

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH

Fizyczne Podstawy Technologii Materiałowych laboratorium

Ćwiczenie 3

Kształtowanie wyrobów polimerowych

Zagadnienia do przygotowania:

1. Podstawowe pojęcia: polimer, ciężar cząsteczkowy, temperatura zeszklenia
2. Polimeryzacja prostych związków organicznych (eten, styren)
3. Duroplasty i termoplasty
4. Polimery chemo- i termoutwardzalne
5. Metody formowania tworzyw polimerowych

Literatura:

1. J. Koszkuł, O. Suberlak: Podstawy fizykochemii i właściwości polimerów. Wyd. Politechniki Częstochowskiej Częstochowa 2004
2. M.F. Ashby, D. R. H. Jones: Materiały inżynierskie. Kształtowanie struktury, właściwości, dobór materiałów. Cz. 2. WNT Warszawa 1996
3. I. Gruin: Materiały polimerowe. PWN Warszawa 2003
4. D. Żuchowska: Polimery konstrukcyjne. WNT Warszawa 2002
5. K. Kelar: Chemia polimerów. Wyd. Politechniki Poznańskiej Poznań 1991

Cel ćwiczenia

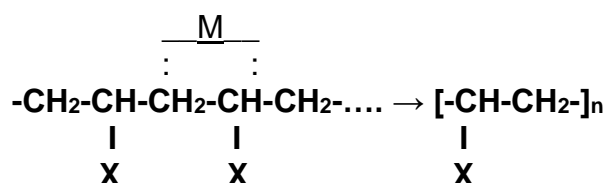
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami i zasadami formowania polimerowych tworzyw sztucznych.

Celem części praktycznej jest wyznaczenie zależności temperatura – czas wiązania żywicy epoksydowej przy różnym udziale wagowym utwardzacza oraz wykonanie kształtki polistyrenowej i określenie stopnia spienienia tworzywa

Wprowadzenie

a) Pojęcia podstawowe

Polimery są związkami chemicznymi zbudowanymi z powtarzających się grup atomów o jednakowej strukturze (**monomerów**). Powtarzające się mery (M) tworzą długi łańcuch główny który może mieć charakter: organiczny (np. węglowodory) lub nieorganiczny (np. silikony). Przykładowy wzór chemiczny makrocząsteczki przedstawia schemat.



gdzie: X – grupa boczna (zwykle grupa funkcyjna np. –CH₃)

Długość łańcucha polimerowego wynosi od ułamków μm do ponad kilkunastu μm .

Liczba merów w makrocząsteczce polimerowej nazywana jest **stopniem polimeryzacji** (DP) i w przypadku polimerów technicznych wynosi od 1000 do 100 000. Ciężar cząsteczkowy polimeru jest ilorazem stopnia polimeryzacji (DP) i ciężaru cząsteczkowego tworzącego go monomeru (m). Masa cząsteczkowa polimerów waha się w granicach $10^4\text{-}10^8$ Da.

Makrocząsteczki tworzące polimery syntetyczne cechują się pewnym zróżnicowaniem długości łańcucha i w związku z tym w ich przypadku mówimy o **średnim stopniu polimeryzacji**, który określa się zależnością:

$$\overline{DP} = \int_0^{\infty} DP P(DP) d(DP)$$

gdzie: $P(DP)d(DP)$ – udział makrocząsteczek o wielkości DP pomiędzy DP a DP + d(DP).

Rozkład wielkości DP polimerów syntetycznych związany jest ze specyfiką metod ich syntezy i może być różny dla różnych partii danego polimeru nawet wytwarzanych w zbliżonych warunkach. Większość właściwości polimeru takie jak np.: wytrzymałość na rozciąganie czy temperatura mięknięcia zależy właśnie od średniego DP. I dlatego informacja o jego średnim DP zawsze znajduje się w charakterystyce danej partii polimeru.

Wewnątrz makrocząsteczek pomiędzy atomami węgla występują silne **wiązania kowalencyjne**. Natomiast makrocząsteczki połączone są ze sobą słabymi **wiązaniem drugorzędowymi** takimi jak oddziaływanie van der Waalsa czy wiązania wodorowe. Wiązania drugorzędowe mają decydujący wpływ na wzajemne oddziaływanie i upakowanie łańcuchów, a przez to wpływają na wiele właściwości tworzyw polimerowych np. mechanicznych. Ze względu na sposób połączenia merów, budowa łańcucha polimerów może być liniowa, rozgałęziona, usieciowana, drabinkowa lub pierścieniowa.

Cząsteczki monomerów często charakteryzują się obecnością wiązań wielokrotnych (tj. podwójnych lub potrójnych), które w trakcie polimeryzacji ulegają rozerwaniu. Cząsteczki z dwoma wiązaniami tworzą łańcuchy liniowe, zaś monomery

z wieloma wiązaniami tworzą sieci np. w żywicach i polimerach termoutwardzalnych. Dzięki obecności różnego rodzaju grup funkcyjnych (podstawników) monomery często mają budowę asymetryczną, co powoduje możliwość łączenia się ich w łańcuchy w różny sposób. Te różne sposoby łączenia się monomerów w obrębie łańcucha (konfiguracja) wpływają z kolei na ich wzajemne układanie się w obrębie tworzywa.

