

# Przetwórstwo tworzyw polimerowych

## Ćwiczenia laboratoryjne

### Część 2

# Podręczniki – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska  
Wydział Mechaniczny  
ul. Nadbystrzycka 36  
20-618 LUBLIN

Tomasz Jachowicz  
Tomasz Klepka

# Przetwórstwo tworzyw polimerowych

## Ćwiczenia laboratoryjne

### Część 2



Politechnika Lubelska  
Lublin 2012

Recenzent:

prof. dr hab. inż. Janusz W. Sikora, Politechnika Lubelska

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2012

ISBN: 978-83-63569-15-0

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

[www.biblioteka.pollub.pl](http://www.biblioteka.pollub.pl)

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

[www.agencjatom.pl](http://www.agencjatom.pl)

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)

Nakład: 100 egz.

# **Spis treści**

## **Rozdział I** **Część teoretyczna**

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. Spawanie .....          | 9  |
| 2. Zgrzewanie .....        | 17 |
| 3. Laminowanie .....       | 23 |
| 4. Prasowanie .....        | 31 |
| 5. Odlewanie .....         | 43 |
| 6. Nanoszenie .....        | 55 |
| 7. Metalizowanie .....     | 61 |
| 8. Wulkanizacja gumy ..... | 69 |

## **Rozdział II** **Część laboratoryjna**

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 1. Spawanie .....                        | 79  |
| 2. Zgrzewanie rezystancyjne .....        | 89  |
| 3. Zgrzewanie nagrzaną płytą .....       | 97  |
| 4. Zgrzewanie pojemnościowe .....        | 107 |
| 5. Laminowanie .....                     | 117 |
| 6. Prasowanie wstępne .....              | 125 |
| 7. Plastyczność prasownicza Krahla ..... | 135 |
| 8. Prasowanie wysokociśnieniowe .....    | 143 |
| 9. Odlewanie normalne .....              | 153 |
| 10. Odlewanie obrotowe .....             | 165 |
| 11. Nanoszenie fluidyzacyjne .....       | 175 |
| 12. Metalizowanie .....                  | 183 |
| 13. Wulkanizacja gumy .....              | 193 |



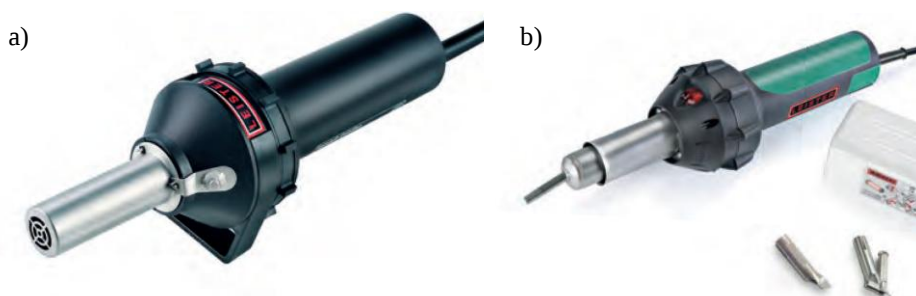
## Rozdział I

### **Część teoretyczna**



# 1. Spawanie

Spawanie jest metodą łączenia tworzyw termoplastycznych, polegającą na ich uplastycznieniu i stopieniu w miejscu łączenia, bez wywierania nacisku na łączone elementy z dodaniem spoiwa [19, 22, 27]. W procesie spawania wykorzystuje się różnorodne urządzenia specjalistyczne. Głównym urządzeniem wykorzystywanym podczas tego procesu jest palnik. Umożliwia on dostarczanie wymaganego rodzaju energii, za pomocą której jest realizowane uplastycznienie elementów łączonych [27, 30]. Konwencjonalny palnik spawalniczy składa się z uchwytu, dmuchawy powietrza, elektronicznego regulatora temperatury i dyszy. Ze względu na sposób powstawania źródła ciepła narzędzia palniki można podzielić na: gazowe - płomieniowe (rys. 1a) oraz elektryczne (rys. 1b). W przypadku palników gazowych energię z dmuchawy dostarcza się z wykorzystaniem sprężonego powietrza, które powinno być możliwie czyste (nie może zawierać wody ani olejów), rzadziej azot lub dwutlenek węgla. Stosowanie azotu lub dwutlenku węgla zabezpiecza łączone powierzchnie z tworzywa przed nadmiernym ich utlenianiem w podwyższonej temperaturze. Ma to duże znaczenie przy spawaniu tworzyw łatwo ulegających utlenianiu, jak np. PE i PA. Sposób ten wymaga jednak stosowania intensywnej wentylacji pomieszczeń roboczych. W palnikach gazowych jako gazów palnych używa się: wodoru, gazu świetlnego lub acetyleny spalane w obecności powietrza.



Rys. 1. Przykłady palników spawalniczych: a) palnik gazowy, b) palnik elektryczny

Ze względu na bezpieczeństwo pracy, wygodę i wydajność do spawania tworzyw najczęściej stosuje się palniki elektryczne. W palnikach tego rodzaju źródłem ciepła jest grzejnik elektryczny o mocy od 250W do 500W, zasilany prądem 230V o częstotliwości 50Hz.

Podczas procesu spawania do łączonych elementów dostarcza się dodatkowe spoiwo, mające postać prętów spawalniczych, które wykonuje się z różnorodnych tworzyw polimerowych (PE, PA, PP, PVC i in.). Wykorzystując metodę wytłaczania, prętom spawalniczym nadaje się określone kształty: kołowe (średnica od 2 do 6mm), trójkątne, a także stosowane rzadziej, przekroje prostokątne.

W wyniku równomiernego nagrzania powierzchni łączonych elementów z tworzywa termoplastycznego oraz nagrzewaniu spoiwa do wymaganej temperatury w strumieniu nagrzanego gazu, następuje uplastycznienie elementów łączonych. Prowadzenie pręta spawalniczego oraz formowanie spoiny podczas tego procesu, jest realizowane za pomocą dodatkowego oprzyrządowania w postaci specjalnych dysz nakładanych na walcową końcówkę palnika lub z wykorzystaniem dodatkowych rolek dociskowych. Proces spawania zachodzi tylko w strefie doprowadzonej do stanu uplastycznionego, w którym aktywowane ciepłnie makrocząsteczki spoiwa splatają się z makrocząsteczkami elementów łączonych, uzyskując po ochłodzeniu trwałe zespolenie [11, 22, 27, 30].

Spawanie może być stosowane do łączenia elementów z tworzyw mających różne grubości, i dowolne położenie w przestrzeni. Można spawać elementy o grubości od 1,5 do 20mm oraz folie o grubości do 200 $\mu$ m wykonane z większości znanych tworzyw termoplastycznych np. PVC, PE, PP, PMMA, PA, PC. Cechą charakterystyczną zastosowania procesu spawania do łączenia elementów konstrukcyjnych z tworzyw termoplastycznych jest to, że w wyniku tego postępowania jest możliwe wykonanie połączenia elementów o dużych wymiarach, a niekiedy także o złożonych kształtach. Proces ten nie wymaga dodatkowego skomplikowanego oprzyrządowania i dlatego jest często stosowany także w budowie elementów maszyn, działających przy małym zakresie zewnętrznych obciążeń zginających lub uderowych.

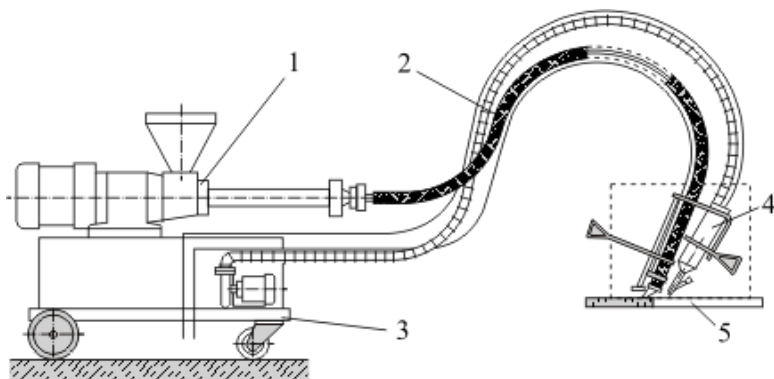
Z uwagi na stopień automatyzacji przebiegu procesu wyróżnia się spawanie ręczne (rys. 2) oraz automatyczne (rys. 3 i rys. 4) [22, 27].



Rys. 2. Przykład urządzenia do spawania ręcznego [15]

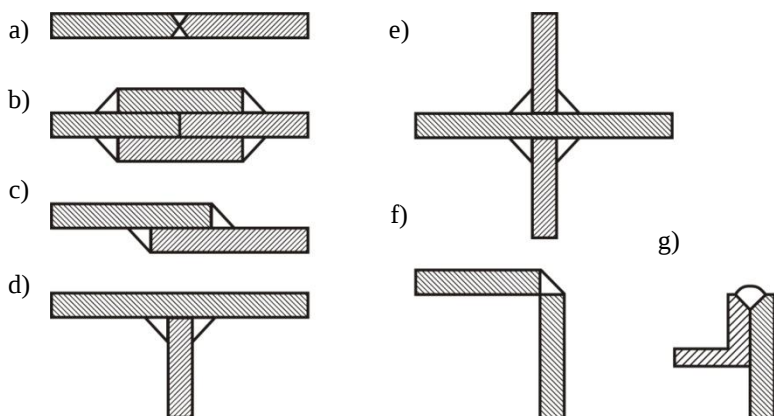


Rys. 3. Wygląd ogólny urządzenia do spawania automatycznego [15]



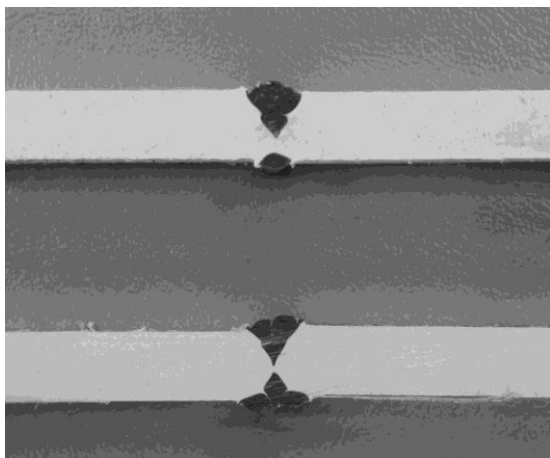
Rys. 4. Elementy składowe urządzenia do spawania automatycznego (tzw. wytłaczanie ze spawaniem): 1 - wytłaczarka, 2 - doprowadzanie tworzywa plastycznego, 3 - ruchomy wózek, 4 - palnik elektryczny, 5 - elementy spawane [27]

Podczas spawania w zależności od miejsca wzajemnego usytuowania elementów łączonych względem siebie oraz ich grubości, stosuje się różne rodzaje połączeń: doczołowe, zakładkowe, nakładkowe, teowe, krzyżowe, ukośne, kątowe oraz wielokrotne i przyłgowe (rys. 5).



Rys. 5. Podstawowe rodzaje połączeń spawanych: a - stykowe (doczołowe), b - zakładkowe, c - nakładkowe, d - teowe (pachwinowe), e - krzyżowe, f - narożne, g - przylgowe [11]

Wytrzymałość połączenia spawanego w poszczególnych obszarach elementów nie jest jednakowa. Stwierdzono m.in., że w przypadku łączenia elementów o większej grubości nie jest korzystne stosowanie połączeń zakładkowych i nakładkowych, z uwagi na powstawanie w obszarze połączenia niekorzystnego rozkładu naprężeń podczas ich obciążenia. Połączenie doczołowe może być wykonane np. za pomocą spoiny V, a przy grubościach elementów łączonych większych niż 5 mm za pomocą spoiny X (rys. 6) lub K. Spoinę V natomiast stosuje się, gdy grubość łączonych elementów nie przekracza 5 mm.



Rys. 6. Wygląd spoiny typu X, uzyskanej przy połączeniu elementów z tworzywa o grubości 8mm

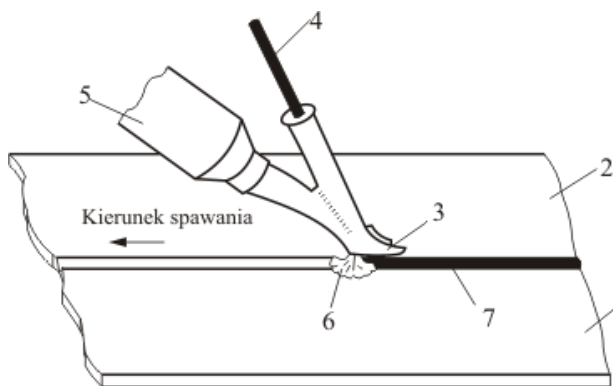
Innym rodzajem połączeń spawanych są spoiny typu teowego oraz pachwinowego. Przy czym należy nadmienić, że połączenie pachwinowe osiąga tylko 65% wytrzymałości połączenia doczołowego. Wybór rodzaju spoiny oraz jej

wymiarów jest ważny i zależy przede wszystkim od konstrukcji elementów łączonych, rodzaju tworzyw z którego są wykonane, ich grubości oraz rodzaju i wartości przenoszonych obciążeń. Podstawowe warunki spawania z wykorzystaniem palnika gazowego zestawiono w tabeli 1, a schemat tego procesu przedstawiono na rys. 7.

Tabela 1. Podstawowe warunki spawania elementów z tworzyw z wykorzystaniem palnika gazowego

| Rodzaj tworzywa                              | PVC          | PP        | PE        | PMMA      | PA        |
|----------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Temperatura gazu na wylocie z palnika, °C    | 250 ÷ 350    | 230 ÷ 370 | 210 ÷ 250 | 380 ÷ 400 | 240 ÷ 280 |
| Temperatura topnienia tworzywa, °C           | 200 ÷ 300    | 180 ÷ 320 | 160 ÷ 200 | 330 ÷ 350 | 190 ÷ 230 |
| Wydatek objętościowy gazu, m <sup>3</sup> /h | 0,09 do 0,3  |           |           |           |           |
| Ciśnienie gazu podczas spawania, MPa         | 0,006 ÷ 0,04 |           |           |           |           |
| Siła docisku pręta do elementów łączonych, N | 5 ÷ 26       |           |           |           |           |
| Prędkość układania pręta spawalniczego, mm/s | 3 ÷ 150      |           |           |           |           |
| Kąt ustawienia pręta spawalniczego, °        | < 90         |           |           |           | >90       |

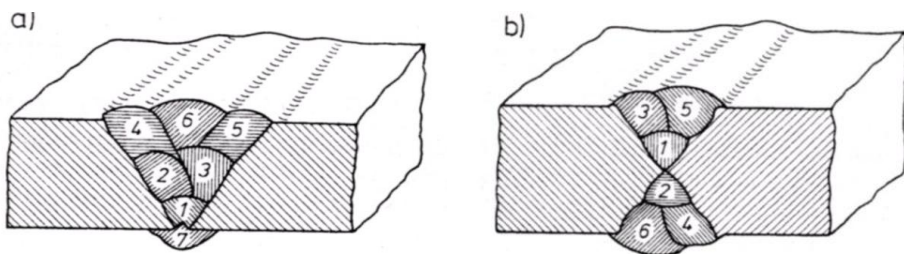
Wydatek objętościowy gazu, niezbędny do zapewnienia ciągłości procesu spawania, zależy od rodzaju i grubości elementów z tworzywa oraz średnicy dyszy palnika. Zwiększenie tego wydatku nie powoduje zwiększenia prędkości spawania, a jedynie straty gazu. Siła docisku pręta do elementów łączonych zależy od właściwości tworzywa, z którego wykonany jest pręt spawalniczy oraz od temperatury gazu. Wartość siły docisku nie powinna przekraczać wartości: 5÷8N, przy prętach o mniejszych średnicach oraz 20÷26N, przy prętach o średnicach największych. Prędkość układania pręta spawalniczego jest ściśle uzależniona od temperatury gazu. Kąt pochylenia palnika do powierzchni złącza powinien być równy 45°. Duże znaczenie ma także odpowiednie ustawienie pręta spawalniczego. Dla tworzyw takich jak PVC, PE-LD, PMMA czy PA pręt spawalniczy zaleca się ustawiać pod kątem 90° do powierzchni spoiny (rys. 7). Jeśli kąt jest mniejszy od 90° pręt nagrzej się na większej długości i jego zużycie zwiększy się, a w spoinie wskutek ściskania nastąpi jego wygięcie. W przypadku odwrotnym, gdy kąt jest większy od 90°, to pręt spawalniczy ułożony w rowku spawalniczym wydłuży się. Wydłużenie układanego pręta powyżej 15÷20% powoduje znaczne zmniejszenie wytrzymałości otrzymanego połączenia [11, 22, 27, 30].



Rys. 7. Schemat przebiegu procesu spawania tworzyw z nagrzewaniem spoiwa w postaci pręta spawalniczego palnikiem gazowym: 1 i 2 - elementy spawane, 3 - końcówka palnika ze stopką dociskową, 4 - pręt spawalniczy, 5 - palnik gazowy, 6 - strumień gorącego gazu, 7 - spoina

Podczas spawania elementów o większej grubości, gdy nie można uzyskać całej spoiny w jednej operacji, tworzy się ją w układzie warstwowym. Dno spoiny wykonuje się z pręta o mniejszej średnicy, a pozostałą część wypełnia się grubszyimi prętami. Przy zachowaniu szczeliny pomiędzy elementami łączonymi wynoszącej około 1 mm, do wykonania dna najlepiej jest stosować pręt o średnicy 3 mm.

Przy spawaniu pręt układa się w rowku spawalniczym, wzdłuż ścianek elementów łączonych, zaś elementy te korzystnie mocuje się w uchwytach. Jeżeli rowek spawalniczy ma kształt litery V, wówczas podczas spawania i następnie ochłodzenia tworzywa w obszarze spoiny powstaje skurcz, przy czym jego wartość jest większa u góry niż na dnie spoiny, czego efektem jest wygięcie elementów spawanych. Ułożenie spoiny w odpowiednich warstwach (rys. 8) pozwala na zmniejszenie tego efektu. Aby temu przeciwdziałać przy elementach o znacznej grubości oraz zastosowaniu ukosowania do kształtu spoiny typu X, układanie warstw spoiwa wykonuje się na przemian spawając płyty z obu stron tak, aby naprężenia wywołane skurczem cieplnym rozkładały się równomiernie w elementach łączonych [11, 22, 27, 30].



Rys. 8. Tworzenie spoiny z kilku warstw prętów spawalniczych w przypadku większej grubości elementów spawanych a) spoina typu V, b) spoina typu X ; 1 ÷ 6 - kolejność układania poszczególnych warstw spoiwa

Przy spawaniu PP i PVC w strumieniu gorącego gazu należy nagrzewać nie tylko rowek spawalniczy ale także obszar w okolicy rowka. Uzyskuje się to przez wahadłowe ruchy palnika po obu jego stronach. Przy spawaniu elementów o grubościach większych niż 10mm należy je nagrzewać w komorze grzejnej przy temperaturze ponad 100°C, przez okres czasu ok. 15 min albo za pomocą płomienia. Podczas spawania PMMA kąt rowka spawalniczego powinien być nieco mniejszy niż przy PVC. W przypadku tego tworzywa nie zaleca się stosowania spoin wielowarstwowych. Przy łączeniu spoiną X z każdej strony wprowadza się tylko jeden pręt spawalniczy, a elementy łączone nagrzewa się aż do osiągnięcia stanu ciekłego [11, 27].

Zarówno w elementach przeznaczonych do spawania, jak i w prętach spawalniczych mogą pojawiać się efekty niepożądane. Jeżeli spawanie odbywa się przy nadmiernej ilości powietrza, wówczas strefa nadtopiona staje się zbyt ruchliwa, co prowadzi do powstania w spoinie drobnych pęcherzyków powietrza lub tzw. jeziorek spawalniczych.

Przy spawaniu PA należy dokładnie wysuszyć elementy łączone, jak i pręty spawalnicze. Proces suszenia należy przeprowadzić w temperaturze około 80°C w czasie 10 godzin. Zawartość wody w tym tworzywie, powoduje, że podczas spawania przechodzi ona w stan gazowy, w skutek czego pojawiają się w spoinie pęcherzyki. Temperatura topnienia prętów spawalniczych powinna być o około 10 do 15°C niższa od temperatury elementów łączonych [11, 27].

Powierzchnię do spawania powinno się oczyścić, schropowacić i jeśli to potrzebne - zaukosować. Kąt pomiędzy tak przygotowanymi krawędziami rowka spawalniczego powinien wynosić od 45° do 60°. Jeśli kąt ten jest zbyt mały występują trudności przy tworzeniu dna spoiny, jeśli zbyt duży nakładanie spoiwa jest utrudnione. Nadanie i przygotowanie odpowiedniego kształtu powierzchni do spawania przeprowadza się różnymi metodami obróbki skrawaniem, zarówno ręcznie (pilnikiem, strugiem) jak i mechanicznie (na strugarce, frezarce, przecinarnie). Spawanie z wykorzystaniem palników ręcznych, oprócz wielu zalet ma także wady np. małą wydajność, trudność zachowania stałych warunków spawania, różną prędkość nagrzewania się elementów i inne. Zastosowanie spawarek automatycznych pozwala na zachowanie stałej temperatury nagrzewania, nacisku oraz wymaganej prędkości spawania, co wpływa na zwiększenie wydajności i poprawę jakości złązek.



## 2. Zgrzewanie

Zgrzewanie jest metodą łączenia tworzyw termoplastycznych, polegającą na ich uplastycznieniu i stopieniu w miejscu łączenia, z wywarceniem nacisku na łączone elementy bez dodatku spoiwa [11, 22, 27, 30].

Narzędziem w procesie zgrzewania jest urządzenie, zapewniające realizację uplastycznienia elementów z tworzywa oraz wymagany nacisk, wyposażone w regulator temperatury oraz regulowany czas zgrzewania. Proces spajania elementów z tworzywa tą metodą jest określony warunkami zgrzewania, do których należą:

- temperatura (do jakiej nagrzewa się elementy łączone),
- nacisk wywierany na łączone elementy,
- czas zgrzewania,
- czas i warunki ochładzania otrzymanej zgrzeiny.

Zgrzewanie zachodzi w warstwach wierzchnich łączonych elementów z tworzyw lub w ich masie. W obszarze zgrzewania pod wpływem ciepła, uzyskuje się elementach łączonych wymagany stan plastyczny i ciekły, w którym z kolei zachodzi wzajemne przeplatanie się makrocząsteczek lub ich segmentów [1, 8, 20]. W wyniku docisku i ochłodzenia w określonym przedziale czasu uzyskuje się połączenie trwałe.

