych średnicach, wysokościach i kątach nachylenia – rys. 1a.

Masę należy zagęszczać na dwóch wybranych modelach, w dwóch półformach, stosując kolejno następujące rosnące naciski jednostkowe: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0, 2,5 MPa. Po uzyskaniu kolejnego nacisku należy mierzyć

- głębokość wnęki,

- twardość powierzchniową formy (na powierzchni dolnej połówki formy stanowiącej płaszczyznę podziału w 12 punktach - rys. 1b). Taki sposób pomiaru umożliwia uzyskanie reprezentatywnej twardości w trzech obszarach:
- w obszarze 1 oddalonym o ok. 10 mm od krawędzi wnęki,
- w obszarze 3 najbardziej zbliżonym do krawędzi skrzyni formierskiej,
- w obszarze 2 mieszczącym się pomiędzy obszarami 1 i 3.



Rys. 1. a) kształty modeli, b) obszary (punkty) pomiarów twardości formy.

Zakres ćwiczenia:

- Przygotowanie w laboratoryjnej mieszarce kążnikowej masy formierskiej o ustalonym składzie i odpowiedniej wilgotności (masa półsucha);
- Przygotowanie kolejnych form (zagęszczanie przy użyciu ustalonych nacisków);
- Pomiar twardości w wyznaczonych obszarach zagęszczonej formy;
- Pomiar głębokości wnęki formy;
- Symulacja komputerowa (zastosowanie sztucznej sieci neuronowej);
- Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego.

8. Opracowanie wyników badań

Sprawozdanie powinno zawierać następujące elementy:

Strona tytułowa

1. Cel ćwiczenia

2. Metodyka badań

3. Wyniki badań (Przedstawione w formie tabeli; Pomiary twardości w punktach należących do poszczególnych obszarów pomiarowych należy uśrednić - dopuszczalna różnica pomiędzy minimalnym a maksymalnym oznaczeniem nie może przekraczać 10% wyniku średniego)

4. Analiza wyników badań (wykresy)

a) $T=f(P_v)$ – rys. 2 (wykresy dla każdego rodzaju formy – łącznie trzy wykresy; na każdym wykresie trzy serie danych: twardość w obszarze 1; w obszarze 2; w obszarze 3)

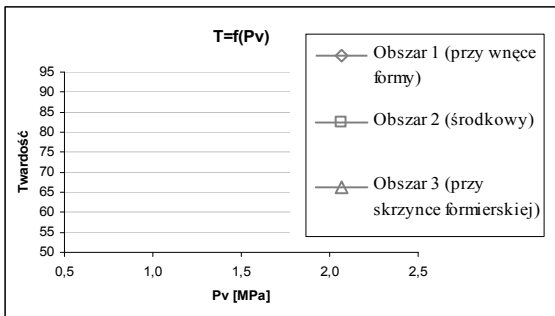
b) $T=f(\text{punkt pomiarowy})$ – rys. 3 (wykresy dla każdego rodzaju formy – łącznie trzy wykresy; na każdym wykresie pięć serii danych: twardość uzyskana przy ciśnieniu zagęszczania $P_v=0,5 \text{ MPa}$; $1,0 \text{ MPa}$; $1,5 \text{ MPa}$; $2,0 \text{ MPa}$; $2,5 \text{ MPa}$)

[Do wyboru a) lub b)]

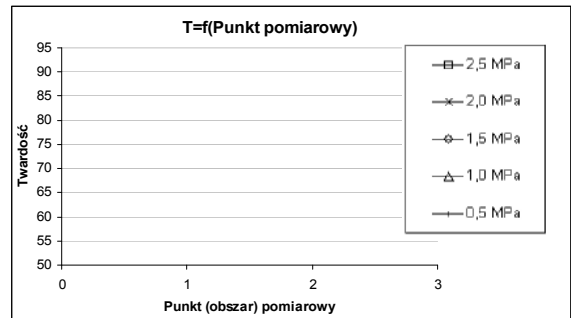
c) $T=f(P_v)$ (dla wybranego obszaru pomiarowego) – rys. 4

d) $\epsilon_f=f(P_v)$ – rys. 5 (dla form z wnękami – łącznie dwa wykresy; gdzie: ϵ_f - stosunek zmierzonej głębokości wnęki do wysokości modelu)

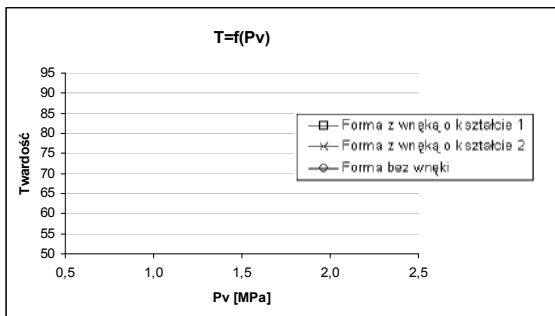
e) $T=f(P_v)$ (dla wybranych: rodzaju formy, obszaru pomiarowego) – rys. 6



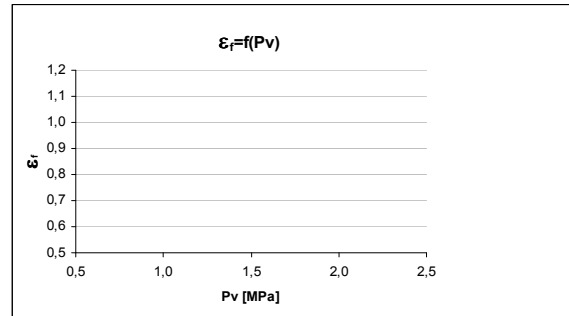
Rys. 2. Ogólny wygląd wykresu $T=f(P_v)$



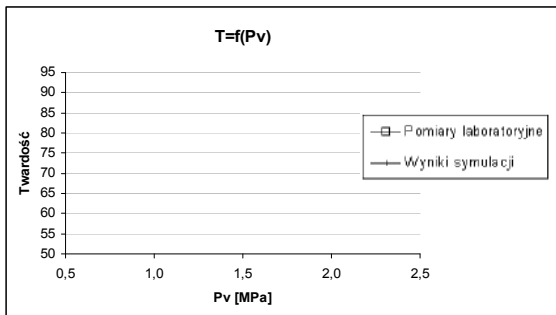
Rys. 3. Ogólny wygląd wykresu $T=f(p-t \text{ pomiarowy})$



Rys. 4. Ogólny wygląd wykresu zbiorczego $T=f(P_v)$



Rys. 5. Ogólny wygląd wykresu $\epsilon_f=f(P_v)$



Rys. 6. Ogólny wygląd wykresu $T=f(P_v)$ – porównanie wyników pomiarów laboratoryjnych i symulacji

5. Wnioski

Oznaczenia:

T – twardość powierzchniowa (pomierzona w płaszczyźnie podziału formy) przy użyciu twardościomierza z wgłębnikiem stożkowym;

P_v – ciśnienie zagęszczania;

ϵ_f – względna zmiana wymiaru wnęki formy (stosunek zmierzonej głębokości wnęki do wysokości modelu).

Literatura

1. S. Waszkiewicz: *Wpływ błędów odwzorowania wnętrza formy na dokładność wymiarową odlewów*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992;
2. L. Lewandowski: *Masy formierskie i rdzeniowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991;
3. S. Iwaszkiewicz: *Oddzielenie modelu od formy zagęszczonej przy użyciu dużego nacisku jednostkowego*. Przegląd Odlewnictwa Nr 2 Tom 40, marzec – kwiecień 1990.

Konspekt opracowali:
mgr inż. Robert Biernacki
dr inż. Andrzej Kochański