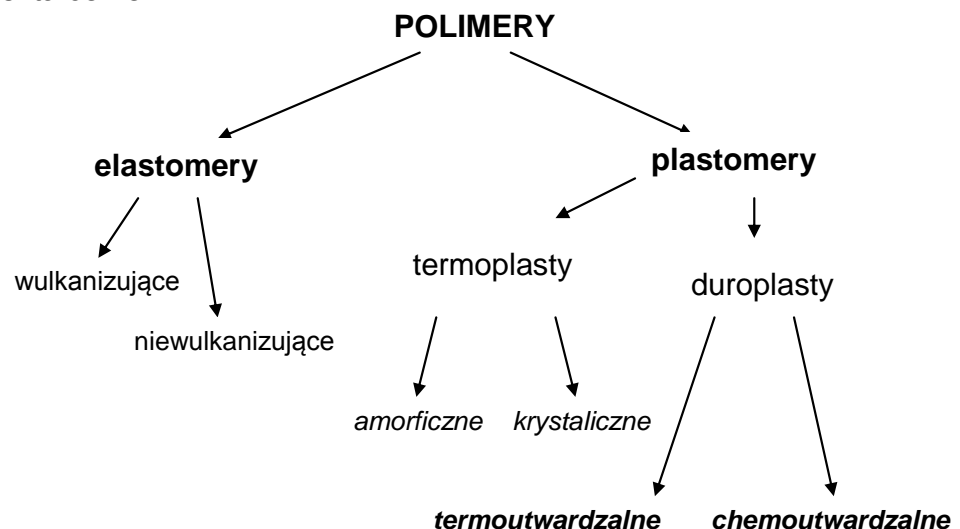
Tworzenie przez łańcuchy rozgałęzień, sieciowanie, oraz obecność dużych podstawników powoduje, że większość polimerów cechuje się mocno nieuporządkowaną – **amorficzną** strukturą. W przypadku niektórych polimerów np. o liniowych łańcuchach możliwe jest pojawienie się pewnego stopnia uporządkowania **krystalicznego**. Jest ono jednak dużo mniejsze niż w przypadku klasycznych kryształów i obejmuje jedynie część struktury polimeru. Stopień krystaliczności polimerów wpływa np. na ich właściwości mechaniczne.

Poniżej pewnej określonej temperatury polimery amorficzne wykazują właściwości charakterystyczne dla szkieł. Temperatura ta, zwana **temperaturą zeszklenia T_g** jest bardzo ważna dla polimerów. Powyżej tej temperatury wiązania drugorzędowe ulegają rozpadowi. W konsekwencji ulegają zmianie właściwości polimeru. Na przykład dla polimetakrylanu metylu (PMMA) temperatura T_g wynosi 100°C . W temperaturze pokojowej PMMA jest kruchym ciałem stałym. Powyżej tej temperatury zachowuje się najpierw jako materiał skóropodobny, później jak guma. Z kolei dla gumy temperatura T_g wynosi ok. -70°C i dlatego w temperaturze pokojowej jest ona elastycznym ciałem stałym. Jednak po oziębieniu do temperatury poniżej -70°C staje się twarda i krucha.

Właściwości polimeru, decydujące o zakresie jego stosowania jako tworzywa, zależą w największym stopniu od jego budowy chemicznej, określonej rodzajem monomeru i sposobem połączenia merów w łańcuchu. Właściwości polimeru w znacznym stopniu zależą również od sposobu i warunków jego wytwarzania.

b) Klasyfikacja polimerów

Istnieje szereg kryteriów klasyfikacji polimerów. Najczęściej stosowane są dwie klasyfikacje: chemiczna oraz wg. właściwości reologicznych (klasyfikacja Fischera) z którymi związane są właściwości użytkowe polimerów. To ostatnie kryterium podziału polimerów uwzględnia zachowanie polimerów w temperaturze pokojowej w układzie naprężenie – odkształcenie.



Rys. 1. Klasyfikacja polimerów wg. kryterium właściwości reologicznych.

- **elastomery**

Materiały polimerowe ulegające łatwo odwracalnemu wydłużeniu przy rozciąganiu nawet do 1000% i więcej. Charakteryzują się niskimi wartościami modułu Younga (1-4 MPa). Temperatura zeszklenia T_g elastomerów znajduje się poniżej temperatury pokojowej.

Do elastomerów zaliczają się m.in.: tworzywa dienowe (gumy) i poliuretan miękkie.

- **plastomery**

Polimery charakteryzujące się wysokim modułem Younga (ponad 1000 MPa), przy rozciąganiu ulegają wydłużeniu 1-200%. Temperatura zeszklenia T_g jest na ogół wyższa od temperatury pokojowej.