W zależności od sposobu doprowadzenia ciepła wyróżnia się kilka odmian zgrzewania. Natomiast wyboru odpowiedniej metody zgrzewania (tabela 2) dokonuje się głównie w zależności od rodzaju tworzywa z którego są wykonane elementy łączone. Przykłady urządzeń do zgrzewania różnych elementów z tworzyw przedstawiono na rysunku 9.

a)



b)



Rys. 9. Urządzenia do zgrzewania: a) zgrzewarka do folii, b) zgrzewarka do rur kanalizacyjnych [15]

Innym ważnym kryterium doboru metody zgrzewania jest także kształt i wymiary elementów łączonych oraz rodzaj działających na nich sił i wymuszeń zewnętrznych.

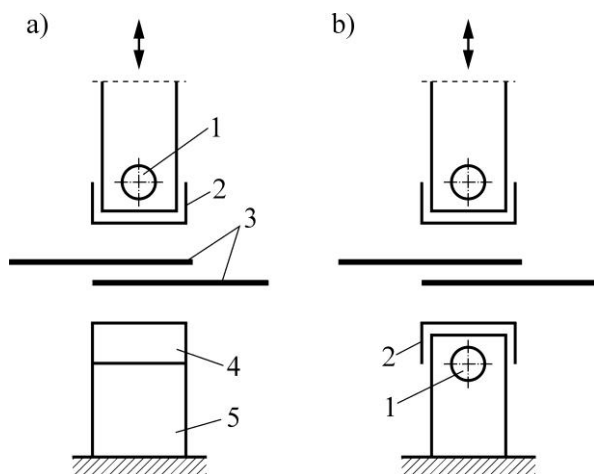
Tabela 2. Zgrzewalność wybranych tworzyw polimerowych

| Metoda zgrzewania            | Rodzaj tworzywa |    |            |            |    |     |      |    |     |
|------------------------------|-----------------|----|------------|------------|----|-----|------|----|-----|
|                              | PE              | PP | PVC miękki | PVC twardy | PS | PA6 | PMMA | PC | PET |
| rezystancyjne (bezpośrednie) | +               | +  | ±          | ±          | ±  | ±   | -    | ±  | ±   |
| nagrzana płytą               | +               | +  | -          | +          | +  | +   | ±    | +  | ±   |
| nagrzany klinem              | ±               | ±  | +          | ±          | +  | +   | ±    | +  | ±   |
| tarciowe                     | +               | +  | -          | +          | +  | +   | ±    | +  | +   |
| indukcyjne                   | -               | +  | ±          | ±          | +  | -   | -    | ±  | ±   |
| pojemnościowe                | -               | -  | +          | +          | -  | ±   | ±    | +  | -   |
| ultradźwiękowe               | -               | -  | -          | ±          | +  | ±   | +    | +  | +   |

Oznaczenia: + bardzo dobra, ± dobra z ograniczeniem, - zła lub nie zalecana

### ***Zgrzewanie rezystancyjne (bezpośrednie)***

Metoda zgrzewania rezystancyjnego (rys. 10) polega na uplastycznieniu łączonych wytworów z tworzywa (najczęściej folii) za pomocą określonego elementu grzejnego i ściśnięciu ich pomiędzy stołem a ruchomym ramieniem zgrzewarki. Proces ten nazywany jest często zgrzewaniem za pomocą nagrzanego drutu lub nagrzanej listwy [19, 27].

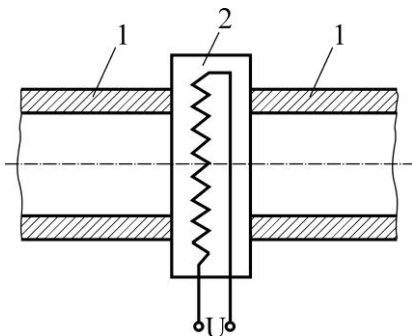


Rys. 10. Schemat metody zgrzewania rezystancyjnego: a) jednostronnego z jedną listwą grzejącą, b) dwustronnego z dwiema listwami grzejącymi: 1 – listwa z grzejnikiem rezystancyjnym, 2 – przekładka z PTFE, 3 – ogrzewana folia, 4 – przekładka, 5 – listwa nagrzewana [19]

Listwa nagrzewa łączne elementy od strony zewnętrznej, a strumień ciepła przechodzi przez całą grubość elementów łączonych. Temperatura elementu grzejnego zależy od rodzaju tworzywa spajanej folii i wynosi  $300\div 400^{\circ}\text{C}$ . Metoda ta jest stosowana najczęściej do folii lub cienkich płyt, wytworzonych z tworzyw o dużym przedziale pomiędzy temperaturą topnienia, a temperaturą rozkładu (głównie do PE-LD, PE-HD oraz PP).

### ***Zgrzewanie nagrzaną płytą***

Podczas procesu zgrzewania, nagrzaną płytę (rys. 11) wprowadza się pomiędzy łączone powierzchnie. Następuje dostarczenie ciepła, w wyniku czego powierzchnie zgrzewanych elementów ulegają uplastycznieniu. W kolejnej fazie procesu odsuwa się płytę i dociska do siebie spajane elementy. Metodą tą łączy się doczołowo odcinki rur, profili, kształtowników i prętów z PVC, PP, PE, PS, PMMA oraz innych tworzyw. Przy zgrzewaniu elementów o średnicy do 250mm płyta grzewcza ma zwykle kształt koła, natomiast przy większych średnicach elementy nagrzewane mają kształt pierścienia. W celu przeciwdziałania przywieraniu uplastycznionego tworzywa powierzchnia płyty grzewczej jest pokryta materiałem antyadhezyjnym, np. tkaniną impregnowaną PTFE.

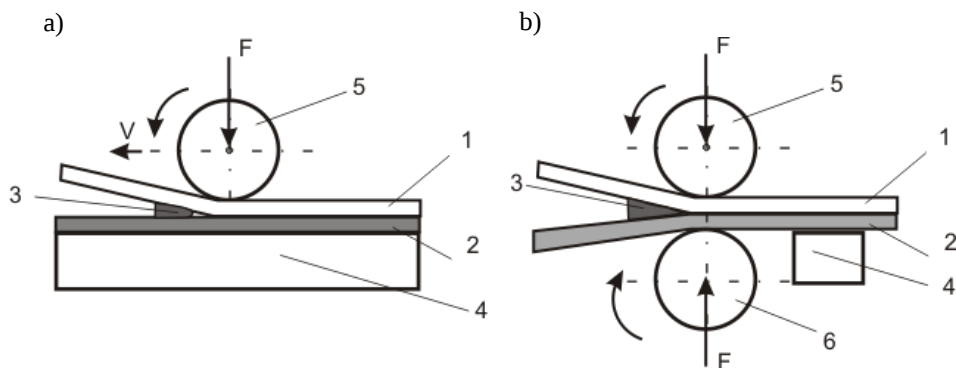


Rys. 11. Schemat zgrzewania doczołowego za pomocą nagrzanej płyty:  
1 - łączone elementy, 2 - płyta grzejna,  
U - napięcie prądu elektrycznego

### ***Zgrzewanie nagrzany klinem***

W przypadku zgrzewania nagrzany klinem uplastycznienie tworzywa jest wykonywane za pomocą narzędzia - dodatkowego klina. Metoda ta polega na nagrzaniu elementów łączonych w wyniku ich kontaktu z klinem. Schemat zgrzewania nagrzany klinem przedstawiono na rys. 12. Klin jest przesuwany wzdłuż miejsca łączenia, z zachowaniem ciągłego styku z elementami łączonymi, przy działaniu na elementy określonej siły dociskającej [22, 27].

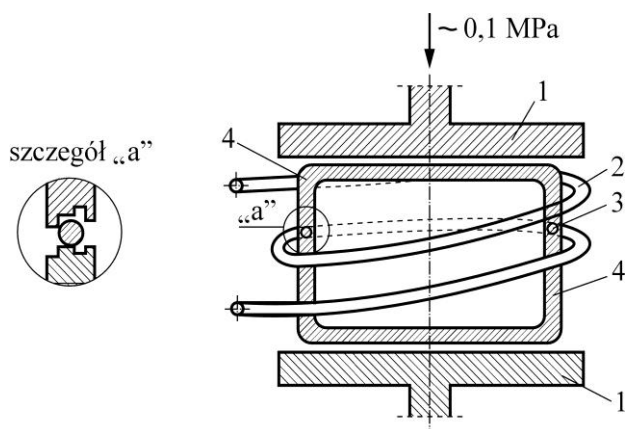
Metodą tą wykonuje się złącza zakładkowe, a docisk jest realizowany najczęściej przy użyciu rolki. Zgrzewanie nagrzany klinem jest stosowane najczęściej do łączenia folii oraz płyt o małej grubości. Temperatura klina przy zgrzewaniu elementów z PVC powinna wynosić  $250\div 300^{\circ}\text{C}$ , przy zgrzewaniu elementów z PE-HD ( $220\div 260^{\circ}\text{C}$ ), PE-MD ( $190\div 220^{\circ}\text{C}$ ), a w przypadku PMMA ( $260\div 300^{\circ}\text{C}$ ).



Rys. 12. Schemat zgrzewania gorącym klinem w przypadku łączenia folii: a) zgrzewanie ręczne, b) zgrzewanie mechaniczne; 1, 2 - zgrzewane folie, 3 - klin grzejny, 4 - podkładka, 5, 6 - wałek dociskowo-transportowy, F - siła docisku, V - prędkość przemieszczania się wałka

### **Zgrzewanie indukcyjne**

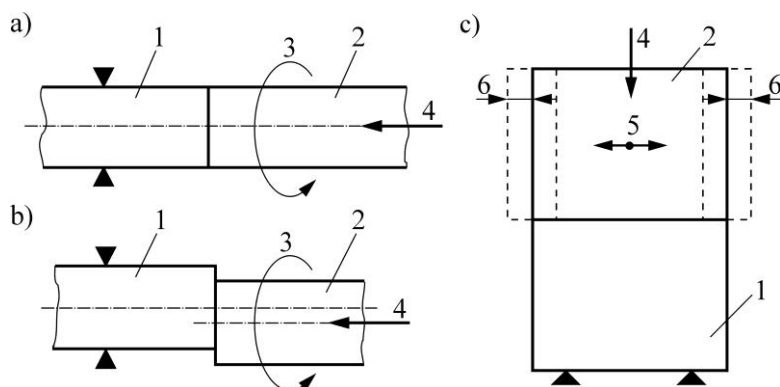
Zgrzewanie indukcyjne jest możliwe wtedy, gdy w strefie łączonych elementów umieszczony zostanie przewodnik elektryczny (rys. 13), przez który przepływa prąd wielkiej częstotliwości. Wokół przewodnika elementy łączone z tworzywa ulegają uplastycznieniu, na skutek indukowania prądów wirowych lub w wyniku histerezy magnetycznej. W wyniku przewodzenia ciepła w kierunku od przewodnika do tworzywa uzyskuje się wymagany stopień uplastycznienia tworzywa [22, 27, 30]. Wadą tej odmiany zgrzewania jest m.in. długi czas pozostawiania przewodnika w obszarze grzeiny.



Rys. 13. Zasada zgrzewania indukcyjnego: 1 - płyty dociskowe, 2 - cewka indukcyjna, 3 - pierścień metalowy, 4 - element zgrzewany [19]

### **Zgrzewanie tarciove**

Proces zgrzewania tarciovego polega na wygenerowaniu ciepła w wyniku tarcia zachodzącego pomiędzy elementami łączonymi. W kolejnej fazie procesu następuje dociśnięcie do siebie łączonych elementów (rys. 14). W obszarze połączenia, na skutek tarcia powstaje energia cieplna, powodująca uplastycznianie tworzywa, a przy nacisku i ochłodzeniu uzyskuje się połączenie trwałe. Przy padkowe wypływki nadmiaru tworzywa, powstające w obszarze zgrzeiny, usuwa się metodą obróbki mechanicznej. Metoda ta stosowana jest między innymi do łączenia rur oraz prętów o małych wymiarach. W zależności od sposobu przemieszczania się łączonych elementów względem siebie, wyróżnia się zgrzewanie obrotowe współosiowe, obrotowe niewspółosiowe oraz liniowo-drganiowe [11, 22, 27, 30].

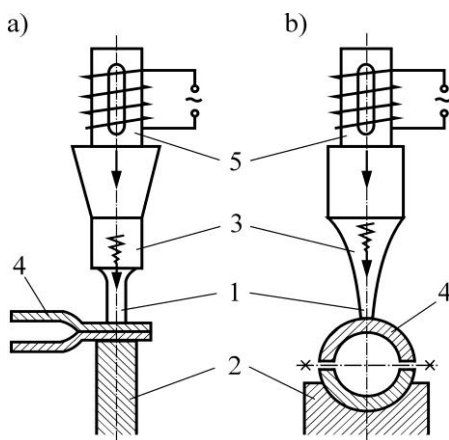


Rys. 14. Schemat procesu zgrzewania tarciovego: a) obrotowe współosiowe, b) obrotowe niewspółosiowe, c) liniowo-drganiowe; 1- element łączony nieruchomy, 2 - element łączony ruchomy, 3 - ruch obrotowy, 4 - siła dociskająca, 5 - ruch drganiowy, 6 - amplituda drgań

### **Zgrzewanie ultradźwiękowe**

Zgrzewanie ultradźwiękowe polega na wprowadzeniu cząsteczek tworzywa w ultraszybkie drgania mechaniczne z częstotliwością ok. 20kHz. W efekcie drgań pomiędzy cząstkami łączonych elementów powstaje tarcie, a na powierzchni zgrzeiny wydziela się ciepło. Wskutek tego następuje nagrzanie powierzchni styku spajanych elementów do wymaganej temperatury uplastycznienia [11, 22, 27, 30]. Wywarcie nacisku w miejscach spajania, powoduje trwałe ich połączenie (rys. 15). Czas zgrzewania ultradźwiękowego nie przekracza  $1\div 2$ s i zależy od rodzaju tworzywa, grubości i kształtu łączonych elementów. Metodą tą zgrzewa się elementy z tworzywa, mające dużą zdolność przenoszenia drgań mechanicznych, czyli materiały o dużym module sprężystości poprzecznej (na przykład: PC, PMMA, PS, PP i inne). Przy procesie zgrzewania metodą ultradźwiękową wymagane jest odpowiednie ukształtowanie powierzch-

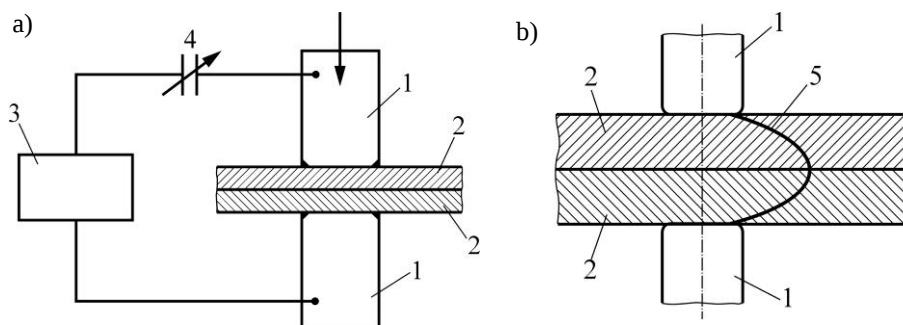
ni łączonych elementów, np. przez wykonanie w jednym z nich trójkątnego występu. Dzięki temu, w obszarze styku występu wydzielanie ciepła zachodzi z większą intensywnością, co umożliwia uzyskanie szybkiego uplastycznienie tworzywa w tym obszarze.



Rys. 15. Schemat zgrzewania ultradźwiękowego: a) bezpośredniego, b) pośredniego: 1 - sonotroda, 2 - kowadło, 3 - transformator ultradźwiękowy, 4 - elementy zgrzewane, 5 - przetwornik ultradźwiękowy [19]

### **Zgrzewanie pojemnościowe**

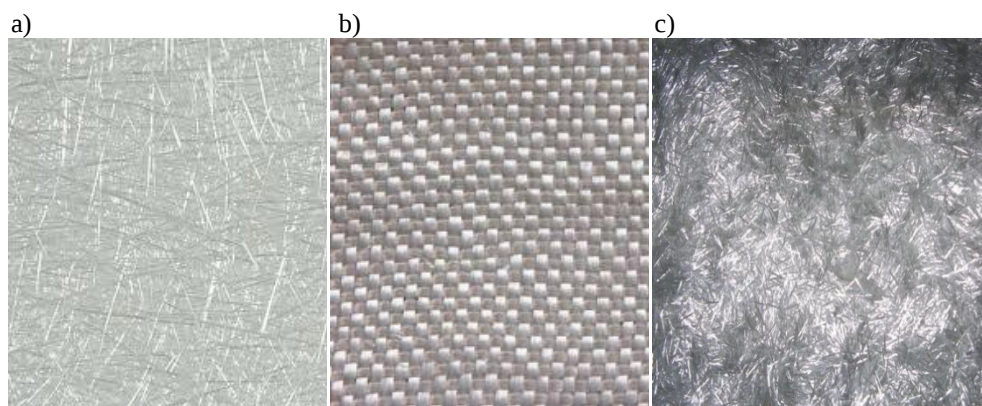
Podczas zgrzewania pojemnościowego uplastycznienie elementów łączonych zachodzi pomiędzy listwami, będącymi elektrodami kondensatora. Zmienne pole elektryczne powoduje nagrzewanie tworzywa w całej masie [11, 27]. Po procesie zgrzewania następuje ochłodzenie obszaru zgrzeiny oraz wyjęcie elementów spod elektrod (rys. 16) . Metoda ta znajduje zastosowanie przede wszystkim do łączenia folii PVC ze względu na jej wysoki współczynnik strat dielektrycznych. Jednak z uwagi na możliwość przebicia elektrycznego nie zgrzewa się pojemnościowo folii o grubości poniżej 0,1 mm.



Rys. 16. Zasada zgrzewania pojemnościowego: a) schemat ogólny, b) schemat przykładowego rozkładu temperatury w folii mającej jednakową grubość oraz taką samą wartość współczynnika strat dielektrycznych; 1 - elektrody, 2 - folie zgrzewane, 3 - generator prądu, 4 - układ sterowania, 5 - krzywa rozkładu temperatury [19]

### 3. Laminowanie

Laminowanie w ogólnym pojęciu polega na pokrywaniu obiektów konstrukcyjnych tworzywem polimerowym. Laminat jest to rodzaj kompozytu powstający z połączenia co najmniej dwóch materiałów o różnych właściwościach mechanicznych, fizycznych i technologicznych [10, 13, 21, 27]. W laminatach składnik wzmacniający (tzw. zbrojenie) jest układany w postaci warstw, między którymi znajduje się wypełnienie – żywica, pełniące rolę lepiszcza. Warstwy wzmocnienia mogą mieć postać włókien ciągłych ułożonych jednokierunkowo (znanych jako roving) oraz postać tkanin lub mat z włókna ciętego (rys. 17).



Rys. 17. Wygląd powierzchni wytworów uzyskanych w wyniku laminowania w zależności od różnej postaci składników wzmacniających: a) mata, b) roving, c) włókno szklane

Otrzymany w wyniku laminowania wytwór, ze względu na swoją strukturę, ma anizotropię właściwości mechanicznych. Wytrzymałość i sztywność laminatu jest bezpośrednio zależna od metody wytwarzania oraz kierunku ułożenia włókien. Konstrukcje wykonane z laminatów charakteryzują się mniejszą masą przy większej wytrzymałości w porównaniu do większości konstrukcji utworzonych z materiałów jednorodnych.

#### *Żywica*

Jest to substancja chemiczna będąca w przypadku laminatów jednocześnie spoiwem jak i elementem konstrukcyjnym, który po utwardzeniu łączy kolejne warstwy wzmocnienia ze sobą [4, 10, 24]. Największe zastosowanie w przemyśle mają żywice epoksydowe. Większość żywic epoksydowych wytwarza się przez polikondensację dihydroksydwufenylopropanu, tzw. dianu (występującego w postaci proszku) z epichlorohydryną (cieczą) otrzymując żywicę dianową. W zależności od ciężaru cząsteczkowego mogą one mieć formę lepkiej cie-

czy lub termoplastycznego ciała stałego. Wytwór użytkowy w postaci laminatu uzyskuje się przekształcając żywicę w wyniku usieciowania przestrzennego, w produkt nietopliwy i nierozpuszczalny. Usieciowanie przestrzenne żywicy następuje w wyniku reakcji chemicznej zawartych w niej grup funkcyjnych z odpowiednio dobranym środkiem sieciującym, tj. utwardzaczem [7, 10, 28].

W zależności od oczekiwanych cech laminatu odpowiedni rodzaj maty, tkaniny lub rovingu dobiera się do rodzaju żywicy i utwardzacza, niekiedy także z wykorzystaniem rozcieńczalnika. Podstawowe właściwości żywic przedstawiono w tabeli 3. Różne stany skupienia w jakich występują żywice pogrupowano przedstawiając właściwości: żywicy nieutwardzonej oraz żywicy utwardzonej.

Tabela 3. Właściwości żywicy epoksydowej typu Epidian

| Właściwości                                                                                 | Jednostka         | Żywica E51  | Żywica E52  | Żywica E53  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| Żywica nieutwardzona                                                                        |                   |             |             |             |
| Lepkość w temp. 20 <sup>0</sup> C                                                           | mPa·s             | 4000        | 1200 ÷ 1400 | 800 ÷ 1300  |
| Gęstość w temp. 20 <sup>0</sup> C                                                           | kg/m <sup>3</sup> | 1130 ÷ 1160 | 1110 ÷ 1160 | 1110 ÷ 1150 |
| Liczba epoksydowa                                                                           | val/100g          | min. 0,39   | 0,51 ÷ 0,53 | min. 0,41   |
| Czas żelowania z utwardzaczem Z1 w temp. 20 <sup>0</sup> C (10g żywicy + 1g utwardzacza Z1) | min               | ≥200        | ≥80         | ≥200        |
| Żywica utwardzona                                                                           |                   |             |             |             |
| Wytrzymałość na zginanie                                                                    | MPa               | 83 ÷ 93     | 100 ÷ 130   | 68 ÷ 78     |
| Wytrzymałość na rozciąganie                                                                 | MPa               | 49 ÷ 80     | -           | 50 ÷ 80     |
| Wytrzymałość na ściskanie                                                                   | MPa               | 68 ÷ 90     | 110 ÷ 130   | 80 ÷ 110    |
| Temperatura ugięcia wg Martensa                                                             | <sup>0</sup> C    | 50 ÷ 55     | 80          | 50 ÷ 55     |
| Twardość metodą wciskania kulki                                                             | MPa               | 98          | -           | 98          |

### ***Utwardzacz***

Utwardzacz jest to substancja chemiczna dodawana do żywicy w celu usieciowania, którego efektem jest jej utwardzenie. Żywice zmieszane z utwardzaczem przekształcają się w chemicznym procesie utwardzania na zasadzie poliaddycji w wielocząsteczkowe tworzywa chemoutwardzalne [4, 10, 13]. Reakcja utwardzania jest egzotermiczna. Zbyt wysoki udział utwardzacza prowadzi do zwiększenia „kleistości”, zmiękczenia lub pęcznienia masy, natomiast zbyt niska jego zawartość (do ok. 7%) powoduje podwyższenie sił wiążących spoiwo z podłożem. W przypadku żywic epoksydowych proces utwardzania przebiega bez ubocznych produktów reakcji, które wydzielają się przy utwardzaniu konwencjonalnych tworzyw termoutwardzalnych (fenolowych lub mocznikowych). Podczas utwardzania następuje kontrakcja - skurcz objętościowy, który może spowodować niepożądane naprężenia. Jednym z najczęściej stosowanych utwardzaczy jest trietylenotetraamina. Jest to ciecz silnie alkaliczna, o barwie żółtej i charakterystycznym zapachu.

### ***Rozcieńczalnik***

Rozcieńczalnik stosuje się wtedy, gdy żywica ma dużą lepkość, co w wielu przypadkach utrudnia jej stosowanie i przetwarzanie. Zmniejszenie lepkości mieszaniny uzyskuje się stosując rozcieńczalniki nieaktywne lub aktywne. Rozcieńczalniki nieaktywne, nie biorą udziału w reakcji i pozostają nie związane z utwardzoną żywicą, należą do nich węglowodory aromatyczne, ftalany lub metakrylany. Rozcieńczalniki aktywne reagują z żywicą lub utwardzaczem, dotyczy to mieszanin zawierających etery monoglicydowe, tlenki styrenu, tlenki olefin i inne. Do rozcieńczania dianowych żywic epoksydowych i epoksynowolaków używa się także innych żywic o małej lepkości. W przeciwieństwie do rozcieńczalników nie zmniejszają one reaktywności układu, więc można je wprowadzać w znacznie większych ilościach i stosować zarówno w kompozycjach utwardzanych na zimno, jak i na gorąco. Ich wpływ na właściwości kompozycji po utwardzeniu zależy od typu rozcieńczalnika. Najczęściej stosuje się etery glicydylowe glikoli (alifatyczne żywice epoksydowe) oraz niektóre ciekłe żywice cykloalifatyczne [4, 10, 13, 26].

### ***Charakterystyka metod laminowania***

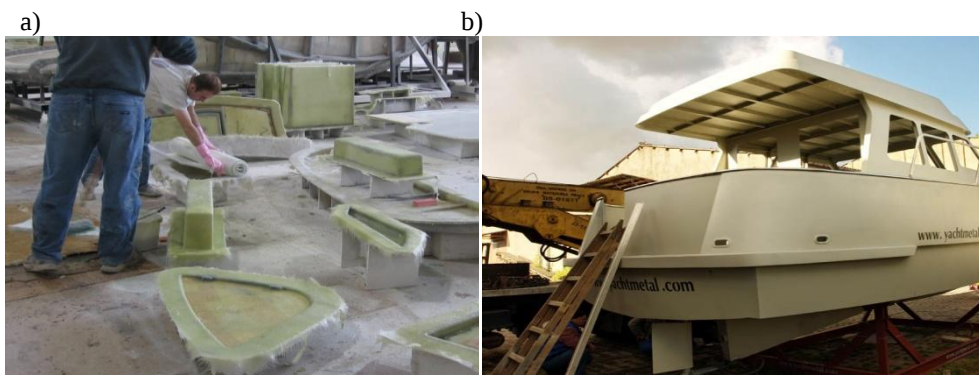
Dobór metody laminowania zależy od rodzaju zastosowanych tworzyw,żądanego kształtu oraz wymiarów wytworu, jak także w zależności od szczególnych wymagań użytkowych [4, 13, 23, 27]. Z tego względu wyróżnia się następujące metody otrzymywania laminatów:

- laminowanie ręczne – nakładanie,
- laminowanie natryskowe,
- prasowanie płytowe,
- przeciąganie (pultruzja),
- nawijanie.

Proces laminowania przeprowadza się ręcznie lub z użyciem specjalnych urządzeń mechanicznych, jednak zawsze do uzyskania wymaganego kształtu stosuje się narzędzie - formę do laminowania. Formy do laminowania dzielą się na wewnętrzne (mające wklęsłą powierzchnię formującą) oraz zewnętrzne (mające wypukłą powierzchnię formującą). Na wymaganej powierzchni formującej tworzy się zarys geometryczny wytworu. Kolejnym etapem procesu laminowania jest utwardzanie poszczególnych warstw laminatu, które może odbywać się zarówno w temperaturze normalnej jak i podwyższonej z wykorzystaniem promienników podczerwieni jako źródeł ciepła. Warunki i czas utwardzania laminatu zależą w dużym stopniu od jego rodzaju, kształtu i wymiarów. Przykładowy czas żelowania większości stosowanych do laminowania żywic wynosi ok. 30 minut (przy temperaturze  $80\div 100^{\circ}\text{C}$ ). Dla uzyskania gładkiej powierzchni laminatu nadmiar żywicy odbiera się do specjalnych pojemników lub stosuje się po utwardzeniu obróbkę mechaniczną. Obróbka mechaniczna laminatów nie odbiega w zasadzie od ogólnych zasad obróbki tworzyw wzmocnionych. Ze względu na dużą zawartość wzmocnienia często stosuje się narzędzia tnące z ostrzami diamentowymi lub ostrzami z węglików spiekanych.

### ***Laminowanie ręczne i natryskowe***

Laminowanie ręczne, zwane nakładaniem, wykonuje się przy użyciu formy lub płyty, na którą nanosi się bez użycia dodatkowych urządzeń, w odpowiedniej kolejności poszczególne wzmocnienia w postaci tkaniny, maty lub rovingu wraz z odpowiednio dobraną żywicą [11, 27]. Forma, najczęściej zewnętrzna, może być wykonana z różnych materiałów: gipsu, tworzywa, drewna lub metalu. Zakres wytwarzanych wytworów obejmuje elementy powłokowe o bardzo dużych wymiarach (rys. 18), na przykład kadłuby jednostek pływających, skrubery, zbiorniki, a także małe wyroby, niekiedy o skomplikowanych kształtach.



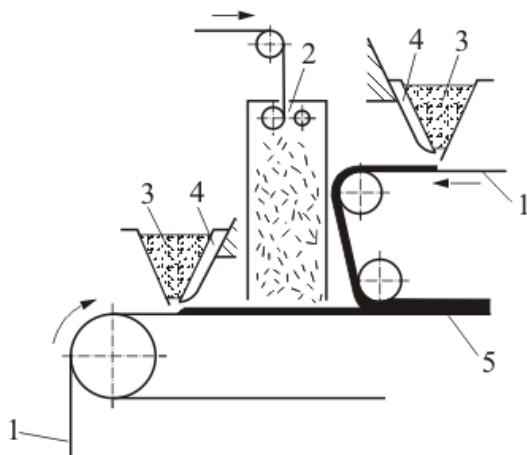
Rys. 18. Przykłady wykonania poszczególnych elementów kadłuba łodzi otrzymanego metodą laminowania; a) wygląd form poszczególnych elementów składowych, b) wygląd gotowego wyrobu [15]

Minimalna grubość ścianki wytwarzanych elementów wynosi około 1,5 mm. W kadłubach jednostek pływających oraz elementach przemysłowej aparatury odpornej na związki chemiczne, grubość ścianek wytworów powinna zawierać się z zakresie od 10÷40 mm. Metodą laminowania wytwarza się wytwory prototypowe lub o małej liczbie, przeważnie kilkadziesiąt do kilkuset sztuk.

Laminowanie ręczne stosuje się przy wytwarzaniu takich wytworów jak: pojemniki, wanny przemysłowe, kabiny - elementy nadwozi ciężarówek, traktorów, kolejek linowych itp. Powierzchnia wyrobu od strony formy jest gładka i to ona z reguły decyduje o właściwościach estetycznych wyrobu. Powierzchnia przeciwna jest nierówna, często z widocznymi poszczególnymi warstwami wzmocnienia.

### ***Laminowanie natryskowe***

Laminowanie natryskowe polega na tym, że zarówno żywicę jak i włókno nanosi się w postaci ciekłej zawiesiny z użyciem specjalnej dyszy natryskowej [11, 19, 27]. Włókna w postaci rovingu są podawane do dyszy natryskowej w układzie ciągłym i dopiero w niej są cięte na odcinki o długości 0,3mm do 13mm. W efekcie tego strumień powietrza „narzuca” włókno wraz z żywicą na powierzchnię formy (rys. 19). Sposobem tym wytwarza się między innymi laminat o strukturze wzmocnienia podobny do maty CSM.



Rys. 19. Schemat procesu laminowania natryskowego w układzie ciągłym: 1 - folia polimerowa, 2 - urządzenie do cięcia włókien, 3 - zbiornik ze spoiwem (żywicą), 4 - zgarniacz, 5 - taśma laminatu pokrytego dwustronnie folią

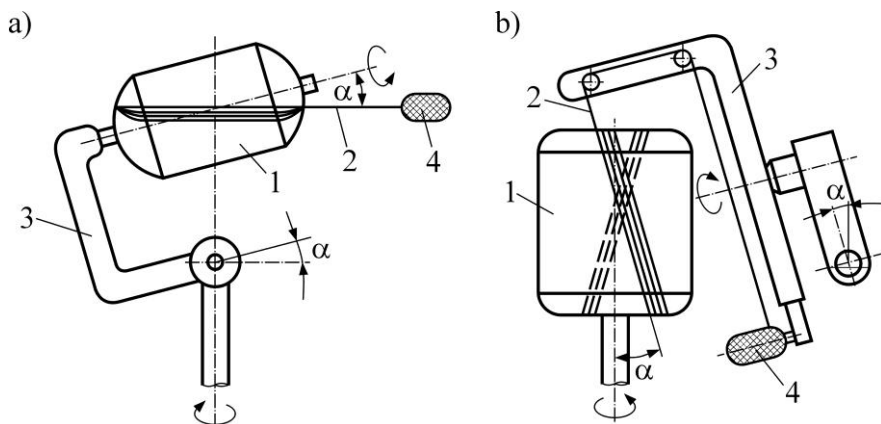
Wydajność laminowania natryskowego jest większa od laminowania ręcznego. Brzegi wytwarzanego wytworu z reguły muszą być wyrównywane w wyniku dodatkowej obróbki mechanicznej. Elementy wytwarzane metodą laminowania natryskowego cechuje stosunkowo duża skłonność do powstawania pęcherzy, które powodują pogorszenie wytrzymałości mechanicznej.



Rys. 20. Wygląd laminowania natryskowego z wykorzystaniem pistoletu

### ***Laminowanie przez nawijanie***

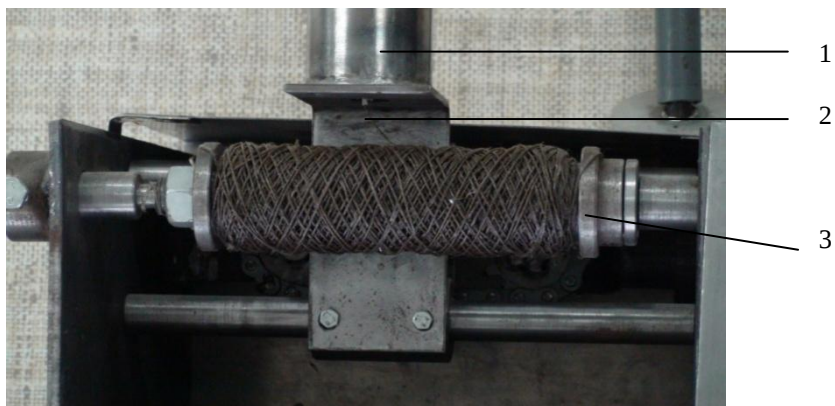
Metoda laminowania tym sposobem polega na nawijaniu na odpowiedni rdzeń (rys. 21) wstępnie naprężonego włóknistego wzmocnienia (tzw. nawoju), przesyconego spoiwem, tworzącego po utwardzeniu gotowy wytwór w postaci zbiornika. Jako wzmocnienie stosuje się najczęściej włókno szklane, a jako spoiwo - żywice epoksydowe lub poliestrowe [4, 13, 17, 27].



Rys. 21. Schemat planetarnego nawijania zbiornika: a) ruchem planetarnym formy, b) ruchem obrotowym formy i głowicy nawijającej; 1 - forma do nawijania, 2 - włókniste wzmocnienie (nawój), 3 - ramię obrotowe, 4 - głowica nawijająca,  $\alpha$  - kąt charakterystyczny [19]

Stosując metodę nawijania otrzymuje się wytwory o dużej wytrzymałości mechanicznej, przy względnie małej masie. Proces nawijania przeprowadza się z wykorzystaniem urządzenia - nawijarki (rys. 22), gdzie w górnej jej części umieszczony jest pojemnik impregnacyjny, służący do przesycania spoiwem nawijanych na rdzeń pasm włókien szklanych. Rdzeń wprowadzany jest w ruch obrotowy poprzez układ napędowy, wyposażony w przekładnię pasową oraz silnik trójfazowy prądu przemiennego.

Metodą nawijania wykonywane są takie wyroby jak np. dziobowe zakończenia kadłubów samolotów, lufy artyleryjskie i karabinowe, maszty antenowe, cysterny kolejowe i samochodowe, zbiorniki ciśnieniowe, zwykłe zbiorniki przemysłowe, rury, wędziska, boje pływające, kominy i wyciągi przemysłowe, i inne [11, 19]. Proces otrzymywania wytworu przez nawijanie obejmuje zazwyczaj następujące etapy: przygotowanie i obróbkę wstępną rdzenia do nawijania, nawijanie właściwe, utwardzanie, usuwanie wytworu z rdzenia oraz obróbkę mechaniczną, wykańczającą.



Rys. 22. Wygląd fragmentu urządzenia do nawijania śrubowego: 1 - pojemnik impregnacyjny, 2 - pojedyncze włókno szklane, 3 - rdzeń nawijarki

W odróżnieniu od innych metod wytwarzania wytworów z tworzyw wzmocnianych włóknem szklanym, metoda nawijania charakteryzuje się tym, że:

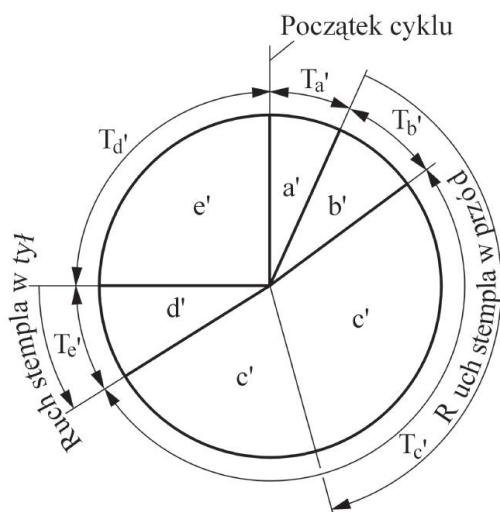
- pozwala na uzyskanie znacznej zawartości szkła w laminacie, a więc wyjątkowo dużej wytrzymałości mechanicznej wytworu,
- umożliwia uzyskanie wymaganego układu włókien w gotowym wytworze który może być regulowany zgodnie z założeniami konstrukcyjno-wytrzymałościowymi,
- ma duży stopień zmechanizowania, co pozwala na otrzymywanie wytworów o powtarzalnych kształtach i wymiarach, a otrzymywane wytwory mają wymagane, ściśle określone właściwości mechaniczne.



## 4. Prasowanie

Prasowanie jest metodą przetwórstwa polegającą na cyklicznym wprowadzaniu tworzywa do zamykanego gniazda formującego, następnie jego uplastycznieniu i stapianiu w zamkniętym gnieździe formującym, po czym następuje utwardzenie lub zestalenie tworzywa. Proces prasowania kończy się usunięciem z narzędzia gotowego przedmiotu, zwanego w tym przypadku wypraską prasowniczą. Proces prasowania przeprowadza się przy wykorzystaniu pras hydraulicznych lub bez ich pomocy, jednak zawsze z użyciem narzędzia – formy prasowniczej mającej gniazdo formujące. Formy do prasowania mogą być jednobądź wielogniazdowe [1, 16, 27, 29].

Prasowanie, początkowo realizowane jako tłoczne, należy do najstarszych metod przetwórstwa i było stosowane już w końcu XIX wieku. Począwszy od pierwszej dekady XX stulecia, kiedy opracowano przemysłową metodę produkcji tworzyw fenolowych na dużą skalę, do lat pięćdziesiątych prasowanie było wiodącą metodą przetwórstwa tworzyw. Wprowadzenie na rynek w końcu lat trzydziestych XX wieku tworzyw termoplastycznych, rozwój uplastyczniania ślimakowego i konstrukcji wtryskarek oraz późniejsze opracowanie technologii wtryskiwania tworzyw utwardzalnych stopniowo zmniejszały znaczenie prasowania, niemniej jednak do chwili obecnej proces ten ma nadal znaczenie przemysłowe, szczególnie w odniesieniu do jego nowoczesnych odmian.



Rys. 23. Poglądowe przedstawienie cyklu procesu prasowania tłoczego: a - napelnianie, b - zamykanie, c - sprasowanie, d - otwieranie, e - przerwa; litera T z indeksami od a' do e' oznacza czasy składowe poszczególnych faz cyklu [19]

Proces prasowania jest procesem cyklicznym. Cykl prasowania na przykładzie prasowania tłoczego został przedstawiony na rys. 23 i składa się z następujących faz [19, 27]:

- napełnienia gniazda formy prasowniczej ilością tworzywa potrzebną do uzyskania wypraski prasowniczej - faza zwana napełnianiem,
- zamykanie formy, uplastycznienie tworzywa, nieznaczne uchylenie formy (odgazowanie) – faza zwana zamykaniem,
- zamknięcie formy siłą całkowitą, stapianie tworzywa i następnie jego utwardzenie lub zestalenie, powodujące powstanie wypraski prasowniczej – faza zwana sprasowaniem,
- zmniejszanie siły zamykającej formę, otwieranie i wypchnięcie wypraski z gniazda – faza zwana otwieraniem,
- zabiegi na otwartej formie, na przykład zakładanie rdzeni, zaprasek, czyszczenie formy – faza określana jako przerwa.

Pojęciem tłoczywa określa się tworzywo wejściowe do procesu prasowania, znajdujące się w postaci proszku, tabletek, skrawków bądź arkuszy, składające się z żywicy utwardzalnej i składników dodatkowych, na przykład napelniacza, środków barwiących, smarujących i innych.

Wielkością charakteryzującą ogólnie proces prasowania tłoczyw jest współczynnik sprasowania tłoczyw  $K$ , definiowany jako stosunek gęstości wypraski  $\rho_w$  do gęstości nasypowej tłoczywa  $\rho_n$ :

$$K = \frac{\rho_w}{\rho_n} \quad (1)$$

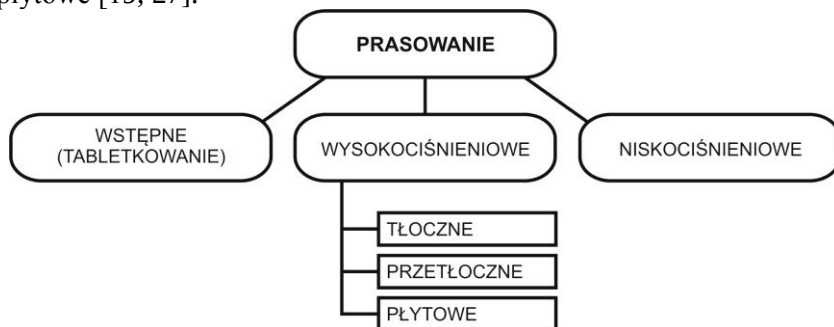
gdzie:

$\rho_w$  - gęstość wypraski,  $\text{kg/m}^3$ ,

$\rho_n$  - gęstość nasypowa tłoczywa,  $\text{kg/m}^3$ .

Współczynnik  $K$  zależy głównie od rodzaju tworzywa, ciśnienia prasowania i rozmiarów ziaren tłoczywa, przykładowo wartość  $K$  dla proszku PTFE zawiera się w granicach  $3,5 \div 7$ , rosnąc wraz z powiększaniem się ciśnienia prasowania i zmniejszaniem się rozmiarów ziaren [14, 27].

Prasowanie dzieli się na kilka odmian (rys. 24), wśród których najważniejsze są: prasowanie wstępne, zwane często tabletkowaniem, prasowanie niskociśnieniowe oraz prasowanie wysokociśnieniowe, które może być tłoczne, przetłoczne i płytowe [19, 27].

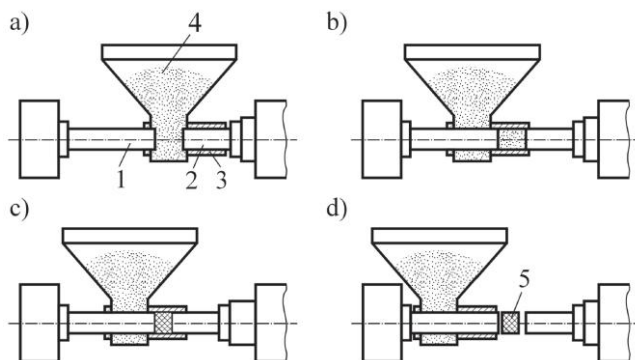


Rys. 24. Rodzaje prasowania tworzyw

Stanowisko technologiczne, przy pomocy którego odbywa się zazwyczaj proces prasowania, składa się najczęściej z prasy, urządzenia do dozowania tworzywa wejściowego, urządzenia odbierającego oraz z oprzyrządowania technologicznego. Prasa do prasowania tworzyw ma z reguły napęd hydrauliczny oraz pionowy układ zamykania formy prasowniczej i w istocie nie różni się od pras hydraulicznych stosowanych do obróbki plastycznej metali. Prasy do prasowania tworzyw mogą być wyposażone w dodatkowy układ grzewczy, umożliwiający nagrzewanie formy prasowniczej w celu uplastycznienia tworzywa. Stanowiska technologiczne prasowania płytowego i niskociśnieniowego różnią się od stanowisk technologicznych prasowania tłocznego i przetłoczonego zarówno konstrukcją urządzeń uzupełniająco-przygotowawczych, jak i zakończeniowych, co wynika z różnej postaci tworzywa wejściowego [27, 29].