- **termoplasty** – polimery, w których pod wpływem temperatury zachodzą odwracalne przemiany fizyczne, podobne do przemian w mięknącej plastelinie. Dzięki tej właściwości mogą być one wielokrotnie formowane (nie może być jednak przekroczona temperatura rozkładu polimeru). Do najpowszechniej stosowanych polimerów termoplastycznych zaliczyć należy m.in. polietylen (PE), polipropylen (PP), politetrafluoroetylen (PTFE), polistyren (PS), polimetakrylan metylu (PMMA). Ta grupa polimerów jest najszerszej stosowana zarówno w przemyśle jak i w życiu codziennym.

- **duroplasty** – polimery utwardzalne; mogą być przetwarzane tylko jednokrotnie z uwagi na tworzenie się struktury przestrzennej usieciowanej podczas jego przetwarzania

- ✓ **termoutwardzalne** – pod wpływem temperatury lub czynników fizycznych zachodzą nieodwracalne przemiany chemiczne i dlatego mogą być formowane tylko raz. Podczas ogrzewania miękną, a przetrzymywane w podwyższonej temperaturze przekształcają się w materiał usieciowany (utwardzony) i nietopliwy. Przykłady polimerów termoutwardzalnych: żywice fenolowo-formaldehydowe (PF) lub krezolo-formaldehydowe (CF), żywice mocznikowe (UF), żywice melaminowe (MF).

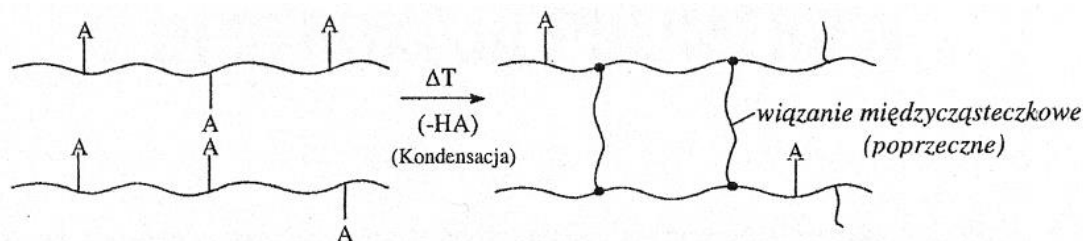
- ✓ **chemoutwardzalne** – ulegają usieciowaniu pod wpływem związków chemicznych tzw. utwardzaczy. Proces ten przebiega w temperaturze pokojowej lub podwyższonej. Do polimerów chemoutwardzalnych zaliczają się m.in.: żywice epoksydowe (EP), poliestry nienasycone (UP), niektóre poliuretany (PUR).

Sieciowanie polimerów polega na tworzeniu się wiązań poprzecznych między sąsiednimi makrocząsteczkami, prowadzącego do powstania sieci przestrzennej. Utworzone wiązania chemiczne ograniczają ruchy rotacyjne cząsteczek oraz swobodne przemieszczanie się ładunków polimeru względem siebie. Polimer taki staje się nietopliwy i nierozpuszczalny. O zdolności polimerów do sieciowania decydują grupy reaktywne, np.: epoksydowe, wodorotlenkowe, aminowe i inne. W przypadku polimerów termoutwardzalnych pod wpływem ciepła następuje ich usieciowanie. Do ich zalet należy zaliczyć: dużą sztywność, trwałość wymiarów, nierozpuszczalność i nietopliwość oraz doskonałe właściwości elektroizolacyjne. Do ich wad należą natomiast kruchość oraz brak możliwości ich ponownego

przetwarzania, z czym związany jest problem odpadów poprodukcyjnych i poeksploatacyjnych.

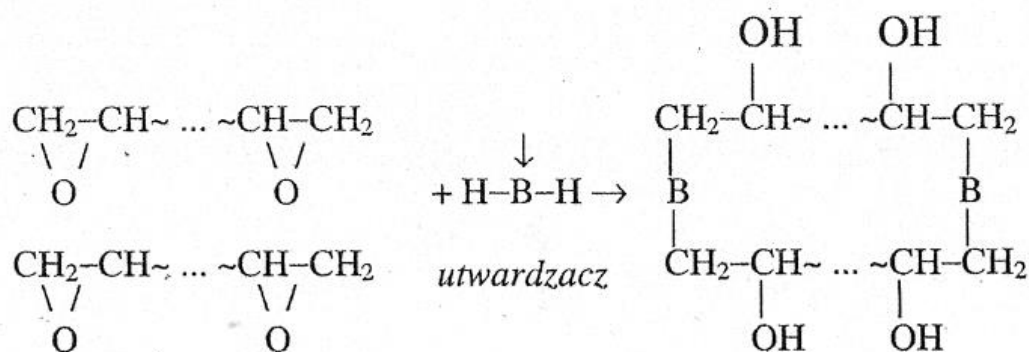
Sieciowanie polimerów chemoutwardzalnych następuje zaś pod wpływem związków chemicznych tzw. utwardzaczy. Należą do nich np.: aminy, glikole, bezwodniki kwasowe i kwasy dwuzasadowe, nadtlutki organiczne itd. Polimery te są słabiej usieciowane w porównaniu z polimerami termoutwardzalnymi. Na poniższym rysunku znajduje się schemat procesu utwardzania.

I. Termoutwardzanie

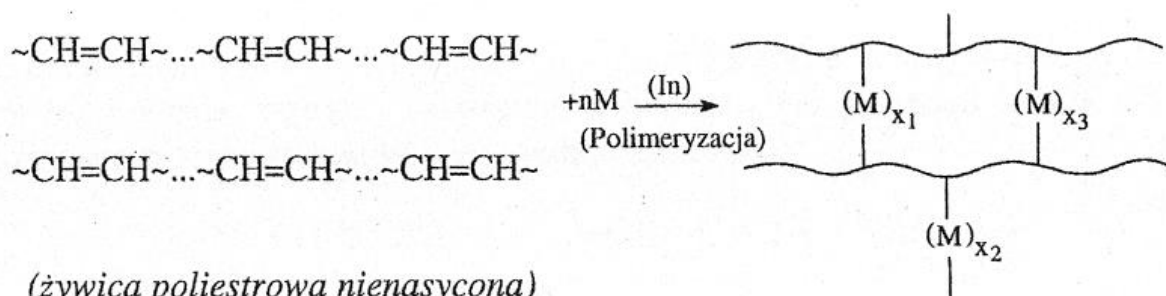


A - podstawnik boczny (grupa funkcyjna)

II. Chemoutwardzanie



(żywica epoksydowa)



(żywica poliestrowa nienasycona)

Rys.2 Schemat reakcji utwardzania (sieciowania) polimerów

Przykładem takich tworzyw są żywice epoksydowe, które zawierają dwa rodzaje grup reaktywnych: grupy epoksydowe oraz wodorotlenowe. Przed utwardzeniem żywice epoksydowe są lepкими cieczami lub trudnotopliwymi ciałami stałymi. Wybór utwardzacza zależy głównie od temperatury tego procesu. Jego ilość zaś zależy od ilości grup epoksydowych. Żywice epoksydowe mogą być utwardzane na „zimno” i wtedy proces przebiega w temperaturze pokojowej. Jako utwardzacze stosowane są aminy alifatyczne i wieloaminy. Wadą tej metody jest mała odporność cieplna utwardzonych żywic. Przy utwardzaniu żywic epoksydowych na „gorąco” proces prowadzi się w temperaturach 120-180°C przy użyciu bezwodników kwasowych i żywic nowolakowych.

Właściwości utwardzonych żywic epoksydowych:

- ✓ duża wytrzymałość mechaniczna,
- ✓ duża odporność termiczna,
- ✓ dobre właściwości dielektryczne,
- ✓ odporność na działanie czynników atmosferycznych,
- ✓ bardzo dobra odporność chemiczna, zwłaszcza na działanie alkaliów,
- ✓ dobra adhezja do metali, szkła, ceramiki (są stosowane jako kleje)

• polimery naturalne (biopolimery)

Materiały te pochodzą z procesu biosyntezy i stanowią podstawy mechaniczne życia większości roślin i zwierząt. Do biopolimerów o dużym znaczeniu technicznym należą polisacharydy (wielocukry, węglowodany) takie jak celuloza, skrobie, chityna, jak również kauczuki naturalne, lignina czy białka. Zainteresowanie biopolimerami wiąże się z łatwą odtwarzalnością ich surowców i z biodegradowalnością odpadów użytkowych (polisacharydy), jak również ich rolą w organizmach żywych (białka-polipeptydy, kwasy nukleinowe np. DNA).

c) Synteza polimerów

Wyróżnia się następujące metody otrzymywania związków wielkocząsteczkowych:

• polimeryzacja addycyjna (lub poliaddycja)

Jest to reakcja kolejnego przyłączania cząsteczek monomeru do centrum aktywnego połączona z utworzeniem łańcucha polimerowego i odtworzeniem centrum aktywnego (rodnik lub jon)



gdzie:

R* - centrum aktywne (rodnik),

M – monomery, związki zawierające wiązania wielokrotne: -C=C-; -C≡C-; -C=O i inne

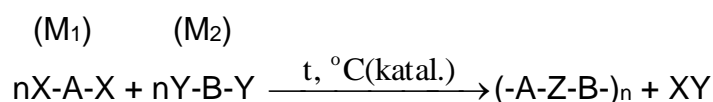
Początkiem tej reakcji jest pojawienie się centrum aktywnego R*. Cząsteczka monomeru zawiera jedną lub więcej grup (wiązań) reaktywnych. W przypadku polimeryzacji polimeru, którego cząsteczki zawierają jedno wiązanie reaktywne powstają polimery liniowe. Obecność dwóch lub więcej wiązań reaktywnych może doprowadzić do otrzymania polimerów usieciowanych.