### ***Prasowanie wstępne***

Prasowanie wstępne (tabletkowanie) jest procesem przygotowawczym występującym przed prasowaniem zasadniczym. Ma na celu utworzenie z tworzywa fenolowego lub aminowego początkowo będącego w postaci proszku regularnej, zwartej bryły o ściśle określonych wymiarach (zwanej zwyczajowo tabletką), której zastosowanie w wyraźny sposób poprawia realizację późniejszego procesu prasowania zasadniczego. Otrzymane w wyniku prasowania wstępnego tabletki stanowią materiał wejściowy do prasowania wysokociśnieniowego, zazwyczaj w odmianie tłocznej [27, 29].



Rys. 25. Schemat procesu prasowania wstępnego w układzie poziomym: a) rozpoczęcie wypełniania gniazda formującego, b) zakończenie wypełnianie gniazda, c) sprasowanie, d) otwieranie; 1 - prowadnica nieruchoma (matryca), 2 - stempel ruchomy, 3 - boczna część matrycy, 4 - tłoczywo w ruchomym zasobniku, 5 - tabletkę [19]

Tabletkowanie polega na umieszczeniu odpowiedniej ilości tłoczywa w postaci proszku w gnieździe formującym prasowniczej formy do tabletkowania, mającym najczęściej kształt walca kołowego i wywarcu na niego ciśnienia naj-

częściej w zakresie od 50 do 200MPa. Prasowanie wstępne jest przeprowadzane na ogół w temperaturze normalnej lub niekiedy podwyższonej, nie przekraczającej zazwyczaj 120°C. Podstawową cechą prasowania wstępnego jest wykonywanie go w temperaturze znacząco niższej od temperatury utwardzania tworzywa [19, 27]. Schemat prasowania wstępnego poziomego został przedstawiony na rys. 25.

Rozróżnia się prasowanie wstępne pionowe, które zwykle służy do otrzymywania tabletek o mniejszych wymiarach oraz prasowanie wstępne poziome, wykorzystywane do wytwarzania większych tabletek. W układach poziomych, zwykle jednogniazdowych otrzymuje się tabletki z przeciętną wydajnością około 1 sztuki na sekundę, natomiast w układzie pionowym, zwykle wielogniazdowym otrzymuje się tabletki o średnicy nie przekraczającej 35mm z wydajnością około 3 sztuk na sekundę [19, 27].

Podczas procesu prasowania wstępnego gęstość tłoczywa zwiększa się w przybliżeniu dwukrotnie, na przykład proszek z tłoczywa fenolowego ma gęstość nasypową około 500kg/m<sup>3</sup>, natomiast tabletki wykonane z tego tłoczywa po prasowaniu wstępnym mają gęstość pozorną około 1000kg/m<sup>3</sup>, podczas gdy wypraski prasownicze mają gęstość normalną około 1400kg/m<sup>3</sup> [14]. Wymiary tabletek (a tym samym objętość tworzywa) powinny być tak dobrane, aby jedna tabletka wystarczyła w danym cyklu prasowania na całkowite wypełnienie gniazda formującego formy prasowniczej i otrzymanie dzięki temu prawidłowej wypraski.

Dzięki stosowaniu do prasowania zasadniczego tłoczywa w formie tabletek zamiast proszku uzyskuje się [27]:

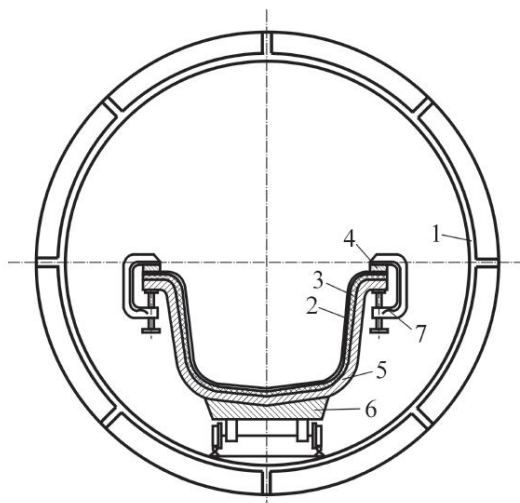
- zwiększenia szybkości i czystości operacji przy napełnianiu gniazda formy,
- zmniejszenia zapylenia stanowiska pracy,
- zmniejszenia wysokości komory zasypowej, co obniża koszt formy,
- zwiększenie możliwości nagrzewania wstępnego.

Maszyny do prasowania wstępnego noszą nazwę tabletkarek i dzielą się na tabletkarki poziome o mechanicznym napędzie form, zwykle mimośrodowym i o napędzie hydraulicznym oraz tabletkarki pionowe, najczęściej obrotowe, zwykle o rolkowo-krzywkowym napędzie form.

### ***Prasowanie niskociśnieniowe***

Prasowaniem niskociśnieniowym nazywa się umownie proces, w którym ciśnienie prasowania nie przekracza 2MPa, a zwykle jest niższe. Odbywa się w temperaturze otoczenia lub w temperaturze podwyższonej, na ogół nie przekraczającej 150°C. Stosuje się je głównie do tworzyw utwardzalnych wypełnionych napełniaczem arkusowym, głównie poliestrowych i epoksydowych, utwardzających się w wyniku kopolimeryzacji rodnikowej i polimeryzacji addycyjnej. Służy głównie do wytwarzania laminatów [19, 20, 27]. Ze względu na niskie ciśnienie prasowania można stosować je do wytwarzania przedmiotów

o dużych rozmiarach, wykorzystując do tego prasy hydrauliczne o specjalnej konstrukcji (górnocylindrowe) bądź przeprowadzając proces bez udziału prasy, uzyskując wymagane ciśnienie prasowania pod ciężarem górnej połowy formy lub wykorzystując ciśnienie powietrza.



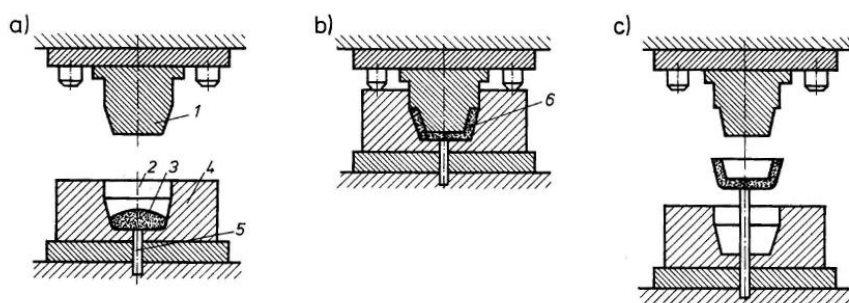
Rys. 26. Schemat procesu prasowania niskociśnieniowego pneumatycznego normalnego: 1 - korpus komory z podwyższonym ciśnieniem powietrza, 2 - płątki z folii, 3 - warstwa laminatu, 4 - listwa uszczelniająca, 5 - gniazdo formy, 6 - wózek, 7 - zaciski śrubowe [19]

Rozróżnia się następujące rodzaje prasowania niskociśnieniowego: z użyciem prasy, pneumatyczne próżniowe, pneumatyczne normalne, które zostało przedstawione na rys. 26, pneumatyczne próżniowo-ciśnieniowe i prasowanie grawitacyjne [19, 27].

### ***Prasowanie wysokociśnieniowe***

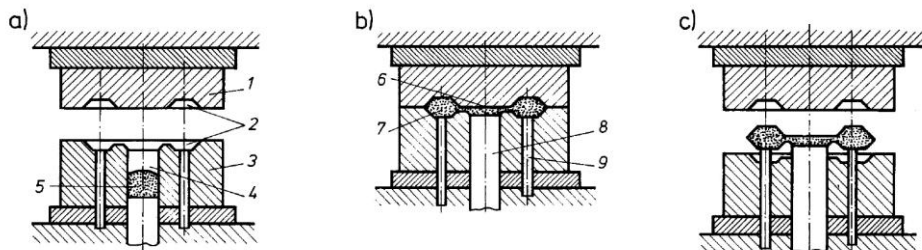
Prasowanie wysokociśnieniowe jest podstawową odmianą prasowania, służącą do wykonywania wyprasek o zróżnicowanych kształtach i wymiarach. Jego cechą charakterystyczną jest wywieranie na przetwarzane tworzywo ciśnienia w zakresie od 20MPa do 90MPa. Prasowanie wysokociśnieniowe odbywa się tylko w temperaturze podwyższonej, na ogół w zakresie od 140 do 200°C [27]. Prasowanie wysokociśnieniowe dzieli się na tłoczne, przetłoczne i płytowe.

Prasowanie tłoczne jest odmianą prasowania wysokociśnieniowego, które stosuje się współcześnie do wytwarzania wyprasek o niższych wymaganiach jakościowych lub do prasowania tworzyw napełnionych napełniaczem włóknistym (niemożliwych do osiągnięcia w procesie wtryskiwania tworzyw utwardzalnych). W prasowaniu tłocznym tworzywo jest podawane bezpośrednio do gniazda formującego, mogąc mieć postać proszku lub tabletek (w celu usprawnienia przebiegu procesu). Forma do prasowania tłoczego, zwana formą tłoczną, składa się w istocie z takich samych podzespołów i elementów jak forma wtryskowa. Formy do prasowania tłoczego są z reguły formami jedno- i dwugniazdowymi. Schemat prasowania tłoczego został przedstawiony na rys. 27.



Rys. 27. Schemat procesu prasowania tłocznego: a) faza napełniania gniazda formy, b) faza sprasowania, c) faza otwierania; 1 – stempel, 2 – gniazdo formujące, 3 - porcja tworzywa, 4 – matryca, 5 - wypychacz, 6 – wypraska [27]

Prasowanie przetłoczone, którego schemat został przedstawiony na rys. 28, jest udoskonaloną metodą prasowania tłocznego. W tej metodzie tworzywo zostaje najpierw wprowadzone do komory zasypowej, w niej zostaje uplastycznione, po czym w stanie plastycznym zostaje przetłoczone pod działaniem tłoka przez kanał przetłoczny do gniazda formującego, gdzie ulega zestaleniu lub utwardzeniu. Formy do prasowania przetłocznego są z reguły formami wielogniazdowymi.



Rys. 28. Schemat procesu prasowania przetłocznego: a) napełnianie tłoczywem komory przetłocznej, b) sprasowanie, c) wypychanie wypraski; 1 - stempel, 2 - gniazda formujące, 3 - matryca, 4 - komora przetłoczna, 5 - tłoczywo, 6 - kanał przetłoczny, 7 - wypraska, 8 - tłok przetłoczny, 9 - wypychacz [17]

W prasowaniu płytowym formę stanowią ogrzewane płyty, a gniazdo formujące – przestrzeń pomiędzy nimi. Prasowanie płytowe stosuje się do wytwarzania płyt prostych i kształtowych (laminatów) wykonanych z tworzyw utwardzających się w wyniku polimeryzacji kondensacyjnej, z dodatkiem napelnacza w postaci płatów, głównie z różnych tkanin i mat, a również z arkuszy papieru i forniru drzewnego [19, 27, 28]. Arkusze napelnacza przesysca się odpowiednią mieszaniną żywicy z innymi składnikami (na przykład katalizatorem, barwnikami itp.) i układa się jeden na drugim, zgodnie z żądanym ukierunkowaniem

elementów makrostruktury, na przykład wzajemnym ułożeniem włókien. Jeżeli grubość przygotowanych do prasowania pakietów jest niewielka, to można jednocześnie prasować je po kilka jednocześnie, stosując odpowiednie płyty przedkładkowe między nimi, co zostało przedstawione na rys. 29.



Rys. 29. Prasa hydrauliczna półkowa do prasowania płytowego kilku arkuszy laminatu jednocześnie [15]

### ***Tworzywa stosowane do prasowania***

Tworzywo wejściowe przeznaczone do procesu prasowania może być w stanie stałym i ma wówczas postać proszku, tabletek, arkuszy lub granulek lub może być w stanie plastycznym bądź ciekłym. Najczęściej stosowane do prasowania są tworzywa utwardzalne fenolowo-formaldehydowe, aminowe, epoksydowe i poliestrowe [4, 7, 13, 24].

Tworzywa fenolowe są tworzywami utwardzalnymi na bazie związków fenolowo-formaldehydowych, otrzymywanych w wyniku polikondensacji fenoli z formaldehydem. Ich właściwości zmieniają się w szerokich granicach, zależnie od stosunku ilości reagentów i składników dodatkowych. Tworzywa fenolowe dzielą się na żywice techniczne do wyrobu tłoczyw, żywice lane (na odlewy), kleje, kity i spoiwa, żywice modyfikowane (do wyrobu lakierów i emalii), żywice impregnacyjne (do wyrobu laminatów) oraz żywice do spieniania [24, 28]. Tłoczyska fenolowe, przeznaczone do prasowania tłocznego i przetłocznego charakteryzują się łatwością przetwórstwa (ciśnienie w zakresie 15÷30MPa, temperatura formy 130÷200°C, czas prasowania 40÷60s/mm grubości wypraski), dobrymi właściwościami mechanicznymi i cieplnymi wyrobów oraz stosunkowo niską ceną [24, 26, 18, 28].

Otrzymywane z tłoczyw fenolowych wypraski prasownicze są nieprzezroczyste, o intensywnym ciemnym zabarwieniu (rys. 30), bardzo odporne na działanie wody i rozpuszczalników, dość odporne na działanie rozcieńczonych kwasów, nieodporne na działanie ługów. Dodatkowymi zaletami są: duży moduł Younga, twarda powierzchnia, odporność cieplna i trudna palność. W skład tłoczyw wchodzi odpowiednie żywice, napelniacze (wpływające na określone

właściwości wyprasek i obniżające ich cenę), barwniki lub pigmenty i środki smarujące. W Polsce tłoczywa fenolowe wytwarza się z żywic fenolowo-formaldehydowych i rzadziej krezolowo-formaldehydowych. Jako napelniacze stosuje się: mączkę drzewną i grafitową, mączkę mineralną w postaci mączki dolomitowej, kredowej, szamotowej, serycytowej, łupku kwarcytowego, mączkę drzewną i mineralną, mączkę mineralną i grafitową, mączkę mikową, proszki metali oraz włókno szklane. Żywice napelniane mączką drzewną są stosowane na wyroby powszechnego użytku, części elektrotechniczne, obudowy aparatów radiowych, telefonicznych, elektrycznych, fotograficznych oraz mniej odpowiedzialne części maszyn. Tłoczywa zawierające napelniacze mineralne są bardziej odporne na działanie temperatury i czynników chemicznych, zawierające kwarc lub mikę — na prądy wielkiej częstotliwości, zawierające napelniacze włókniste mają większą wytrzymałość mechaniczną. Z tłoczyw zawierających proszek lub opłuki metalowe wykonuje się okładziny cierne hamulców i sprzęgieł [24].



Rys. 30. Przykłady przedmiotów wykonanych z tworzyw fenolowych metodą prasowania wysokociśnieniowego tłocznego lub przetłocznego: a) gniazdo elektryczne, b) telefon, c) ścienny włącznik elektryczny [3]

Tworzywa aminowe są tworzywami utwardzalnymi na bazie żywic mocznikowych i melaminowych, otrzymywanych w wyniku polikondensacji związków aminowych z formaldehydem [24, 26, 28]. Wyroby z nich cechuje twardość, sztywność, odporność na działanie wody i rozpuszczalników, odporność cieplna, bezwonność i bezbarwność, możliwość dowolnego barwienia. Przykłady przedmiotów wykonanych z tworzyw aminowych przedstawiono na rys. 31. Stosowane są w postaci tłoczyw, laminatów, tworzyw piankowych, klejów do drewna, wyrobów lakierniczych i żywic technicznych do uszlachetniania w papiernictwie, włókiennictwie i garbarstwie. Tłoczywa aminowe przeznaczone do prasowania wytwarza się z żywic: melaminowych, melaminowych modyfikowanych poliamidem, mocznikowych lub melaminowo-mocznikowych. Jako napelniacze stosuje się bieloną celulozę papierniczą (tłoczywa do wyrobu galanterii, zastaw stołowych, armatury elektrotechnicznej), włókno szklane, mączkę porcelitową, ścinki bawełniane (tłoczywa o zwiększonej odporności cieplnej i wytrzymałości mechanicznej na kształtki elektrotechniczne i części maszyn). Tłoczywa aminowe prasuje się w formach ogrzanych do temperatury  $130 \div 160^{\circ}\text{C}$ , pod ciśnieniem  $30 \div 70 \text{ MPa}$  [24, 27, 28].

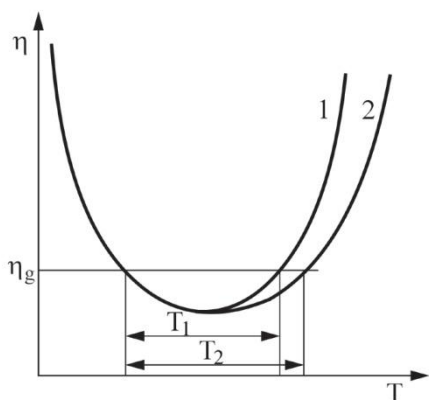


Rys. 31. Przykłady przedmiotów z tworzyw aminowych: a) i b) pojemniki wykonane metodą prasowania wysokociśnieniowego tłocznego oraz c) laminat polimerowo-drzewny otrzymany metodą prasowania niskociśnieniowego [3]

### ***Plastyczność prasownicza Krahla***

Plastyczność prasownicza Krahla (zwana także plastycznością prasowniczą Raschiga-Krahla) jest wskaźnikiem przetwarzalności wyznaczanym dla tworzyw utwardzalnych, głównie tłoczyw fenolowych i aminowych, przeznaczonych do przetwarzania za pomocą prasowania tłocznego i przetłocznego oraz wtryskiwania [5, 9, 14, 27]. Podstawowe informacje o przetwarzalności tworzyw polimerowych oraz o wskaźnikach przetwarzalności tworzyw termoplastycznych zostały przedstawione w podręczniku "Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Ćwiczenia laboratoryjne. Część 1".

Plastyczność prasownicza Krahla jest to zdolność tworzywa utwardzalnego, będącego w stanie plastycznym, do przepływu i wypełniania gniazda formującego o ustalonym kształcie i wymiarach aż do momentu utwardzenia się w tym gnieździe, w ciągu danego czasu, pod określonym ciśnieniem i w danej temperaturze. Ogólna zależność lepkości  $\eta$  od czasu nagrzewania  $T$ , pozwalająca na określenie czasu przydatności tworzywa utwardzalnego do przetwórstwa, została pokazana na rys. 32.

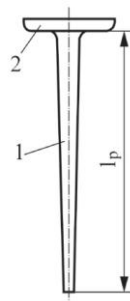
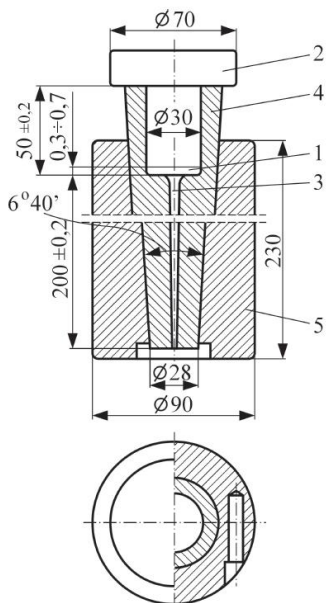


Rys. 32. Poglądowa zależność lepkości  $\eta$  od czasu nagrzewania  $T$  tworzyw utwardzalnych: 1 - tworzywo o dużej szybkości utwardzania, 2 - tworzywo o mniejszej szybkości utwardzania,  $T_1$  - czas dobrej przetwarzalności tworzywa (1),  $T_2$  - czas dobrej przetwarzalności tworzywa (2),  $\eta_g$  - lepkość graniczna, powyżej wartości której tworzywo nie może być już przetwarzane (prasowane bądź wtryskiwane) [19]

Miara plastyczności prasowniczej jest długość stożkowego pręcika pomiarowego specjalnej prasowniczej wypraski pomiarowej. Rozróżnia się plastyczność prasowniczą: złą, średnią, dobrą i bardzo dobrą. Wynikające z tego zakresy długości stożkowego pręcika pomiarowego  $l_p$  są różne dla poszczególnych rodzajów tłoczyw i dla tłoczyw fenolowych oraz aminowych zostały przedstawione w tabeli 3. Do wyznaczenia plastyczności prasowniczej używa się plastografometru Krahla, przyrządu z otwartym gniazdem formującym działającym na zasadzie prasowania tłocznego [5, 14, 27].

Termin "plastyczność prasownicza" został wprowadzony w 1931 r. przez M. Krahla [6, 9] do oceny prasowalności tworzyw utwardzalnych, które w tamtym okresie były główną grupą tworzyw wykorzystywanych w przemyśle, a prasowanie było podstawową metodą przetwórstwa tworzyw polimerowych. Na rys. 34 przedstawiono schemat formy i stempla z plastografometru Krahla, natomiast na rys. 33 jest pokazany wygląd prasowniczej wypraski pomiarowej.

W formie Raschiga-Krahla znajduje się komora wstępna o średnicy 30mm, w której umieszcza się próbkę tłoczywa w postaci tabletki oraz zasadnicze gniazdo formujące w kształcie wąskiego stożka o długości 200mm i pozostałych wymiarach podanych na rys. 33. Powierzchnie komory wstępnej oraz gniazda formującego są szlifowane i chromowane, w celu zmniejszenia oporów przepływu uplastyczniającego się po wpływem wysokiej temperatury tworzywa utwardzalnego [27].



Rys. 33. Wygląd specjalnej prasowniczej wypraski pomiarowej otrzymanej z plastografometru Krahla: 1 - pręcik pomiarowy o różnej długości  $l_p$ , 2 - nasada pręcika nie podlegająca pomiarowi [13]

Rys. 34. Schemat budowy formy i stempla plastografometru Krahla: 1 - komora wstępna, 2 - stempel, 3 - gniazdo formujące, 4 - forma, 5 - korpus (bez aparatury pomiarowej i rejestrującej) [13]

Plastyczność prasownicza zależy od wielu czynników, między innymi stopnia polikondensacji żywicy, rodzaju i stężenia środków pomocniczych (plastyfikatorów, środków poślizgowych), rodzaju i postaci napelnacza, zawartości wilgoci [26, 27, 28]. W zależności od długości pręcika pomiarowego  $l_p$  wypraski charakteryzuje się plastyczność prasowniczą tłoczyw fenolowych i aminowych jako małą, średnią lub dużą. Charakterystykę plastyczności prasowniczej tłoczyw fenolowych i aminowych przedstawiono w tabeli 3 [27].