W ten sposób otrzymuje się polimery głównie z łańcuchem węglowym i niektóre typy polimerów heterołańcuchowych (tzn. posiadających w łańcuchu głównym oprócz atomów węgla również atomy inne pierwiastków np. azotu lub siarki), o różnym ciężarze cząsteczkowym, różnej strukturze oraz regularności łańcucha.

Przykłady: poliolefiny (np: polietylen, polipropylen), polistyren, poliakrylany i polimetakrylany, poliuretany, kauczuki, i fluorowcopochodne (z podstawnikiem w łańcuchu bocznym)

- **polimeryzacja kondensacyjna (lub polikondensacja)**

Jest to proces łączenia się wielkiej ilości cząsteczek monomeru w makrocząsteczki za pomocą reakcji podstawienia, podczas której jako produkty uboczne wydzielają się: woda, chlorowódz lub inne związki proste.



gdzie:

Z-nowe wiązanie utworzone podczas reakcji,

XY – uboczny związek małowcząsteczkowy,

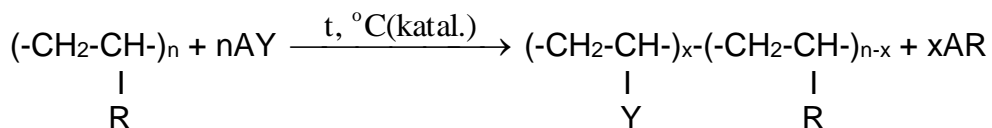
A,B – podstawniki cząsteczki monomerów – alifatyczny, aromatyczny lub alicykliczny

Monomery zdolne do polikondensacji zawierają co najmniej dwie grupy funkcyjne (X,Y). Gdy jeden związek zawiera dwie różne grupy, reakcja może przebiegać pomiędzy cząsteczkami tego monomeru tworząc homopolimer. Jeżeli w syntezie stosuje się dwa różne monomery, wówczas uzyskany polimer nazywany jest kopolimerem. W ten sposób otrzymuje się polimery heterołańcuchowe i heterocykliczne (tzn. posiadające pierścienie zawierające oprócz atomów węgla również atomy innych pierwiastków np. azotu, siarki)

Przykłady: poliamidy, poliestry i żywice poliestrowe, poliwęglany, polisulfony, żywice epoksydowe, fenol- i aminoplasty (żywice fenolowo-formaldehydowe, mocznikowe i melaminowe), poliimidy, polisiloksany

- **chemiczna modyfikacja polimerów naturalnych lub syntetycznych**

Jest to proces chemiczny polegający na otrzymywaniu związków wielkocząsteczkowych o innych właściwościach z surowców polimerowych naturalnych lub syntetycznych. Najczęściej jest to proces chemicznej zmiany struktury polimeru wyjściowego przez reakcję podstawienia lub wymiany podstawników bocznych.



Przykłady: związki celulozy (azotan, octan, etery i estry), poli(alkohol winylowy), poliolefiny i kauczuki chlorowane, żywice jonowymienne

d) Przetwórstwo polimerów

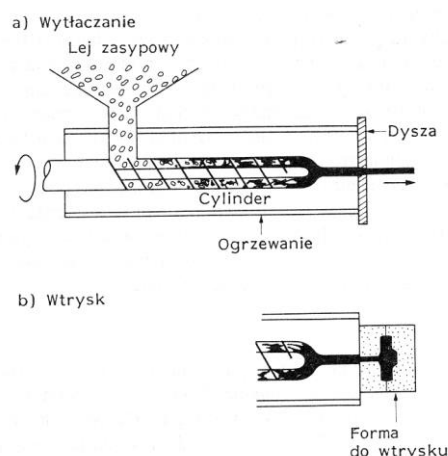
W celu wytworzenia konkretnego wyrobu z tworzywa polimerowego konieczne przetworzenie zsyntezowanego polimeru i nadanie mu odpowiedniego kształtu stosując jedną z poniższych metod. W skład tworzywa polimerowego (sztucznego) poza samym polimerem wchodzi również (nano)wypełniacze, plastyfikatory, barwniki, upłynniacze oraz inne dodatki chemiczne, które modyfikują jego właściwości.

- **polimery termoplastyczne**

Polimery te miękną podczas ogrzewania, co umożliwia ich przetwarzanie przez wytłaczanie, formowanie wtryskowe, kształtowanie próżniowe, rozdmuchiwanie lub prasowanie w formach.

Wytłaczanie jest tanim, ciągłym procesem kształtowania wyrobów o stałym przekroju. Granulki polimeru wprowadzane są do lejka zasypowego wytłaczarki skąd doprowadzane są do ślimaka i obracają się w podgrzewanym cylindrze (Rys.3a). Ślimak zagęszcza i miesza polimer, który ulega topieniu i zbliża się do nagrzanego końca cylindra gdzie jest wytłaczany przez dyszę, a zaraz za dyszą chłodzony w celu uzyskania rur, cienkich folii, taśm lub prętów, które często są półproduktami poddawanych dalszej obróbce.