Tabela 4. Plastyczność prasownicza tłoczyw fenolowych i aminowych w zależności od długości pręcika pomiarowego  $l_p$  wypraski [17]

| Rodzaj tłoczywa | Długość pręcika pomiarowego $l_p$ , mm | Plastyczność prasownicza i jej oznaczenie |
|-----------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Fenolowe        | poniżej 50                             | zła                                       |
|                 | 50 ÷ 100                               | średnia                                   |
|                 | 101 ÷ 160                              | dobra                                     |
|                 | powyżej 160                            | bardzo dobra                              |
| Aminowe         | poniżej 50                             | zła                                       |
|                 | 50 ÷ 80                                | średnia                                   |
|                 | 81 ÷ 120                               | dobra                                     |
|                 | powyżej 120                            | bardzo dobra                              |



## 5. Odlewanie tworzyw

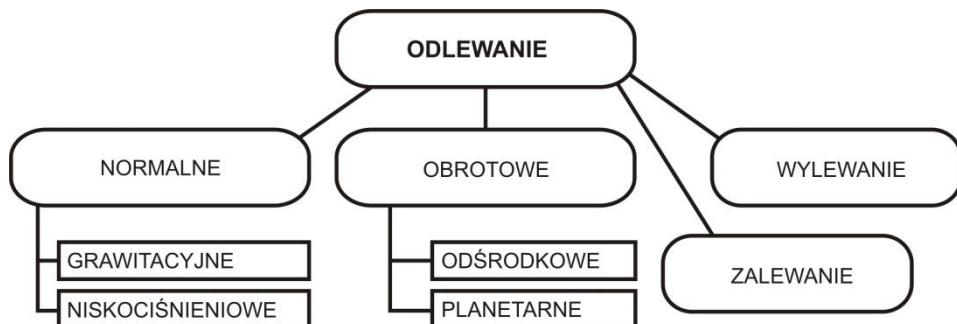
Wytwarzanie przedmiotów z tworzyw polimerowych przy pomocy odlewania jest znane od końca XIX w. Odlewanie było pierwszą z metod przetwórstwa służącą do wykonywania elementów z tworzyw. Z upływem lat i rozwojem przemysłu tworzyw zostało ono wyparte przez prasowanie, a następnie przez wtryskiwanie, ale nadal odlewanie jest metodą przetwórstwa tworzyw niezastąpioną w niektórych przypadkach. Współcześnie taka sytuacja ma miejsce przy produkcji małoseryjnej i jednostkowej, a także w przypadku otrzymywania wyrobów o bardzo dużej masie i/lub objętości. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że odlewanie umożliwia wykonywanie elementów o bardzo zróżnicowanych wymiarach i skomplikowanych kształtach, a specjalne rodzaje odlewania tworzyw pozwalają na wytwarzanie przedmiotów niemożliwych do uzyskania innymi metodami przetwórstwa - jako przykład mogą posłużyć jednorodne wielkogabarytowe zbiorniki, otrzymywane w efekcie odlewania rotacyjnego [8, 21, 27, 29].

Proces odlewania był dawniej stosowany głównie do otrzymywania pojedynczych sztuk lub małych serii przedmiotów, którym nie stawiano specjalnych wymagań technicznych, natomiast w chwili obecnej odlewanie stosuje się coraz częściej do seryjnej produkcji przedmiotów o znaczeniu technicznym, które muszą spełniać wysokie wymagania użytkowe. Odlewanie jest stosowane do wylewania folii, do wytwarzania rur (o różnych średnicach oraz z kołnierzem) oraz do wykonywania różnego rodzaju zbiorników czy pojemników. Jest przy tym stosunkowo prostą metodą przetwórstwa i przykładowo w przypadku odlewania normalnego nie wymaga zastosowania drogich, skomplikowanych i specjalistycznych maszyn czy urządzeń - wystarczy forma o prostej konstrukcji z otwartym gniazdem formującym, którego kształt będzie kształtem gotowego już odlewu.

Odlewanie jest procesem przetwórczym, w wyniku którego następuje przeprowadzenie tworzywa ze stanu ciekłego lub plastycznego (niekiedy również stałego) w stan stały przy użyciu narzędzia zwanego formą odlewniczą. W gnieździe formującym formy odlewniczej tworzywo zestala się lub utwardza na skutek zjawisk fizyczno-chemicznych, bez stosowania ciśnienia lub pod niewielkim ciśnieniem (zwykle nie przekraczającym 0,3MPa), w efekcie czego powstaje przedmiot nazywany odlewem. Kształt otrzymanego odlewu odzwierciedla kształt gniazda formującego narzędzia. Forma odlewnicza może mieć gniazdo formujące otwarte lub zamknięte. Proces odlewania może być przeprowadzany w temperaturze otoczenia lub temperaturze podwyższonej i może zachodzić w sposób ciągły lub cykliczny [8, 27, 29].

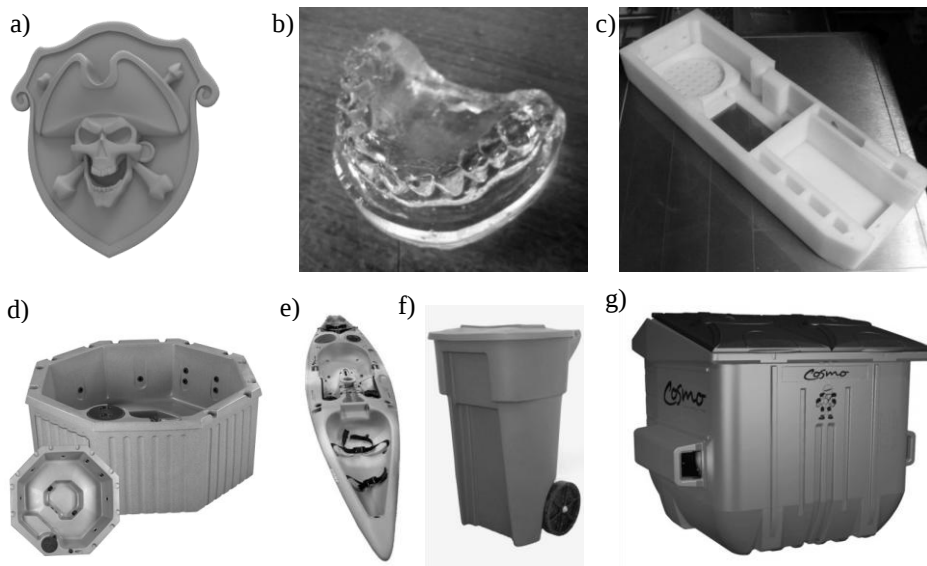
Proces odlewania wykonuje się na ogół za pomocą maszyn odlewniczych przy użyciu narzędzi - form odlewniczych różnej konstrukcji, natomiast w szczególnych przypadkach może on być realizowany bez narzędzia w ścisłym tego słowa znaczeniu (na przykład podczas zalewania).

W procesie odlewania występuje kilka odmian, a podstawowym kryterium podziału jest ciśnienie oraz siła działająca na odlewane tworzywo (rys. 35). Wyróżnia się zatem odlewanie normalne, odlewanie obrotowe oraz zalewanie i wylewanie. Odlewanie normalne dzieli się na odlewanie grawitacyjne i niskociśnieniowe. Do odlewania obrotowego zalicza się odlewanie odśrodkowe oraz planetarne (bardzo często określane również jako rotacyjne) [20, 27, 29].



Rys. 35. Rodzaje odlewania tworzyw

Przykłady części z tworzyw, wykonanych przy wykorzystaniu różnych odmian odlewania zostały przedstawione na rys. 36.



Rys. 36. Przykłady części z tworzyw wykonanych za pomocą różnych odmian odlewania - odlewanie normalne: a) znak herbowy, b) model dentystyczny, c) obudowa; odlewanie obrotowe: d) zbiornik, e) kajak, f) kosz na śmiecie, g) pojemnik na odpady [3]

### ***Odlewanie normalne***

Odlewanie normalne stosuje się najczęściej w przypadku tworzyw chemo-utwardzalnych znajdujących się w temperaturze otoczenia w stanie ciekłym lub plastycznym.

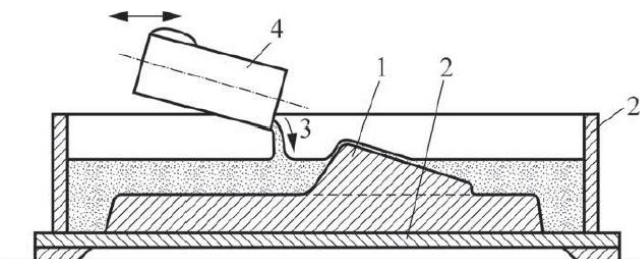
Przygotowanie tworzywa do odlewania polega na zmieszaniu, zwykle przeprowadzanym w sposób mechaniczny, w odpowiednich proporcjach: żywicy, utwardzacza, rozcieńczalnika, napelnacza, środka barwiącego, przyspieszacza i innych środków pomocniczych, zależnie od rodzaju tworzywa, oczekiwanych właściwości przetwórczych oraz właściwości i struktury odlewu po utwardzeniu.

Po przygotowaniu tworzywa do odlewania w przypadku odlewania normalnego następuje wprowadzenie tworzywa do narzędzia w postaci formy odlewniczej w sposób swobodny, pod działaniem siły grawitacji lub nieznacznym ciśnieniem. W formie odlewniczej tworzywo ulega zestaleniu, po czym zostaje usunięte z formy i niekiedy jest poddawane dodatkowej obróbce wykańczającej, na przykład usunięciu nadlewów przy pomocy obróbki skrawaniem.

Właściwości odlewu zależą głównie od przebiegu procesu wypełniania gniazda i sposobu utwardzania [8, 20, 27]. Wpływa się na nie poprzez:

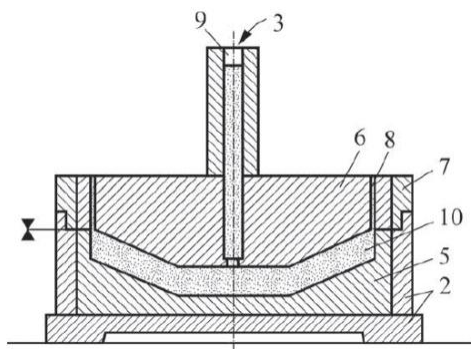
- kinematykę wypełniania gniazda formującego (pod ciśnieniem atmosferycznym lub nieznacznie zwiększonym),
- temperaturę formy (o temperaturze otoczenia lub podwyższonej),
- sposób chłodzenia odlewu (razem z formą odlewniczą lub po wyjęciu z formy).

Odlewanie normalne grawitacyjne (zwane także bezciśnieniowym lub bezpośrednim) jest stosowane wówczas, gdy jedna strona wykonywanego odlewu ma względnie dużą, płaską powierzchnię (na przykład jest to podstawa korpusu). Formę odlewniczą konstruuje się wtedy w taki sposób, aby płaska strona odlewu była ułożona poziomo, stanowiąc jednocześnie otwartą powierzchnię gniazda formującego, dzięki której jest możliwe wlewanie tworzywa do gniazda. Tworzywo wypełnia gniazdo formy pod działaniem siły grawitacji. Przykład odlewania normalnego grawitacyjnego jest przedstawiony na rys. 37.



Rys. 37. Schemat procesu odlewania normalnego grawitacyjnego: 1 - model odlewniczy, 2 - płyta i rama, 3 - wlewane tworzywo, 4 - naczynie z tworzywem przygotowanym do odlewania [19]

Odlewanie normalne niskociśnieniowe (zwane także pośrednim) pozwala na otrzymywanie przedmiotów o powierzchniach znajdujących się nie poziomo w trakcie wprowadzania tworzywa do gniazda formy odlewniczej. Uważa się również, że odlewanie niskociśnieniowe zapewnia lepsze właściwości odlewu i w znaczący sposób ogranicza emisję do atmosfery ubocznych produktów procesu utwardzania. Schemat odlewania normalnego niskociśnieniowego został pokazany na rys. 38.



Rys. 38. Schemat odlewania normalnego niskociśnieniowego: 2 - płyta i rama, 3 - wlewanie tworzywa, 5 - matryca, 6 - stempel, 7 - obudowa stempla, 8 - kanały odpowietrzające, 9 - kanał odlewniczy, 10 - odlew [19]

Podczas procesu utwardzania tworzyw chemoutwardzalnych, w szczególności epoksydowych, mogą występować reakcje egzotermiczne o znacznym nasileniu. Intensywność wydzielania ciepła zależy od jakości i ilości stosowanego utwardzacza [4, 7, 18, 26, 28].

Jeśli odlewanie jest przeprowadzane w formie nieogrzewanej, to po wypełnieniu gniazda proces utwardzania jest intensywniejszy we wnętrzu odlewu, gdzie panuje najwyższa temperatura i na skutek ochładzania w kierunku ścianki formy jego intensywność spada. Odlew utwardza się zawsze w warunkach określonej szybkości chłodzenia.

W przypadku formy ogrzewanej proces utwardzania jest intensywniejszy w obrębie tworzywa przylegającego do gniazda, gdyż tam występuje temperatura najwyższa i coraz mniej intensywny w kierunku wnętrza odlewu, gdzie temperatura jest najniższa. Ochładzanie odlewu praktycznie rozpoczyna się w momencie wypełniania gniazda formującego i trwa do chwili wyjęcia go z gorącej formy bądź chłodzenia razem z formą.

Budowa formy i związany z tym sposób chłodzenia wpływają na właściwości i strukturę odlewów - w odlewach z form ogrzewanych występują mniejsze naprężenia własne i związane z nimi odkształcenia odlewów.

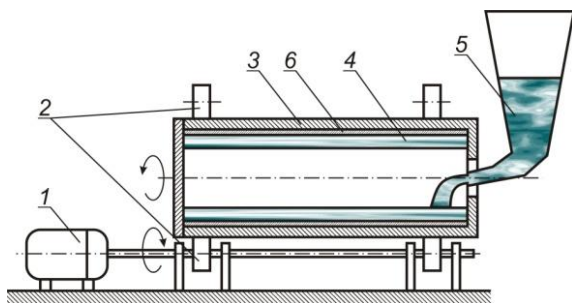
Konstrukcja form do odlewania normalnego jest bardzo różnorodna i zależy od wielkości i kształtu odlewu. Zwykle są to formy jednogniazdowe, najczęściej wykonywane ze stopów żelaza lub metali lekkich, a w przypadku wytwarzania niedużych serii bądź pojedynczych odlewów można wykonywać je także z tworzyw, drewna lub gipsu [7, 27].

### Odlewanie obrotowe

Odlewanie obrotowe jest procesem przetwórczym, w którym wykorzystuje się siłę odśrodkową działającą na tworzywo odlewane, znajdujące się w gnieździe formującym formy wewnętrznej dzielonej bądź wykorzystuje się również ciśnienie zewnętrzne. Przy pomocy odlewania obrotowego wytwarza się przede wszystkim zbiorniki, rury i inne elementy osiowo symetryczne, w szczególności o wyjątkowo dużych wymiarach zewnętrznych, których nie można otrzymać przy zastosowaniu innych metod przetwórstwa polimerów [20, 9, 27].

Podczas odlewania obrotowego załadowana tworzywem forma wraz z układem napędowym obraca się, w efekcie czego na ciekłe lub uplastycznione tworzywo oddziałuje siła odśrodkowa. Jeżeli forma odlewnicza wykonuje ruch obrotowy wokół jednej osi, wtedy występuje proces **odlewania odśrodkowego**, przedstawiony schematycznie na rys. 39. Gdy forma odlewnicza wykonuje wokół dwóch lub więcej osi ruch planetarny, z ewentualnym kołowo-zwrotnym ruchem pomocniczym, wtedy proces takiego odlewania nazywa się **odlewaniem planetarnym** (określanym także jako **rotacyjne**), którego schemat pokazano na rys. 40 [2, 6, 27].

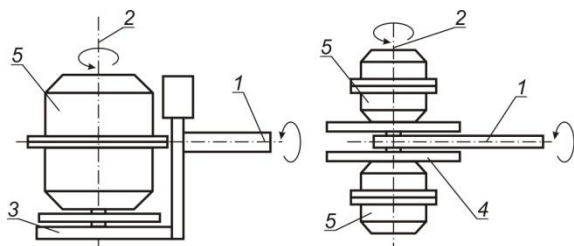
W przypadku odlewania odśrodkowego siła pochodząca od obrotu wokół jednej osi ma za zadanie równomiernie rozprowadzić tworzywo przede wszystkim po ściankach formy równoległych do tej osi. Ma to podstawowe znaczenie z uwagi na cechy użytkowe wytworu wykonanego tą metodą odlewania (na przykład zachowanie jednolitej grubości ścianki rury z kołnierzem). Boczne ścianki formy odlewniczej, prostopadłe do jej osi obrotu, mają za zadanie uniemożliwić wypływanie tworzywa z formy i nadać jej odpowiednią sztywność.



Rys. 39. Schemat procesu odlewania odśrodkowego: 1 - silnik, 2 - przekładnia z rolkami napędowymi, 3 - forma odlewnicza, 4 - odlew, 5 - zbiornik z ciekłym tworzywem, 6 - powłoka antyadhezyjna formy odlewniczej [11]

Cechą charakterystyczną odlewania planetarnego, przedstawionego na rys. 40, jest równomierne rozprowadzenie stopionego tworzywa po wszystkich ściankach gniazda formującego na skutek działania siły odśrodkowej, pochodzącej od jednoczesnego obrotu wokół co najmniej dwóch osi. Kształt gniazda formującego formy do odlewania rotacyjnego odzwierciedla zewnętrzną powierzchnię odlewanej powierzchni przedmiotu (w postaci zbiornika), podczas gdy powierzchnia wewnętrzna odlewu jest kształtowana swobodnie na skutek ruchu tworzywa pod wpływem siły odśrodkowej [2, 6, 19, 27].

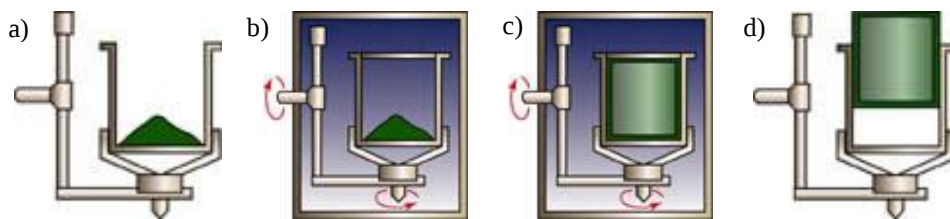
Tworzywo w metodzie odlewania planetarnego jest wprowadzane do formy najczęściej w postaci proszku lub mikrogranulek, po czym na skutek ogrzewania formy odlewniczej ulega stopieniu w jej gnieździe. Forma do odlewania planetarnego jest ogrzewana przy pomocy gazów spalinowych lub gorącego powietrza. Ruch spalin ogrzewających formę wzmagany jest przez wentylator, co powoduje wyrównanie temperatury w całej komorze i poprawę współczynnika wnikania ciepła do formy.



Rys. 40. Schemat odlewania planetarnego: 1 - główna oś obrotu, 2 - pomocnicza oś obrotu, 3 - ramię mimośrodowe, 4 - ramię proste, 5 - forma odlewnicza [11]

W omawianej technologii forma jest dzielona i składa się z kilku części, a jej budowa jest uzależniona od kształtu odlewu i konieczności takiego ułożenia linii podziału formy, aby umożliwić poprawne usunięcie gotowego odlewu z formy [2, 6, 19, 27]. Forma odlewnicza posiada gniazdo o kształcie i wymiarach odpowiadających kształtowi i wymiarom zewnętrznym odlewu, dzięki czemu gotowy odlew nie zawiera nadatków materiału po wyjęciu z formy, bowiem ewentualny nadmiar (lub niedomiar) tworzywa nie zmienia kształtu odlewu, a jedynie wpływa na grubość ścianek.

Odlewanie planetarne jest procesem cyklicznym i wyróżnia się w nim następujące fazy: załadunek, ogrzewanie, chłodzenie oraz wyładunek, przedstawione na rys. 41.



Rys. 41. Fazy procesu odlewania planetarnego: a) załadunek, b) ogrzewanie, c) chłodzenie, d) wyładunek [15]

W fazie załadunku do otwartej formy wsypywana jest odważona porcja tworzywa, najczęściej w postaci proszku. Jeżeli tworzywo przed rozdrobnieniem do postaci proszku nie było barwione, wówczas barwnik w postaci proszku jest mieszany z proszkiem tworzywa przed załadunkiem.

W fazie nagrzewania forma jest już zamknięta i rozpoczyna się jej nagrzewanie w sposób zależny od rodzaju maszyny. Wtedy sproszkowane tworzywo przechodzi w stan plastyczny lub ciekły i na skutek siły odśrodkowej wywołanej ruchem obrotowym formy zaczyna przylegać do powierzchni ścianek formy. Najczęściej stosowanymi zamknięciami do formy są szybko zwalniane zaciski.

Faza chłodzenia zaczyna się w momencie, w którym zakończy się etap równomiernego pokrywania ścianek formy odlewniczej tworzywem, zapewniający osiągnięcie założonej uprzednio grubości ścianki odlewu. Po wyłączeniu grzania i rozpoczęciu chłodzenia (zazwyczaj zimnym powietrzem) ruch planetarny formy wciąż jest kontynuowany, a tworzywo stopniowo zestala się przyjmując ostateczny kształt odlewu.

W fazie wyładunku, po czasie, gdy tworzywo ostygnie do temperatury, w której utrzymuje stały kształt i możliwe jest wyciągnięcie wyrobu bez jego odkształcenia, forma jest otwierana, a odlew zostaje usunięty z formy. Następnie kolejna odmierzona porcja proszku tworzywa jest wprowadzana do formy i proces się powtarza [2, 6, 19].

Istotą odlewania planetarnego jest odpowiednia zależność między prędkościami obrotowymi wokół poszczególnych osi, gwarantująca zachowanie właściwej grubości ścianek odlewu i jego żadaną jakość. Wzajemny stosunek prędkości ruchu obrotowego wokół osi głównej oraz osi pomocniczej ma podstawowy wpływ na kierunek ruchu tworzywa wewnątrz formy, jednorodność jego rozprzodzenia oraz równomierność grubości ścianek [2, 6, 19].

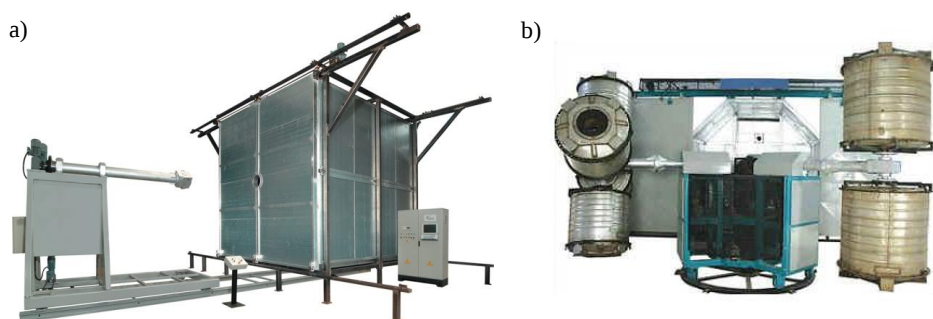
Występowanie wielu odmian maszyn do odlewania planetarnego wynika z wielu czynników, wśród których do ważniejszych zalicza się: duże zróżnicowanie pod względem kształtu i wymiarów elementów z tworzyw wykonywanych tą metodą przetwórstwa, wpływające bezpośrednio na wielkość formy odlewniczej i współpracującej z nią maszyny przetwórczej; następnie sposób nagrzewania form odlewniczych oraz zastosowany rodzaj ich napędu, a także ilość form, decydującą o wydajności odlewania [2, 6, 19]. Nowoczesne maszyny przeznaczone do odlewania planetarnego różnią się także stopniem zautomatyzowania procesu.

Maszyny do odlewania planetarnego można podzielić na:

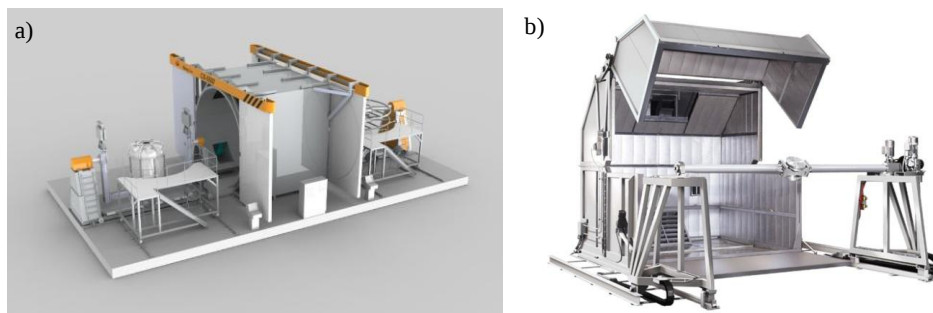
- wrzecionowe, w których na wrzecionie jest mocowana pojedyncza forma, otrzymując z układu napędowego jeden ruch wokół własnej osi oraz drugi ruch obrotowy wokół osi wrzeciona,
- karuzelowe, w których na wrzecionie znajduje się rama lub ramy mocujące; na których osadza się kilka lub kilkanaście form odlewniczych; formy odlewnicze nie są napędzane bezpośrednio, tylko razem z ramą wykonują ruch planetarny pochodzący od wrzeciona,
- liniowo-wahadłowe, w których układy wrzecionowe zsynchronizowane parami zajmują określone położenie w stosunku do komory grzejnej,
- skorupowe, w których zamykana od góry komora służy zarówno do nagrzewania jak i do chłodzenia,

- kołyskowe, w których forma odlewnicza obraca się wokół swojej osi wewnątrz komory grzejnej, wykonującej jednocześnie ruch wahadłowy, w nowszej wersji maszyn kołyskowych przeznaczonych do mniejszych odlewów komora grzejna nie występuje, a ogrzewana przy pomocy palników forma odlewnicza jest osadzona na poruszającym się wahadłowo łożu.

Przykłady konstrukcji maszyn do odlewania planetarnego przedstawiono na rys. 42, 43 i 44.



Rys. 42. Maszyny do odlewania planetarnego: a) wrzecionowa, b) karuzelowa [15]

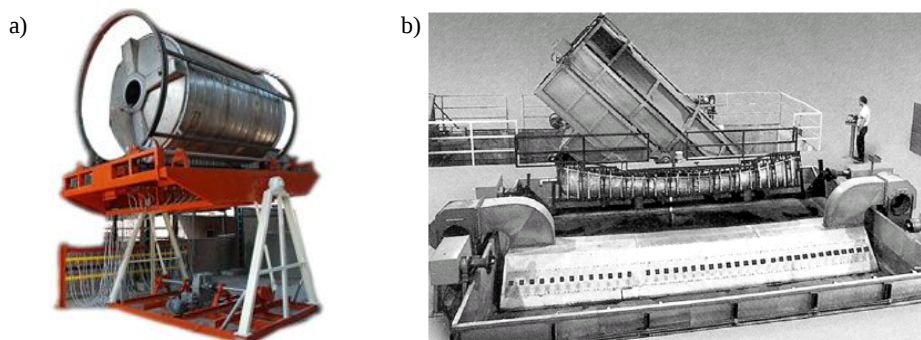


Rys. 43. Maszyny do odlewania planetarnego: a) wahadłowa, b) skorupowa [15]

Odlewanie planetarne jest jedną z metod przetwórstwa tworzyw umożliwiającą wytwarzanie elementów powłokowych o dużych i bardzo dużych wymiarach, których przykładami mogą być zbiorniki, pojemniki, kosze na śmiecie, rury z kołnierzem, korpusy, obudowy i inne. Części odlewane planetarnie są jednorodne, bez szwu i linii łączenia. Swoboda przemieszczania się tworzywa po ściankach formy i powolne ochładzanie w znacznym stopniu powodują zmniejszanie się zniekształceń powodowanych skurczem przetwórczym oraz minimalizują naprężenia wewnętrzne w otrzymanych odlewach, natomiast zmniejszanie się wymiarów odlewu podczas ochładzania na skutek skurczu przetwórczego ułatwia późniejsze wyjmowanie odlewu z formy. Przy pomocy odlewania planetarnego można otrzymywać elementy z tworzyw o masie od kilkudziesięciu do kilkuset kilogramów, co jest niemożliwe do osiągnięcia

ani przy wtryskiwaniu ani przy wytłaczaniu, z uwagi na konstrukcyjne ograniczenia tych maszyn przetwórczych [2, 6, 8, 27].

Wśród pozostałych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych odlewanie planetarne wyróżnia się stosunkowo niskim kosztem przygotowania produkcji, spowodowanej niższym kosztem wykonania form odlewniczych (o wiele niższym niż form wtryskowych) oraz niższym kosztem maszyny. Dzięki temu odlewanie planetarne jest wyjątkowo korzystne w przypadku produkcji jednostkowej lub małoseryjnej oraz do wytwarzania części prototypowych.

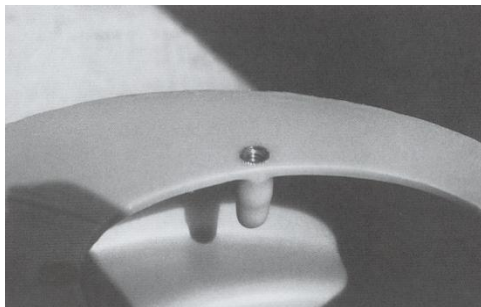


Rys. 44. Maszyny kołyskowe do odlewania planetarnego: a) bez komory grzejnej z formą ogrzewaną bezpośrednio palnikami gazowymi, b) z komorą grzejną [11]

Podczas odlewania planetarnego można w prosty sposób regulować grubość ścianek zbiornika, jedynie przez zmianę masy tworzywa zasypywanego do formy, bez konieczności długotrwałej i kosztowej modyfikacji konstrukcji formy. Zmiana grubości ścianek w poszczególnych obszarach kształtowanego zbiornika może być regulowana przez zmianę wzajemnego stosunku prędkości obrotowej formy wokół osi pionowej i osi poziomej. We wnętrzu formy mogą być mocowane dodatkowe elementy, takie jak tuleje lub trzpienie gwintowane, tarcze, króćce i pierścienie, które zostają pokryte topiącym się tworzywem i po zakończeniu procesu odlewania stają się integralną częścią odlewu (rys. 45). W ten sposób można także zwiększać sztywność ścianek bardzo dużych odlewów, umieszczając w formie żebra usztywniające [2, 6].

Odlewanie planetarne jest bezodpadową metodą przetwórstwa. Dzięki temu, że powierzchnia gniazda formującego odzwierciedla ostateczny kształt zewnętrznej powierzchni odlewu oraz przy prawidłowej konstrukcji formy odlewniczej po zakończeniu odlewania nie występuje odpad technologiczny, tak jak ma to miejsce przy wtryskiwaniu konwencjonalnym (tworzywo pozostające w układzie wlewowym), formowaniu próżniowym (brzegi arkusza folii pozostałe po wykrawaniu gotowego wytworu) czy podczas wytłaczania z rozdmuchiwaniem w formie (fragmenty rękawa, odcinane po ukształtowaniu gotowego wytworu, na przykład zbiornika lub przewodu paliwowego).

Formy odlewnicze są łatwe w konserwacji i czyszczeniu, co pozwala na wytwarzanie kolejnych odlewów z tworzywa o różnych kolorach lub z innego rodzaju tworzywa, bez konieczności żmudnego i czasochłonnego czyszczenia, jak ma to miejsce w przypadku układu uplastyczniającego wtryskarki i kanałów doprowadzających w formie wtryskowej [2, 6, 27].



Rys. 45. Element z tworzywa wykonany metodą odlewania planetarnego z metalową tuleją z gwintem [15]

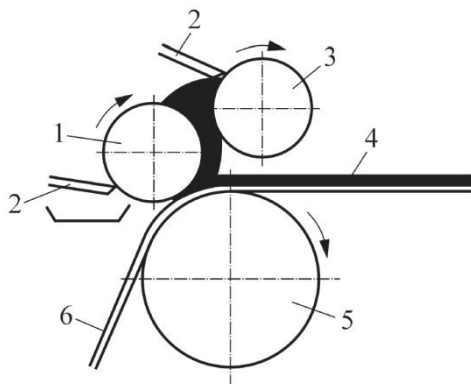
Jedną z podstawowych wad odlewania planetarnego jest stosunkowo długi czas cyklu wytworzenia odlewu i niska wydajność, spowodowana między innymi ręcznym załadunkiem tworzywa i wyjmowaniem gotowego odlewu. Inną z wad jest niska sprawność i duża energochłonność procesu, głównie z powodu nagrzewania i chłodzenia formy przy pomocy powietrza. W celu poprawienia bilansu energetycznego opracowano bezpośrednie nagrzewanie formy przy pomocy palników gazowych (w maszynach kołyskowych) oraz stosuje się formy odlewnicze z drążonymi ściankami, w które tłoczony jest gorący olej [2, 6]. Kolejnym ograniczeniem technologii odlewania planetarnego jest wąski zakres tworzyw możliwych do przetworstwa tą metodą. Początkowo jedynym materiałem używanym do odlewania planetarnego był polichlorek winylu, współcześnie wiodącą rolę odgrywają różne odmiany polietylenu (ponad 80% udziału), następnie polistyren i polipropylen, a także poliwęglan i ABS [24, 18, 26, 28]. Koszt przygotowania tworzyw do odlewania zwiększa dodatkowo konieczność doprowadzenia ich do postaci proszku lub mikrogranulek.

Na etapie projektowania specyfika odlewania planetarnego wymusza odpowiednią konstrukcję odlewów, w której należy unikać ostrych krawędzi i gwałtownych zmian wymiarów (na przykład średnicy). Z tego powodu odlew musi być zaprojektowany w taki sposób, by tworzywo miało swobodny dostęp do wszystkich powierzchni gniazda formującego, co gwarantuje prawidłowy przebieg procesu odlewania planetarnego i bezpieczne wyjęcie gotowego odlewu. W przypadku umieszczania w formie dodatkowych elementów (ze stopów metali lub innych tworzyw) należy zwrócić uwagę na współczynnik rozszerzalności cieplnej tych materiałów, aby podczas późniejszego ochładzania i kurczenia się odlewu nie dochodziło do spowodowanych nadmiernymi naprężeniami pęknięć lub deformacji [2, 6, 20, 27].

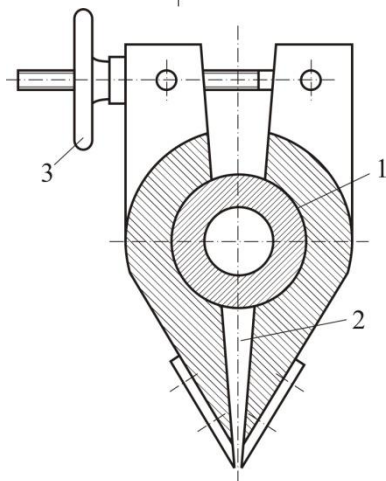
### Wylewanie

Wylewanie jest stosowane do otrzymywania folii i polega na wypływie ze stałym natężeniem tworzywa w stanie plastycznym (rzadziej ciekłym) na przesuwające się podłoże. Warstwa tworzywa, o określonej grubości, przesuwając się wraz z podłożem ulega utwardzeniu, po czym gotowy wytwór może stanowić warstwa tworzywa integralnie związana z podłożem bądź w wyniku dodatkowych operacji technologicznych utwardzona warstwa wylanego tworzywa może być oddzielona od podłoża.

Schemat procesu wylewania folii za pomocą układu trzech walców został przedstawiony na rys. 46, a schemat głowicy wylewającej na rys. 47.



Rys. 46. Schemat procesu wylewania walcowego za pomocą układu trzech walców: 1 - walec powlekający, 2 - zgarniacze, 3 - walec dozujący, 4 - warstwa tworzywa stanowiąca późniejszą folię, 5 - chłodzony walec dociskający i prowadzący podłoże (taśmę), 6 - podłoże (taśma) [19]



Rys. 47. Schemat głowicy wylewającej: 1 - główny kanał rozdzielający, 2 - dysza między płaszczyznami, 3 - pokrętko regulacyjne [19]

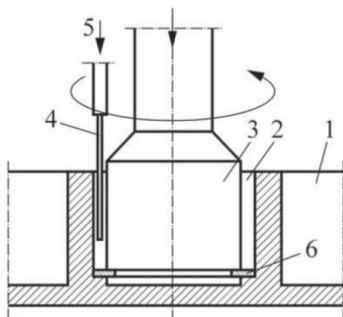
Wylewanie odbywa się za pomocą maszyn do wylewania, których zasadniczym zespołem jest narzędzie do wylewania, charakteryzowane szczeliną wylewającą o określonym kształcie i wymiarach. Jeśli narzędziem jest układ trzech lub czterech walców, szczelina wylewająca nazywana jest szczeliną międzywalcową, a proces określa się jako wylewanie walcowe. Gdy narzędziem jest głowica

ca wylewająca, szczelinę wylewającą nazywa się szczeliną międzypłaszczyznową, a proces jest określany jako wylewanie listwowe [19, 27].

### **Zalewanie**

Zalewanie jest odmianą odlewania stosowaną przede wszystkim do regeneracji elementów konstrukcyjnych maszyn zużytych na skutek zjawisk trybologicznych oraz uzupełniania ubytków materiału w gniazdach pod łożyska toczne. Wyróżnia się zalewanie zwykłe i zalewanie szczelinowe.

Istotne znaczenie w procesie zalewania ma zachowanie współosiowości zalanego tworzywa z osią geometryczną gniazda pod łożysko oraz zachowanie właściwych wymiarów geometrycznych gniazd pod łożyska w celu uzyskaniażądanego pasowania między łożyskiem a jego obudową. Zachowanie wyżej wymienionych warunków uzyskuje się poprzez zastosowanie specjalnych przyrządów [19, 27]. Do zalewania najczęściej stosuje się tworzywa epoksydowe, głównie ze względu na ich niewielki skurcz przetwórczy [5, 7]. Schemat procesu zalewania szczelinowego, na przykładzie uzupełniania ubytku materiału gniazda korpusu, gdzie osadza się łożysko toczne, został przedstawiony na rys. 48.



Rys. 48. Schemat procesu zalewania: 1 - element konstrukcyjny, 2 - szczelina do wypełnienia tworzywem, 3 - trzpień przyrządu zalewniczego, 4 - końcówka urządzenia do zalewania, 5 - doprowadzenie tworzywa, 6 - uszczelka [19]

## 6. Nanoszenie

Nanoszeniem nazywa się proces przetwórstwa chemiczno-fizycznego prowadzący do uzyskiwania powłoki z termoplastycznego tworzywa polimerowego na powierzchni przedmiotu, zazwyczaj wykonanego z materiału niepolimerowego. Najczęściej metodę nanoszenia stosuje się do wytwarzania powłok z tworzyw na przedmiotach metalowych. W ten sposób można otrzymywać powłoki polimerowe o przeznaczeniu ochronnym i dekoracyjnym.

W technologii wytwarzania powłok z tworzyw na podłożu metalowym wyróżnia się następujące etapy: przygotowanie powierzchni przedmiotu, naniesienie powłoki oraz obróbkę wykańczającą powłoki [19, 23, 27].

Na etapie projektowania i wytwarzania elementu poddawanego później nakładaniu powłoki polimerowej należy zwrócić uwagę na odpowiednie promienie zaokrągleń, eliminację ostrych naroży i krawędzi oraz taki dobór materiału, który będzie podatny na wykonywanie połączeń spawanych zamiast lutowanych (na przykład przy wytwarzaniu wieszaków lub ociekaczy kuchennych). Przygotowanie powierzchni przedmiotu polega na oczyszczeniu jej z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń oraz na nadaniu powierzchni odpowiedniej chropowatości. Chropowatość powierzchni jest konieczna, ponieważ przyczepność powłoki polega głównie na osadzeniu się cząstek pierwszej warstewki powłoki z tworzywa w nierównościach powierzchni powlekanej. Najczęstszymi metodami przygotowania powierzchni metalowego przedmiotu do nanoszenia jest szczerkowanie, szlifowanie, opalanie, piaskowanie, a czasami wytrawianie w roztworach kwasów. Oczyszczoną powierzchnię odtłuszcza się na przykład za pomocą rozpuszczalników organicznych.

W zależności od odmiany nanoszenia na powłoki stosuje się najczęściej takie tworzywa jak: poliamid, zmięczony polichlorek winylu, polietylen, polipropylen, politetrafluoroetylen oraz żywice epoksydowe i poliestrowe [24, 26, 28].

Obróbka wykańczająca gotowej powłoki polega głównie na usunięciu uszkodzeń w miejscu chwytania pokrywanego przedmiotu podczas nakładania powłoki. Można to miejsce pokryć tworzywem przez napawanie pręta wykonanego z tego samego materiału, z którego wytworzono powłokę albo przez pokrycie lakierem epoksydowym.

Powłoki z tworzyw polimerowych wytwarza się na podłożu, wykorzystując szereg odmian nanoszenia, wśród których wyróżnia się następujące: elektrocieplne, natryskowe, płomieniowe, powlekające, zanurzeniowe oraz fluidyzacyjne [19, 23, 27].

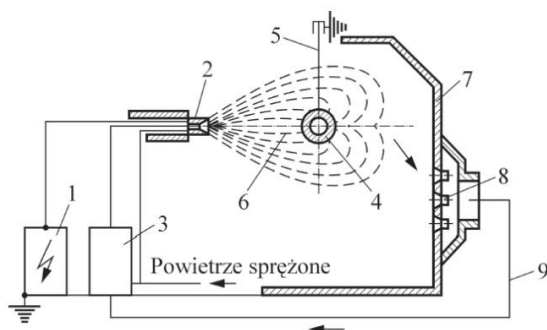
### *Nanoszenie elektrocieplne*

Nanoszenie elektrocieplne jest metodą nanoszenia, w której występują bezpośrednio po sobie dwa etapy: formowanie wstępne powłoki w polu elektrycznym prądu stałego w różnych środowiskach i formowanie ostateczne powłoki

w polu temperatury w powietrzu. Nanoszenie elektrocieplne dzieli się na: nanoszenie elektrostatyczne, fluidyzacyjno-elektrostatyczne oraz elektroforetyczne.

### ***Nanoszenie elektrostatyczne***

Nanoszeniem elektrostatycznym określa się proces nanoszenia polegający na przeniesieniu sproszkowanego termoplastycznego tworzywa w polu elektrostatycznym, ze specjalnej głowicy stanowiącej biegun ujemny, na powierzchnię wytworu będącego biegunem dodatnim. Potem następuje wyjęcie przedmiotu z pola elektrostatycznego i stopienie naniesionych cząstek tworzywa pod wpływem ciepła dostarczonego z zewnątrz. Końcowym etapem jest ochłodzenie wytworu i doprowadzenie powłoki polimerowej do stanu stałego. Schemat nanoszenia elektrostatycznego został pokazany na rys. 49.



Rys. 49. Schemat nanoszenia elektrostatycznego: 1 - generator wysokiego napięcia prądu stałego, 2 - głowica napyłająca, 3 - zbiornik tworzywa powłokowego, 4 - element powlekany, 5 - wieszak, 6 - pole elektryczne, 7 - obudowa kabiny do nanoszenia, 8 - odciąg odpylający, 9 - przewód odprowadzający nadmiar tworzywa [19]

### ***Nanoszenie fluidyzacyjno-elektrostatyczne***

Ten rodzaj nanoszenia łączy w sobie cechy nanoszenia fluidyzacyjnego i elektrostatycznego. Przeprowadza się je przy pomocy fluidyzatora elektrostatycznego, w którym za pomocą elektrod umieszczonych w złożu fluidalnym następuje elektryzowanie cząstek tworzywa. Cząstki te następnie unoszą się w strumieniu gazu i dzięki ładunkowi elektrycznemu są przyciągane przez zanurzony w złożu fluidalnym przedmiot, na którym jest wytwarzana powłoka.

### ***Nanoszenie elektroforetyczne***

Proces nanoszenia elektroforetycznego polega na osadzaniu się na powierzchni przedmiotu cząstek tworzywa, wytrącających się z wodnego lub organicznego układu dyspersyjnego, bądź z roztworu koloidalnego, pod wpływem przyłożonego działania pola elektrycznego. W polu elektrycznym zachodzi ruch cząstek, które na powierzchni przedmiotu ulegają koagulacji. Osadzona wstępnie powłoka jest porowata i wymaga dalszej obróbki. Przedmiot z nałożoną w ten sposób wstępną powłoką jest nagrzewany do temperatury nieco wyższej od temperatury topnienia tworzywa, dzięki czemu powłoka ulega wysuszeniu, po czym na skutek ochładzania zestala się, co powoduje ostateczne uformowanie powłoki z tworzywa.