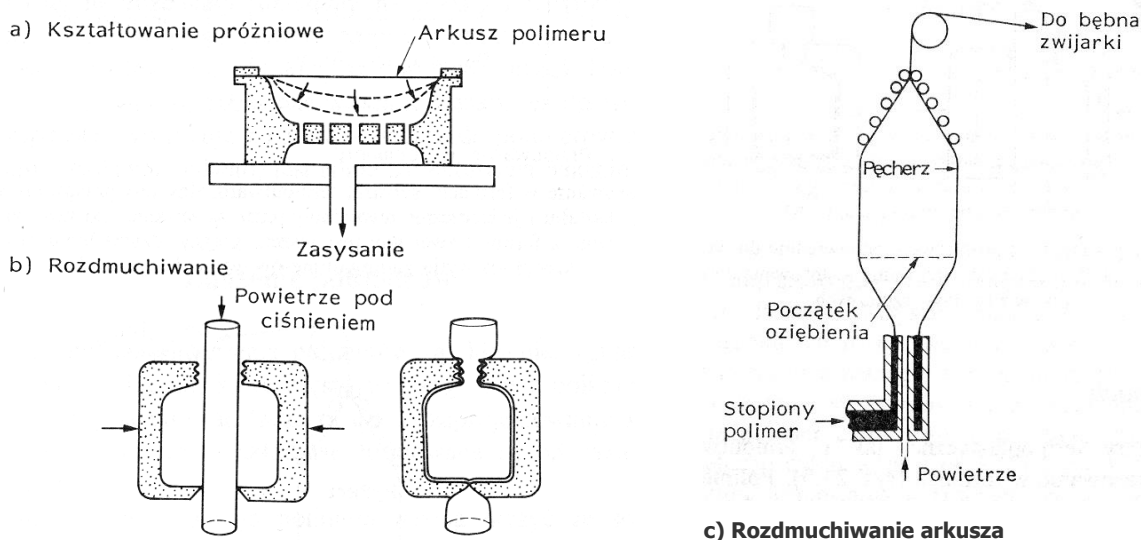
Podczas **formowania wtryskowego** granulki polimeru są sprężane za pomocą tłoka lub ślimaka, ogrzewane aż do temp. T_m a następnie wtryskiwane pod ciśnieniem do zimnej, dzielonej formy (Rys.3b). Uformowany polimer po ochłodzeniu do temperatury poniżej jego T_g jest wyjmowany z otwieranej formy. W celu skompensowania skurczu materiału do formy wtryskuje się nadmiar polimeru. Metodą wtrysku otrzymuje się wyroby o dużej dokładności kształtów i wymiarów ponieważ polimer chłodzi się pod ciśnieniem, ale jest to proces powolny a wyroby są drogie. Temperatura formowania dla polimerów termoplastycznych wynosi 150-350°C, a ciśnienie sięga 120 MPa.



Rys. 3 Formowanie polimeru: a) wytłaczanie, b) formowanie wtryskowe [2]

Podczas **kształtowania próżniowego i rozdmuchiwania** wytłaczany, gorący półprodukt poddaje się działaniu podciśnienia lub nadciśnienia. Miękki po ogrzaniu półprodukt, np. w postaci folii lub arkusza, dzięki próżni wytworzonej między formą i folią (Rys.4a). Butelki polimerowe są wytwarzane poprzez rozdmuchiwanie – gorący wytłoczony półprodukt w postaci rur zamyka się w dzielonej formie i rozdmuchuje się go sprężonym powietrzem do osiągnięcia kształtu formy (Rys.4b). Obydwie metody są tanie, wydajne i umożliwiają dość wierne odtwarzanie zadanych kształtów.

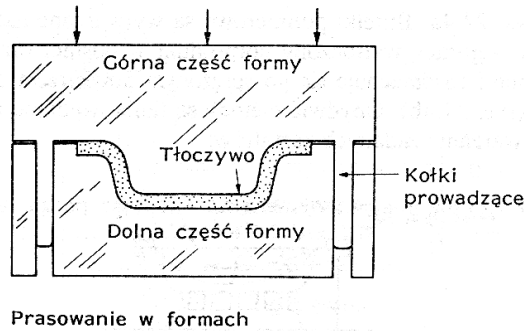
Cienkie folie i włókna polimerowe o bardzo małych średnicach formuje się wytłaczając przez wąskie szczeliny lub przez dużą liczbę otworów w dyszach zwanych **filierami**. Duży wzrost wytrzymałości folii lub włókien osiąga się przez rozciąganie w urządzeniu rozciągającym, co powoduje rozplątanie i orientację skręconych makrocząsteczek w płaszczyźnie folii lub wzdłuż osi włókna. Błony muszą być rozciągnięte w obu kierunkach równocześnie, co uzyskuje się poprzez rozdmuchanie cienkościennego worka, który następnie jest rozcinany i nawijany na bęben (Rys.4c).