### ***Nanoszenie natryskowe***

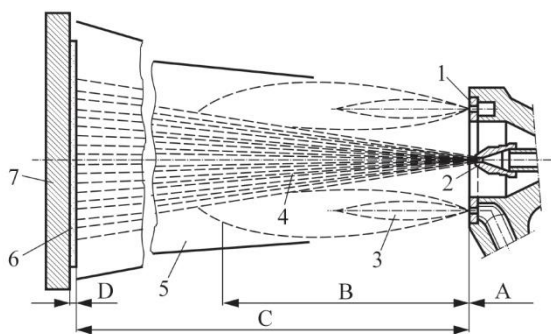
Nanoszenie natryskowe polega na rozpylaniu i przenoszeniu tworzywa termoplastycznego będącego w stanie ciekłym w strumieniu gazu (zazwyczaj powietrza), w temperaturze normalnej lub nieco podwyższonej, skutkujące łączeniem go z nagrzaną powierzchnią przedmiotu powlekane.

### ***Nanoszenie zanurzeniowe***

Nanoszenie zanurzeniowe polega na wprowadzeniu wytworu powlekane w tworzywo powłokowe, będące w stanie ciekłym lub plastycznym, po upływie określonego czasu wyjęciu wytworu, a następnie doprowadzeniu powstałej powłoki polimerowej do stanu stałego.

### ***Nanoszenie powlekające***

Nanoszenie powlekające jest odmianą nanoszenia, w której proces nakładania tworzywa jest ciągły, a tworzywo znajdujące się w stanie ciekłym jest nanoszone na wytwory wykonujące ruch liniowy lub kołowy. Powierzchnia wytworów, na której powstaje powłoka polimerowa jest dużych lub bardzo dużych rozmiarów. Wyróżnia się nanoszenie powlekające swobodne, w którym tworzywo jest dostarczane bezpośrednio na powierzchnię wytworu, a także nanoszenie powlekające wymuszone, w którym sposób nanoszenia oraz wydatek podawanego tworzywa są ściśle określone i wymuszone różnymi elementami konstrukcyjnymi lub czynnikami technologicznymi. Konstrukcyjnym elementem wymuszającym może być listwa zgarniająca lub układ dwóch walców prostych nanoszących. Technologicznym czynnikiem wymuszającym mogą być kierunki obrotu tych walców (zgodne bądź przeciwne), a także ich prędkość obrotowa [27].



Rys. 50. Schemat procesu nanoszenia płomieniowego: A - faza mechaniczna, B - faza cieplna, C - faza przenoszenia, D - faza łączenia; 1 - dysza pierścieniowa głowicy natryskującej, 2 - dysza kołowa głowicy natryskującej, 3 - płomień, 4 - strumień proszku tworzywa, 5 - strumień spalin, 6 - powłoka, 7 - element powlekany [19]

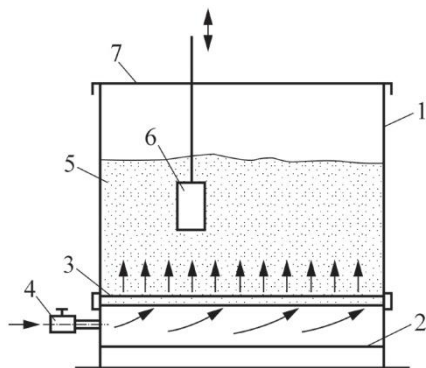
### ***Nanoszenie płomieniowe***

Nanoszeniem płomieniowym określa się rozpylanie i przenoszenie sproszkowanego tworzywa termoplastycznego lub rzadziej tworzywa będącego w stanie plastycznym, w strumieniu płomienia, gorącego gazu i spalin, z głowicy natryskującej na powierzchnię wytworu. Powierzchnia wytworu musi być nagrzana w celu stopienia tworzywa powłokowego. Powstanie powłoki jest efek-

tem adhezji cząstek tworzywa z materiałem wytworu oraz kohezji cząstek tworzywa między sobą. W końcowej fazie procesu następuje ochłodzenie wytworu i doprowadzenie powłoki polimerowej do stanu stałego. Schemat nanoszenia płomieniowego przedstawiono na rys. 50.

### **Nanoszenie fluidyzacyjne**

Nanoszenie fluidyzacyjne (rys. 51) to proces polegający na nagrzeniu wytworu do temperatury nieco powyżej temperatury topnienia tworzywa powłokowego, a następnie zanurzeniu go w złożu fluidalnym, w którym powstaje powłoka polimerowa, zestalająca się po wyjęciu przedmiotu z fluidyzatora.



Rys. 51. Schemat nanoszenia fluidyzacyjnego: 1 - obudowa fluidyzatora, 2 - dno lite, 3 - dno porowate, 4 - zawór gazu, 5 - złożo fluidalne, 6 - przedmiot, na który наноси powłokę, 7 - pokrywa [19]

Istotą procesu nanoszenia fluidyzacyjnego jest wytworzenie zawiesiny tworzywa w gazie, określanej jako złożo fluidalne lub zawiesina fluidalna. Zawiesina fluidalna powstaje, gdy prędkość unoszenia cząstek ciała stałego przez gaz jest równa prędkości ich opadania pod wpływem grawitacji. Cząstki ciała stałego w złożu fluidalnym są w stałym ruchu, przemieszczając się stale po całej objętości naczynia, co sprawia wrażenie, jakby warstwa ta zachowywała się jak wrząca ciecz.

Wytworzenie powłoki metodą nanoszenia fluidyzacyjnego polega na podgrzaniu przedmiotu (na przykład w piecu komorowym), a następnie natychmiastowym zanurzeniu go w zawieszynie proszku tworzywa w gazie, nazywanej złożem fluidalnym, które jest wytwarzane w komorze urządzenia do fluidyzacji, zwanego fluidyzatorem. Przedmiot powlekany musi mieć temperaturę wyraźnie wyższą od temperatury topnienia наносzonego tworzywa. W złożu fluidalnym następuje przywieranie cząstek tworzywa do gorącej powierzchni przedmiotu powlekanego i topienie się ich. Teoretycznie zakłada się, że warstwa tworzywa na przedmiocie wyjętym z fazy fluidalnej powinna być całkowicie stopiona. W praktyce przedmiot wyjęty z fluidyzatora ponownie trafia do następnej komory, w której panuje temperatura nieznacznie wyższa lub zbliżona do temperatury topnienia наносzonego tworzywa. Na skutek wygrzewania następuje całkowite

stopieniu wszystkich cząstek tworzywa, także tych, które osiadły na powierzchni tworzącej się powłoki tuż przed wyjęciem przedmiotu ze złoża fluidalnego i nie zdążyły ulec stopieniu. Wyrzanie przedmiotu w komorze powoduje ujednorodnienie stopionej warstwy tworzywa, co po ochłodzeniu powoduje postanie trwałej, jednolitej powłoki [8, 19, 20, 27].

W metodzie nanoszenia fluidyzacyjnego proces powstawania powłoki można podzielić na trzy etapy [19, 27]:

- powstawanie powłoki jednowarstwowej z cząsteczek tworzywa topiącego się na powierzchni przedmiotu w wyniku bezpośredniego styku z nagrzanym podłożem,
- wzrost grubości powłoki w wyniku stopienia się ziaren, które stykają się z już roztopionym tworzywem, wzrost grubości warstwy następuje na skutek przenoszenia ciepła z przedmiotu na przylegające cząstki tworzywa poprzez stopioną warstwę,
- zahamowanie wzrostu grubości powłoki w wyniku utraty ciepła przez przedmiot i małej przewodności cieplnej tworzywa.

Powstawanie zawiesiny proszku w gazie oraz właściwości złoża fluidalnego zależą od wymiarów ziaren, kształtu i gęstości normalnej proszku, prędkości przepływu gazu oraz liczby i średnicy kanalików w porowatym dnie fluidyzatora. Przy jednakowych wymiarach, kształcie i gęstości ziaren proces fluidyzacji przebiega bez zakłóceń. Niejednorodność proszku tworzywa może powodować wady złoża fluidalnego, między innymi takie jak pionowe lub poziome rozwarstwienie złoża, segregację faz oraz występowanie w złożu pęcherzy powietrza.

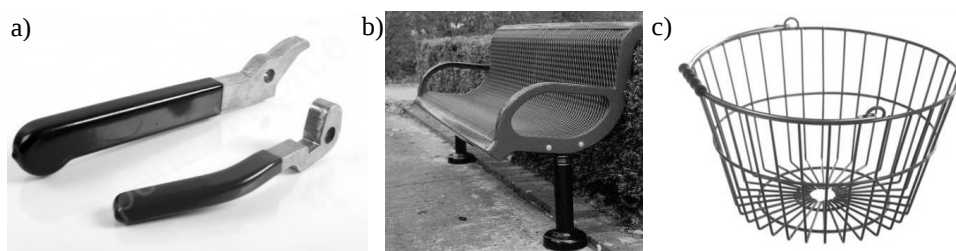
Jakość powłoki wytwarzanej metodą fluidyzacyjną zależy od właściwości podłoża, jego cech geometrycznych, grubości przedmiotu, temperatury i czasu jego podgrzewania, a także od czasu zanurzenia przedmiotu w zawieszynie proszku. W tabeli 1 podano zalecaną temperaturę nagrzewania podłoża metalowego dla powłok z różnych tworzyw. Niższa temperatura jest stosowana do przedmiotów grubościennych o dużej pojemności cieplnej, wyższa do przedmiotów cienkościennych (ok. 2mm), z uwagi na ich szybsze ochładzanie.

Tabela 5. Temperatura nagrzewania podłoża metalowego przez nanoszeniem fluidyzacyjnym tworzyw [15]

| Rodzaj tworzywa                | Temperatura podłoża metalowego [°C] |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Poliamid                       | 280 ÷ 380                           |
| Polietylen małej gęstości      | 200 ÷ 320                           |
| Polietylen dużej gęstości      | 280 ÷ 380                           |
| Zmiękczonej polichlorek winylu | 20 ÷ 300                            |
| Tworzywa epoksydowe            | 160 ÷ 200                           |

Tworzywa powłokowe stosowane do nanoszenia fluidyzacyjnego muszą mieć wyłącznie postać proszków, które charakteryzuje się najczęściej określając takie właściwości jak: gęstość nasypową, wskaźnik szybkości płynięcia oraz wymiary ziarna.

Przykłady stosowania powłok z tworzyw wykonanych metodą nanoszenia to powlekanie nadwozi, podwozi i obręczy kół w przemyśle maszynowym, powlekanie okładzin osłonowych stosowanych w budownictwie, powlekanie szafek szpitalnych, łóżek i wózków oraz wytwarzanie powłok na cysternach, zbiornikach i wieszakach galwanizerskich [8, 23]. Na rys. 52 zostały pokazane przedmioty z metalu, na których wykonano powłokę z tworzywa przy wykorzystaniu procesu nanoszenia fluidyzacyjnego.



Rys. 52. Przykłady części metalowych z nałożoną metodą fluidyzacji powłoką z tworzywa: a) uchwyty narzędzi, b) ławka parkowa, c) kosz druciany [3]

Najczęściej nakłada się powłoki z tworzyw sproszkowanych metodą fluidyzacyjną i elektrostatyczną. Powłoki z tworzyw polimerowych wykazują dobrą przyczepność, dobrze zabezpieczają podłoże metalowe przed korozją, mają dobre właściwości izolacyjne elektryczne i cieplne oraz właściwości ślizgowe. Powłoki z tworzyw wykazują wiele zalet w porównaniu z powłokami malarskimi [23, 24, 27]. Przede wszystkim w przeciwieństwie do większości materiałów malarskich tworzywa stosowane na powłoki nie zawierają łatwopalnych i trujących rozpuszczalników organicznych. Wydajność wykorzystania tworzywa w procesie powlekania sięga 95%, natomiast przy pokryciach malarskich straty mogą dochodzić do około 40%. Następną zaletą tych powłok jest to, że w jednej operacji można uzyskać powłokę o grubości od 50 do 100  $\mu\text{m}$ , podczas gdy grubość powłok malarskich nałożonych w jednej operacji metodą natryskiwania nie przekracza 30  $\mu\text{m}$ . Powłoki z tworzyw mają lepsze właściwości mechaniczne. Czas wykonania powłok z tworzyw jest wyraźnie krótszy niż powłok malarskich, co wpływa korzystnie na bilans ekonomiczny ich wytwarzania [23, 24, 27]. Proszki z tworzyw przeznaczonych do nanoszenia powinny charakteryzować się bardzo dobrą adhezją w stosunku do materiału, na który jest наносzona powłoka, w odróżnieniu od proszków z tworzyw stosowanych do odlewania rotacyjnego, gdzie zalecana jest jak najmniejsza adhezja, z uwagi na łatwe usuwanie gotowego odlewu z formy.

## 7. Metalizowanie

Metalizowanie należy do metod przetwórstwa chemiczno-fizycznego i jest to proces nanoszenia bardzo cienkich warstw metalu na powierzchnię przedmiotów wykonanych z tworzyw. Metalizowaniu może być poddawana cała powierzchnia przedmiotu lub jej fragmenty, na przykład w celu wykonania określonych obrazów i symboli [19, 23, 27].

Metalizowanie tworzyw jest stosowane między innymi w celu:

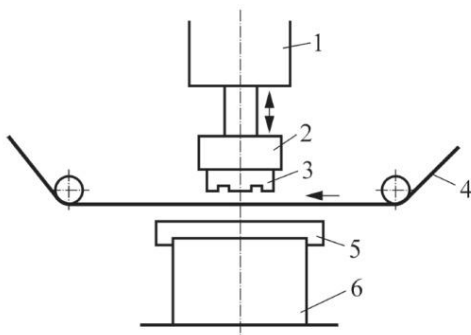
- zmiany właściwości tworzyw,
- zastąpienia elementów metalowych przez lżejsze i tańsze elementy z tworzyw,
- otrzymania powłoki przewodzącej,
- ekranowania promieniowania elektromagnetycznego,
- zmniejszenia przepuszczalności par i gazów przez folie opakowaniowe,
- uzyskania warstw dekoracyjnych.

Metalizowanie wśród innych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych ma stosunkowo niewielki udział, ale jest niezastąpione jako jedyna metoda do wytwarzania na tworzywach powłok o specjalnych właściwościach (na przykład przy wytwarzaniu luster). Metalizowanie nadaje elementom z tworzyw cechy niemożliwe do otrzymania innymi metodami, takimi jak malowanie czy lakierowanie.

Wyróżnia się następujące rodzaje metalizowania tworzyw: metalizowanie folią, natryskowe pośrednie i bezpośrednie, elektrochemiczne, zanurzeniowe oraz próżniowe.

### ***Metalizowanie folią***

Metalizowanie folią, zwane niekiedy foliowaniem, polega na wywarciu nacisku elementem nagrzanym do podwyższonej temperatury (głowicą ze stemplem) na specjalną folię, nałożoną na powierzchnię przedmiotu z tworzywa. W miejscu nacisku stempla na przedmiot folia przylega trwale do powierzchni przedmiotu, na skutek zjawiska adhezji [19, 27].



Rys. 53. Schemat metalizowania folią przedmiotów płaskich: 1 - fragment prasy, 2 - głowica metalizująca z grzejnikiem elektrycznym, 3 - stempel głowicy o kształtowej powierzchni roboczej, 4 - folia metalizująca, 5 - przedmiot metalizowany, 6 - uchwyt mocujący przedmiot metalizowany [19]

Folia stosowana do metalizowania ma grubość kilkunastu  $\mu\text{m}$  i składa się z kilku połączonych warstw: nośnej, oddzielającej, metalowej oraz klejowej. Folia jest zwrócona do powierzchni przedmiotu z tworzywa warstwą klejową.

Temperatura stempla wywierającego nacisk na folię nie przekracza na ogół  $150^{\circ}\text{C}$ . Metalizowanie folię jest powszechnie stosowane do nanoszenia na przedmioty z tworzyw ozdobnych znaków, ornamentów i napisów.

### ***Metalizowanie natryskowe***

Metalizowanie natryskowe występuje w dwóch odmianach: bezpośredniej oraz pośredniej [19, 27].

Metalizowanie natryskowe bezpośrednie polega na stopieniu metalu w pistolecie natryskowym, rozpyleniu go i przeniesieniu przy pomocy sprężonego powietrza na przygotowaną powierzchnię przedmiotu z tworzywa. Źródłem ciepła umożliwiającym stopienie metalu może być płomień z palnika gazowego, jak również łuk elektryczny. Aby nie nastąpiła degradacja cieplna warstwy wierzchniej tworzywa, w tej metodzie metalizowania stosuje się głównie metale o niskiej temperaturze topnienia, takie jak cyna oraz cynk. Za pomocą metalizowania natryskowego bezpośredniego uzyskuje się powłoki porowate, szorstkie i o dość dużej grubości ( $50\div 100\mu\text{m}$ ), wymagające później szlifowania i polerowania.

Metalizowanie natryskowe pośrednie przeprowadza się poprzez jednoczesne natryskiwanie na przygotowaną powierzchnię przedmiotu z tworzywa, za pomocą pistoletów natryskowych, roztworu soli oraz roztworu substancji, powodującej na skutek reakcji chemicznej wydzielanie się metalu i osadzanie go na powierzchni metalizowanego przedmiotu. Otrzymywana w ten sposób powłoka jest stosunkowo cienka ( $5\div 20\mu\text{m}$ ) i bardzo błyszcząca. Tą metodą wytwarza się najczęściej powłoki ze srebra.

### ***Metalizowanie zanurzeniowe***

Metalizowanie zanurzeniowe polega na zanurzeniu przedmiotu z tworzywa na określony czas w odpowiednich ciekłych związkach chemicznych. W czasie zanurzenia zachodzą odpowiednie reakcje chemiczne, powodujące wydzielanie się metalu na przygotowanej powierzchni przedmiotu. Najczęściej występujące odmiany metalizowania zanurzeniowego to srebrzenie, miedziowanie i niklowanie [19, 27].

### ***Metalizowanie elektrochemiczne***

Metalizowanie elektrochemiczne, znane także jako galwanizowanie, polega na elektrolitycznym nanoszeniu metalu na powierzchnię przedmiotu z tworzywa, pokrytą uprzednio warstwą przewodzącą prąd elektryczny, związaną adhezyjnie z tą powierzchnią. Warstwę elektroprzewodzącą otrzymuje się wcześniej za pomocą innej z metod metalizowania. Metalizowanie elektrochemicz-

ne przeprowadza się w wannach wypełnionych elektrolitem, gdzie na skutek przepływu prądu elektrycznego od anody (wykonanej z metalu nanoszonego) do katody (którą stanowi przedmiot poddawany metalizowaniu) następuje przenoszenie metalu i wytwarzanie powłoki na powierzchni przedmiotu z tworzywa. Otrzymywane tą metodą powłoki mogą być bardzo cienkie, o grubości poniżej  $0,5\mu\text{m}$ .

### ***Metalizowanie próżniowe***

Proces metalizowania próżniowego może być przeprowadzany dwiema metodami: za pomocą naparowywania próżniowego oraz za pomocą rozpylania próżniowego. Naparowywanie próżniowe występuje ponadto w dwóch odmianach: jako naparowywanie próżniowe cieplne oraz naparowywanie próżniowe wiązką elektronów [19, 27].

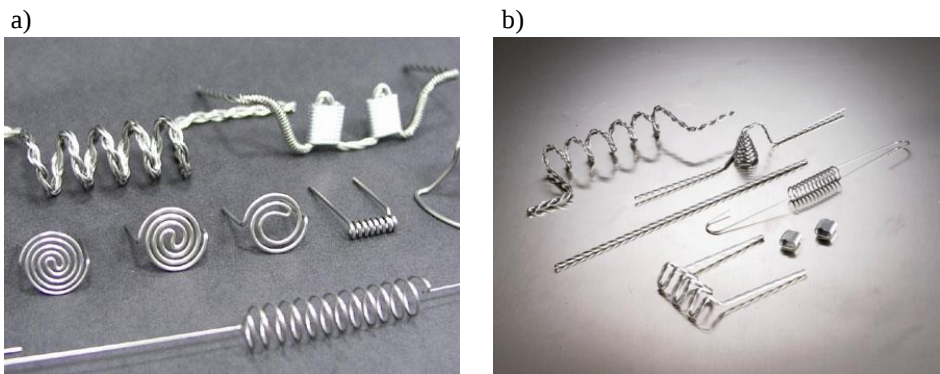
*Naparowywanie próżniowe cieplne* przeprowadza się przy ciśnieniu obniżonym do wartości około  $10^{-3}$  Pa. W takich warunkach znacznie obniża się temperatura przemiany ciała stałego w parę. Po ogrzaniu w tyglu lub na odpowiednim grzejniku metal przechodzi ze stanu stałego w stan ciekły, a następnie w stan gazowy i jego atomy z prędkością liniową wynoszącą około 100m/s poruszają się po liniach prostych aż do momentu zderzenia z powierzchnią, na której ulegają kondensacji [27].

W procesie naparowywania próżniowego cieplnego można wyróżnić następujące etapy:

- zmiana stanu skupienia metalu ze stanu stałego w stan ciekły, a następnie gazowy,
- ruch atomów metalu od źródła parowania do przedmiotu metalizowanego,
- osadzanie się pierwszych atomów metalu na powierzchni tworzywa,
- kondensacja atomów metalu,
- powstawanie warstwy ciągłej metalu na tworzywie.

Kondensowanie się metalu na powierzchni tworzywa zachodzi wtedy, gdy temperatura powierzchni przedmiotu poddawanego metalizowaniu jest niższa od temperatury kondensacji metalu.

Do ogrzewania metalu podczas naparowywania próżniowego cieplnego są stosowane różnego rodzaju elementy grzewcze i tygle, które nagrzewa się rezystancyjnie w sposób pośredni lub bezpośredni bądź też nagrzewa się je indukcyjnie. Elementy grzewcze są wykonane z materiału mającego znacznie wyższą temperaturę topnienia niż odparowywane metale. Wykonuje się je zwykle z wolframu, tantalu, molibdenu w postaci prętów, blaszek, skrętek lub tygli – w zależności od odmiany naparowywania próżniowego [27]. Przykłady elementów grzewczych stosowanych w urządzeniach do naparowywania próżniowego cieplnego zostały przedstawione na rys. 54.



Rys. 54. Przykłady elementów grzewczych w urządzeniach służących do naporowywania próżniowego ciepłego: a) wykonane z wolframu, b) wykonane z molibdenu [3]

*Naporowywanie próżniowe wiązką elektronów* polega na ogrzewaniu znajdującego się w tyglu metalu za pomocą strumienia elektronów, wytworzonego w dziale elektronowym.

Metale używane do wytwarzania na przedmiotach z tworzyw powłok metodą metalizowania próżniowego to aluminium, srebro, złoto, chrom, nikiel, cynk, o bardzo dużej czystości (rzędu 99,98%). Występują one w postaci drutu, proszku, tabletek lub prętów [27].