Rys.4 Kształtowanie polimeru: a) próżniowe; b) rozdmuchiwanie; c) rozdmuchiwanie arkusza tworzywa sztucznego [2]

- **polimery termoutwardzalne**

Zarówno polimery termoplastyczne jak i termoutwardzalne można kształtować przez **prasowanie w formach**. Polimer lub mieszaninę żywicy i utwardzacza ogrzewa się i ściska pomiędzy górną i dolną częścią formy (Rys.5). Metoda ta nadaje się do kształtowania polimerów termoutwardzalnych i kompozytów polimerowych o osnowie z takich polimerów. Ciśnienia podczas prasowania są niższe niż w przypadku wtrysku.



Rys.5 Prasowanie w formach polimerów termoplastycznych lub termoutwardzalnych [2]

- **gumy**

Wyroby gumowe wytwarzane są podobnie jak polimery termoutwardzalne, przez prasowanie i ogrzewanie w formie mieszanki elastomeru ze środkami wulkanizującymi.

Polimery mogą być **spieniane** w wyniku zmieszania ich ze związkami chemicznymi (**porofoarami**), które powodują wydzielanie pęcherzyków CO₂ w stopionym polimerze (polistyren) lub w utwardzającej się żywicy (poliuretany), albo poprzez wytworzenie pęcherzyków z rozpuszczonego w polimerze gazu przez obniżenie ciśnienia.

Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie składa się z dwóch niezależnych części.

a) Wyznaczenie kinetyki utwardzania żywicy epoksydowej

Celem tej części ćwiczenia jest wyznaczenie zależności temperatury żywicy od czasu w trakcie jej wiązania dla dwóch różnych udziałów wagowych utwardzacza.

W ćwiczeniu wykorzystana zostanie żywica epoksydowa „Epidian 5” o średniej masie cząsteczkowej poniżej 700 u oraz **utwardzacz „Z-1”** (amina alifatyczna). Obie substancje mają płynną konsystencję.

Za uszkodzenie lub zniszczenie formy, termometru lub innego urządzenia wykorzystywanego podczas ćwiczenia Student ponosi odpowiedzialność finansową

Sposób postępowania:

1. Przygotowanie stanowiska pomiarowego

- Zmierzyć przy pomocy termometru elektronicznego i zanotować temperaturę otoczenia.
- Przełożyć końcówkę termometru elektronicznego przez otwór w plastikowej pokrywie pojemnika i **posmarować ją smarem próżniowym, a następnie kilkakrotnie owinąć folią aluminiową do wysokości 2-3 cm.**

Nie zabezpieczenie w ten sposób termometru grozi jego uszkodzeniem.

2. Przygotowanie mieszaniny żywicy epoksydowej z podanym przez prowadzącego udziałem **wagowym** utwardzacza.

Zwykle udział wagowy utwardzacza podaje się w odniesieniu do 100 części wagowych nieutwardzonej żywicy (np.: 17 : 100).

- Obliczyć masę utwardzacza przyjmując, że masa nieutwardzonej żywicy wynosi **15 g**. Obliczenia powinien zatwierdzić prowadzący.
- Utwardzacz należy pobrać przy pomocy plastikowej pipety i odważyć odpowiednią jego ilość do uprzednio przygotowanego plastikowego pojemnika z dokładnością do **0,1 g**.
- Przy pomocy bagietki szklanej lub metalowej łyżki pobrać, a następnie odważyć do pojemnika z utwardzaczem 15,0 g żywicy epoksydowej z dokładnością do 0,1 g i całość energicznie wymieszać szklaną bagietką przez **2 - 3 min**.

Gęstość żywicy wynosi ok. 1,2 g/cm³.

Należy zanotować masę odważonej żywicy, gdyby różniła się od zakładanej

3. Pomiar temperatury mieszaniny w funkcji czasu

- Po wymieszaniu żywicy z utwardzaczem plastikowy pojemnik umieścić we wgłębieniu specjalnie przygotowanej podstawki i zakręcić nakrętkę z umieszczonym w niej termometrem. Końcówka termometru powinna dotykać dna pojemnika. Wskazania temperatury odczytywać co **3 min** aż do momentu gdy temperatura zacznie w wyraźny sposób rosnać. Wtedy częstotliwość odczytów temperatury należy zwiększyć do **1 min**. Gdy temperatura zacznie spadać początkowo odczyty prowadzi się co **1 min** a później co **3 min**. Moment zakończenia pomiarów jest podawane przez prowadzącego.

4. Ze względu na ograniczenia czasowe dany zespół wykonuje pomiary tylko dla żywicy o jednym składzie a następnie wymienia się wynikami z innymi zespołami.

Po zakończeniu ćwiczenia starannie oczyścić wszystkie zabrudzenia żywicą przy użyciu propanolu.

Opracowanie wyników części „a” ćwiczenia

Sporządzić wykres zależności temperatury żywicy od czasu. Na wykresie zaprezentować krzywe dla różnych stosunków wagowych żywica/utwardzacz.

Na wykresie podać maksymalną temperaturę efektu egzotermicznego, oraz podać temperaturę otoczenia, w której wykonywany był pomiar.

W obliczeniach udziałów wagowych żywica/utwardzacz wziąć pod uwagę realnie odważone ilości żywicy i utwardzacza.

Wyciągnąć wnioski dotyczące wpływu ilości utwardzacza na przebieg reakcji sieciowania żywicy epoksydowej oraz na jej właściwości użytkowe.

b) Spienianie polistyrenu

Celem tej części ćwiczenia jest zapoznanie się z techniką spieniania polistyrenu i określenie stopnia odkształcenia tworzywa.

W ćwiczeniu wykorzystane zostanie samogasnący polistyren do spieniania Owipian FS 0513 i FS 0816 zawierające pentan jako środek spieniający mający odpowiednio postać perełek o średnicy 0,7-0,95 mm oraz 0,95 -1,4 mm.

Sposób postępowania:

1. Przygotowanie stanowiska pomiarowego

- Należy dokładnie wyczyścić i posmarować środkiem antyadhezyjnym (olejem) wnętrze metalowej formy, w której będzie spieniany polistyren

- Nastawić temperaturę w suszarce laboratoryjnej na **105°C**.

2. Wstępne spienianie polistyrenu

- Odważyć ok. **9 g** polistyrenu podanego przez prowadzącego i umieścić go w zlewce z wodą destylowaną. Zlewkę umieścić w suszarce nagrzanej do temperatury **105°C** na okres **15 min**.

- Po upływie tego czasu odcedzić polistyren przy pomocy sitka

3. Spienianie polistyrenu

- Wstępnie spienione granulki polistyrenu umieścić w metalowej formie i dokładnie ją zamknąć. Formę umieścić w suszarce nastawionej na **115°C** na okres **60 min**.

Po tym czasie formę należy ostudzić strumieniem zimnej wody pod kranem a po ostudzeniu rozmontować i wyjąć z wnętrza uformowaną kształtkę z polistyrenu.

4. Wyznaczanie gęstości względnej polistyrenu metodą ważenia hydrostatycznego

- Kształtkę należy dokładnie osuszyć a następnie wyciąć z niej próbki o długości ok. **1 cm**

- Następnie należy krotnie zważyć kształtkę na wadze analitycznej z dokładnością do **0,001 g** (m_s), a następnie zważyć w wodzie zawieszając próbkę na druciku przymocowanym do haczyka zamocowanego w górnej części szalki. Oba pomiary powtórzyć trzykrotnie. Gdyby próbka unosiła się na powierzchni wody, należy ją dociążyć. Należy zważyć w wodzie drucik z obciążeniem i tę masę odjąć od masy próbki zanurzonej w wodzie (m_h). Gęstość pozorną (d_p) próbki wyznacza się z zależności:

$$d_p = \frac{m_s \cdot \rho_{\text{woda},T}}{m_s - m_h} \quad (\text{g/cm}^3)$$

Gdzie: $\rho_{\text{woda},T}$ – gęstość wody w temperaturze pomiaru – dla uproszczenia należy przyjąć, że wynosi 1 g/cm^3

UWAGA: Jeżeli otrzymana kształtka ma dobrze zdefiniowane wymiary (nie jest zniekształcona) to jej gęstość pozorną można określić na podstawie wymiarów geometrycznych oraz masy.

Opracowanie wyników części „b” ćwiczenia

Na podstawie znajomości gęstości pozornej próbki (d_p) oraz jej gęstości rzeczywistej (d_R) wyliczyć stopień spienienia polistyrenu (S) zdefiniowany tutaj jako zmiana objętości 1 g tworzywa powstała w wyniku jego spieniania:

$$S = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 \quad (\%)$$

$$V_S = \frac{1}{d_p}, \quad V_R = \frac{1}{d_R} \quad (\text{cm}^3/\text{g})$$

W obliczeniach przyjąć gęstość rzeczywistą polistyrenu (d_R) równą **1,15 g/cm³**

Zagrożenia

- Wszelkie czynności związane z żywicą oraz utwardzaczem należy wykonywać w fartuchu ochronnym i jednorazowych rękawicach ochronnych, gdyż substancje te łatwo przenikają przez skórę i mogą powodować objawy alergiczne.
- Ze względu na wysoką temperaturę (90-100°C), umieszczanie oraz wyciąganie z suszarki form do spieniania polistyrenu należy wykonywać przy użyciu odpornych termicznie rękawic.
- Ze względu na możliwość skaleczenia, próbki do pomiaru gęstości ze spienionego polistyrenu należy wycinać z dużą ostrożnością.