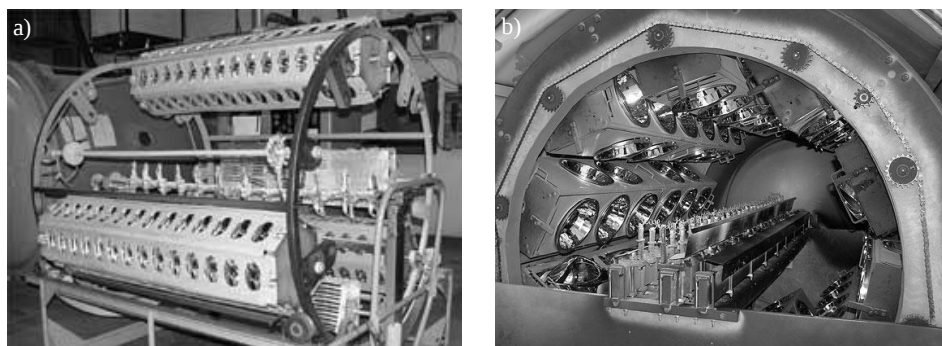
Podczas metalizowania próżniowego realizowanego metodą *rozpylania próżniowego* zachodzi zjawisko odrywania się metalu z katody, w wyniku bombardowania jej jonami gazu szlachetnego i osadzanie się atomów metalu na powierzchni przedmiotu z tworzywa, związanego z anodą. Jony gazu są wytwarzane najczęściej przez jonizację argonu pod ciśnieniem 1 Pa przy napięciu 5 kV. W procesie rozpylania próżniowego wyróżnia się następujące etapy:

- odrywanie się metalu umieszczonego na katodzie,
- ruch par metalu w kierunku anody, na której znajduje się przedmiot metalizowany; strumień atomów metalu biegnący przez obszar wyładowania (plazmy) uzyskuje energię w zderzeniach z cząsteczkami plazmy, co zwiększa przyczepność atomów metalu do warstwy wierzchniej tworzywa,
- skupianie się atomów metalu w postaci zarodków krystalizacji, naładowanych ujemnie wskutek obecności plazmy; w przypadku rozpylania reaktywnego zachodzącego w obecności tlenu na tworzywie osadza się tlenek metalu, w obecności azotu – azotek, w obecności dwutlenku węgla – węglik,
- stopniowe porządkowanie sieci krystalicznej w wyniku zwiększenia się ruchliwości atomów dzięki energii przekazywanej im przez bombardujące jony.

W odmianie rozpylania próżniowego stosuje się metale o dużej czystości, takie jak: aluminium, chrom, miedź, platynę, srebro, tytan lub tantal. Metale te w postaci tarcz kołowych lub prostokątnych mocowane są do katody [27].

### ***Urządzenia do metalizowania próżniowego***

Podstawowym układem występującym w urządzeniach do metalizowania próżniowego jest komora robocza, o zróżnicowanych wymiarach (zazwyczaj w przedziale od 500 do 3000mm), w której można metalizować jednocześnie od kilku do kilkudziesięciu przedmiotów. Pozostałe układy to: układ wytworzenia próżni, składający się z pomp (sublimacyjnych, dyfuzyjnych, jonowo-sublimacyjnych), zbiorników, zaworów oraz pułapki zeolitowej; układ parowania, wyrzutnia elektronowa lub głowica jarzeniowa; układ sterowania i regulacji, w skład którego wchodzi między innymi czujniki ciśnienia, obiegu cieczy chłodzącej oraz natężenia i napięcia prądu zasilającego zespoły służące do wytwarzania par metalu. Na rys. 55 przedstawiono wnętrza komór roboczych w urządzeniach do metalizowania próżniowego, ze stojakami i uchwytyami do mocowania przedmiotów przeznaczonych do metalizowania.



Rys. 55. Stanowiska do metalizowania próżniowego: a) stojak z osadzonymi przedmiotami przeznaczonymi do metalizowania, b) wnętrza komory roboczej do metalizowania próżniowego z umieszczonymi na obwodzie częściami do metalizowania i położonymi centralnie grzejnikami z metalem do wytworzenia powłoki [2]

### ***Tworzywa poddawane metalizowaniu***

Przy doborze tworzyw przeznaczonych do metalizowania próżniowego należy uwzględnić:

- ilość substancji gazowych wydzielających się z tworzywa podczas przebywania w komorze roboczej w warunkach znacznie obniżonego ciśnienia, na które składają się głównie składniki dodatkowe tworzywa: plastyfikatory, środki antyadhezyjne i barwniki,
- różną przyczepność warstwy metalowej do tworzywa,
- podatność tworzywa na lakierowanie.

Zwiększenie przyczepności warstwy metalowej do tworzywa uzyskuje się w wyniku wyładowań jarzeniowych, podczas których zachodzi usuwanie z powierzchni tworzywa warstewek gazu i wody, a także poprzez szorstkowanie lub nagrzewanie tworzywa.

Przydatność tworzyw na lakierowanie ma znaczenie w przypadku, gdy od przedmiotu przeznaczonego do metalizowania jest wymagany lustrzany połysk i jak największy współczynnik odbicia światła (odbłaski samochodów, fotokomórek). Ponieważ naparowana warstwa metalowa odzwierciedla mikroskopową strukturę powierzchni elementu z tworzywa, na której istnieje duża liczba porów i nierówności, w celu ich wygładzenia stosuje się przed metalizowaniem lakierowanie metodą natryskiwania lub zanurzania. Lakierowanie utrudnia ponadto wydzielanie się gazów z tworzyw podczas przebywania w warunkach znacznie obniżonego ciśnienia w czasie metalizowania próżniowego.

Najczęściej do metalizowania próżniowego stosuje się tworzywa termoplastyczne takie jak polistyren, poliwęglan, ABS lub polietylen po aktywowaniu powierzchni. Wśród tworzyw utwardzalnych metalizowaniu poddaje się części wykonane z żywic fenolowych i melaminowych [18, 24, 28]. Charakterystyka tworzyw z punktu widzenia ich przydatności do metalizowania próżniowego została zamieszczona w tabeli 6.

Tabela 6. Charakterystyka tworzyw stosowanych w procesie metalizowania próżniowego [24]

| Nazwa tworzywa                      | Ilość związków gazowych wydzielających się z tworzywa podczas metalizowania | Przyczepność warstwy metalu do tworzywa | Podatność tworzywa na lakierowanie |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Polistyren                          | Mała                                                                        | Bardzo dobra                            | Dobra                              |
| Poliwęglan                          | Mała                                                                        | Bardzo dobra                            | Dobra                              |
| Poliester                           | Mała                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| Poliuretan                          | Mała                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| Poliamid                            | Duża                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| PVC twardy                          | Mała                                                                        | Zła                                     | Średnia                            |
| PVC zmiękczone                      | Duża                                                                        | Średnia                                 | Zła                                |
| Polietylen                          | Mała                                                                        | Zła                                     | Średnia                            |
| Polietylen po aktywacji powierzchni | Mała                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| Polipropylen                        | Mała                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| ABS                                 | Mała                                                                        | Bardzo dobra                            | Dobra                              |
| Poliakrylonitryl                    | Mała                                                                        | Dobra                                   | Zła                                |
| Żywica fenolowo-formaldehydowa      | Znaczna                                                                     | Dobra                                   | Dobra                              |
| Żywica melaminowa                   | Mała                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |
| Żywica mocznikowa                   | Duża                                                                        | Dobra                                   | Dobra                              |

Dzięki metodzie metalizowania próżniowego możliwe jest uzyskanie bardzo cienkich warstw metalu (do  $0,1\mu\text{m}$ ) o równomiernej grubości, nadających pokrywanej powierzchni doskonałe właściwości wizualne. Ze względu na to, że powierzchnia przedmiotu metalizowanego tylko nieznacznie się ogrzewa, do metalizowania próżniowego mogą być stosowane tworzywa o małej odporności cieplnej.



Rys. 56. Przykłady elementów z tworzyw poddanych metalizowaniu: a) folia, b) nici, c) opakowanie na kosmetyki z lusterkiem [2]

Metalizowanie próżniowe jest wykorzystywane między innymi do wytwarzania odbłyśników reflektorów, świateł odbłaskowych i fotokomórek, folii opakowaniowych i ozdobnych, taśm audio i video, płyt kompaktowych, kondensatorów [27]. Przykłady zastosowania metalizowania tworzyw przedstawiono na rys. 56. Otrzymane powłoki z metalu poprawiają odporność na ścieranie i twardość powierzchni części z tworzywa, zwiększają współczynnik odbicia światła i odporność na działanie podwyższonej temperatury. Zabezpieczają tworzywo przed działaniem szkodliwych rozpuszczalników, promieniowania UV, zmniejszają wpływ starzenia atmosferycznego i ograniczają przepuszczalność wody [18, 24, 26, 28].



## 8. Wulkanizacja gumy

Guma jest elastycznym produktem wulkanizacji (to znaczy usieciowania makrocząsteczek) kauczuku naturalnego lub syntetycznego w temperaturze  $110\div 180^{\circ}\text{C}$  w czasie od kilku minut do kilku godzin. Otrzymuje się ją przez przeróbkę mieszanek, zawierających oprócz kauczuku inne substancje ułatwiające procesy przetwórcze oraz nadające gumie odpowiednie właściwości [12, 31, 32]. Do najważniejszych składników mieszanek kauczukowych należą:

- kauczuk naturalny lub syntetyczny,
- środki wulkanizujące - najczęściej siarka lub związki wydzielające siarkę oraz substancje przyspieszające reakcje wulkanizacji (na przykład tiazole, sulfonamidy),
- zmiękczacze - składniki ułatwiające przetwórstwo oraz obniżające twardość gumy w stanie zwulkanizowanym, np. żywica kumarenowo-indenowa, smoła z węgla kamiennego, parafina, cerezyna, oleje mineralne, zmiękczacze estrowe,
- napelniacze - organiczne lub nieorganiczne ciała stałe o różnym stopniu dyspersji, wprowadzane w celu polepszenia własności przetwórczych mieszanki kauczukowej oraz nadania zwulkanizowanej gumie wymaganych właściwości fizycznych (na przykład różne typy sadzy, syntetyczne krzemionki i krzemiany, kaolin, kreda itd.),
- pigmenty i barwniki (na przykład biel cynkowa, litopon),
- środki ochronne - substancje zabezpieczające gumę przed niszcącym działaniem światła, ciepła, tlenu, ozonu, promieniowania, agresywnych środowisk chemicznych i innych czynników obniżających właściwości użytkowe wyrobów gumowych,
- środki porotwórcze - składniki mieszanek kauczukowych, wydzielające podczas ogrzewania gaz, na przykład azot, dwutlenek węgla lub parę wodną, a stosowane przy produkcji gumy porowatej.

Guma jest więc układem złożonym, w skład którego oprócz kauczuku wchodzi wiele składników dodatkowych. Specyficzne właściwości gumy uzyskuje się w końcowym procesie przetwarzania mieszanki gumowej – w procesie wulkanizowania (tabela 7). Podczas wulkanizowania między cząsteczkami kauczuku powstają wiązania poprzeczne, w wyniku czego kauczuk zmienia swoje właściwości. Proces wulkanizowania przeprowadza się na gorąco, w większości przypadków pod działaniem ciśnienia. Dostarczane do mieszanki ciepło powoduje najpierw stopienie siarki i innych składników, a tym samym zmniejszenie lepkości mieszanki. Następnie zachodzi proces wulkanizowania i stopniowe zwiększanie jej lepkości [12, 31, 32].

Tabela 7. Podstawowe właściwości wytworów z gumy

| Właściwość                                      | Charakterystyka wytworu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wytrzymałość mechaniczna                        | uzyskanie wysokiej wytrzymałości gum, opartych na kauczukach syntetycznych, wymaga stosowania odpowiednich napelnaczy, głównie sadzy aktywnej. Zakres zmian wytrzymałości gumy przy rozciąganiu wynosi od 2 do 50 MPa.                                                                                                                                                          |
| Twardość                                        | uzyskanie zwiększonej twardości realizuje się przez dodatek sadzy, w efekcie tego następuje wzrost twardości oraz zmniejszenie wydłużenia względnego i elastyczności wytworu. Zakres zmian twardości dla wytworów gumowych zawiera się od 25 do 95° Sh skala A.                                                                                                                 |
| Odporność na ścieranie                          | w zależności od rodzaju kauczuku i napelnacza, zmniejszenie oporów tarcia uzyskuje się przez zastosowanie kauczuku fluorowego lub uretanowego. Można zwiększyć odporność na ścieranie poprzez wprowadzenie do mieszanki kauczukowej określonej ilości grafitu lub dwusiarczku molibdenu (5÷25%).                                                                                |
| Odporność na działanie olejów, paliw i smarów   | uzyskuje się poprzez zastosowanie kauczuku nitrylowego, chloroprenowego i wielosiarczkowego.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Odporność na działanie podwyższonej temperatury | odporność tą wykazują wytwory wytwarzane z kauczków epichlorohydrynowych, akrylowych i fluorowych. Dopuszczalna temperaturze użytkowania wynosi odpowiednio: 150, 150÷200 i 200÷250°C. Można ją uzyskać także poprzez wprowadzenie do mieszanki napelnacza takiego jak: sadza piecowa termiczna, krzemionka aktywna, węgiel magnezowy, tlenek magnezowy lub tlenek cynkowy itp. |
| Odporność na starzenie                          | Odporność wytworu na działanie tlenu, ozonu, światła, promieniowania jonizującego, działania okształceń mechanicznych lub podwyższonej temperatury, zwiększa się przez wprowadzenie do mieszanki kauczukowej odpowiednich substancji przeciwstarzeniowych, bądź też poprzez odpowiednie jej przechowywanie.                                                                     |

Właściwości gumy zmieniają się w dużym zakresie, w zależności od rodzaju kauczuku, ilości i rodzaju pozostałych składników mieszanki kauczukowej, sposobu jej przygotowywania oraz warunków przebiegu wulkanizowania. Dobierając odpowiednio składniki mieszanki oraz stosując określone warunki technologiczne, otrzymuje się różne odmiany wytworów gumowych o bardzo zróżnic-

wanych właściwościach [25, 31]. Mieszanki gumowe znajdują zastosowanie do wytwarzania szerokiego zakresu wytworów z gumy (rys. 57), między innymi takich jak:

- uszczelki,
- płyty do izolacji akustycznej i cieplnej,
- taśmy uszczelniające,
- podkładki amortyzacyjne,
- wyroby obuwnicze, takie jak: podeszwy i obcasy,
- elementy gumowo-metalowe, np. opony.

a)



b)



c)



d)



Rys. 57. Przykłady wytworów z gumy: a) taśmy i uszczelki, b) opony, c) podkładki amortyzujące, d) elementy obuwia [3]

Mieszanki gumowe w procesie wulkanizacji wymagają oceny jakości i przydatności do określonych zastosowań i doboru najkorzystniejszych warunków jej przetwarzania. Oznaczenie przebiegu zmian lepkości w czasie wulkanizowania mieszanek gumowych możliwe jest przy zastosowaniu plastografometru Moo-

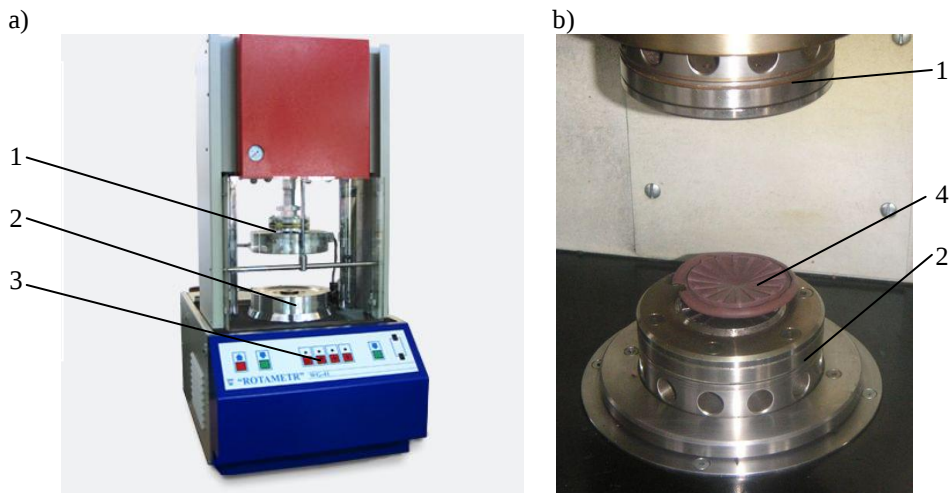
ney'a (rys. 58) lub za pomocą badania z wykorzystaniem wulkanometru (rys. 59).



Rys. 58. Wygląd plastografometru Mooney'a do badania wulkanizacji gumy: 1- komory pomiarowo-grzejne, 2 - miejsce mocowania wirnika, 3 - układ napędowy, 4 - układ rejestrujący

Lepkość wyznaczona za pomocą plastografometru Mooney'a, zwana lepkością według Mooney'a, jest to wartość naprężeń ścinających, powstających podczas względnego ruchu obrotowego pomiędzy badanym tworzywem, a umieszczonym w jego wnętrzu wirnikiem z metalu. Wirnik ma określony kształt i wymiary. Naprężenia ścinające odczytane za pomocą plastografometru wyraża się w jednostkach Mooney'a. Jedna jednostka Mooney'a oznaczona symbolem  $M$  odpowiada momentowi obrotowemu o wartości  $0,083 \text{ Nm}$ .

W przypadku badań wulkanometrycznych poprawność przebiegu procesu wulkanizacji jest oceniana na podstawie pomiarów szybkości zmiany wymiarów próbki badawczej z mieszanki gumowej pod wpływem działania na nią oscylujących naprężeń rozciągających i ściskających w określonym czasie, przy stałej temperaturze, częstotliwości i amplitudzie ruchu oscylacyjnego wirnika. Próbka badanej mieszanki gumowej (rys. 59b) jest umieszczana w komorze pomiarowej i nagrzewana do odpowiedniej temperatury wynoszącej od  $100^{\circ}\text{C}$  do  $200^{\circ}\text{C}$ . Wirnik wykonuje ruchy oscylacyjne z określoną częstotliwością przy zadanej amplitudzie, powodując skrócenie próbki gumy. Siła potrzebna do nadania wirnikowi ruchu oscylacyjnego, jest miarą modułu sprężystości badanej mieszanki gumowej. Wynik zmian opisanych wyżej parametrów w czasie, analizuje się na podstawie otrzymanej krzywej wulkanometrycznej.



Rys. 59. Wygląd wulkanometru: a) wygląd ogólny, b) powiększony fragment komory z próbką badawczą: 1 - komora pomiarowo-grzejna górna, 2 - komora pomiarowo-grzejna dolna, 3 - układ napędowy, 4 - próbka badawcza [3]

W przypadku oceny właściwości wytworów z gumy duże znaczenie ma ich elastyczność, sztywność oraz ogólna wytrzymałość mechaniczna. W tym celu prowadzi się badania zmian odkształceń podczas naprężenia (np. twardość), badania dynamiczne (np. elastyczność przy odbiciu), badania właściwości zależnych od czasu (np. pełzanie, relaksacja naprężenia), jak także badania zmęczeniowe oraz badania tribologiczne (np. odporność na ścieranie). Inną grupę badań wytworów z gumy stanowią badania właściwości cieplnych, elektrycznych, a także odporności na działanie środowiska naturalnego, z których najważniejszym jest badanie gumy na starzenie w warunkach atmosferycznych lub działania czynników biologicznych.

## Literatura

1. Baird D. G., Collias D. I.: Polymer Processing: Principles and Design. John Wiley & Sons Inc., Hoboken 1998.
2. Beall G. L.: Rotational Molding. Design, Materials, Tooling and Processing. Carl Hanser Verlag, Munich 1998.
3. Biblioteka grafik Google ([www.google.com](http://www.google.com)).
4. Brojer Z., Hertz Z., Penczek P.: Żywice epoksydowe. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1982.
5. Broniewski T. i inni: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
6. Crawford R. J., Throne J. L.: Rotational Molding Technology. William Andrew Inc., Norwich 2004.
7. Czub P., Bończa-Tomaszewski Z., Penczek P., Pielichowski J.: Chemia i technologia żywic epoksydowych. WNT, Warszawa 2002.
8. Harper C. A.: Handbook of Plastic Processes. John Wiley & Sons Inc., Hoboken 2006.
9. Harper C. A.: Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance. McGraw-Hill Handbooks, New York 2006.
10. Hyla I., Ślężona J.: Kompozyty. Elementy mechaniki i projektowania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
11. Jasiulek P.: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania. Wydawnictwo KaBe Krosno 2006.
12. Johnson P., S.: Rubber Processing. Carl Hanser Verlag, Munich 2001.
13. Królikowski W., Kłosowska - Wołkowicz Z., Penczek P.: Żywice i laminaty poliestrowe. WNT, Warszawa 1986.
14. Krzyżak A., Sikora J.W.: Plastometryczne wskaźniki przetwarzalności tworzyw fenolowo-formaldehydowych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010.
15. Materiały katalogowe ze stron internetowych firm: Beckwood, Clips Poly Engineering, Fixopan, Herzt, Leister, Naroto, Persico, Plastigi, Rotoline, Rotomachinery Group, Roto Plastic International, Roto Plastics, R.S. Engineers, Schrader, Zakłady Chemiczne Sarzyna oraz innych.
16. Osswald T. A.: Polymer Processing. Fundamentals. Hanser Gardner Publications, Ohio 1998.
17. Piątek M.: Teoretyczne podstawy nawijania elementów rurowych z włókna ciągłego splotem skrzyżowanym przy użyciu jednej wiązki. Polimery 1992, 9, 412.
18. Pielichowski J., Pruszyński A.: Technologia tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
19. Praca zbiorowa pod red. R. Sikory: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.

20. Rosato D. V., Rosato M. G., Schott N. R.: The Plastics Technology Handbook. Volume 1 – Introduction, Properties, Fabrication, Processes. Momentum Press, Highland Park 2010.
21. Rosato D. V., Rosato M. G., Schott N. R.: Plastics Technology Handbook. Volume 2 – Manufacturing, Composites, Tooling, Auxiliaries. Momentum Press, Highland Park 2010.
22. Rotheiser J.: Joining of Plastics. Handbook for Designers and Engineers. Carl Hanser Verlag, Munich 2004.
23. Ryntz A. R., Yaneff P. V.: Coatings of Polymers and Plastics. Marcel Dekker Inc., New York 2003.
24. Saechtling. Tworzywa sztuczne. Poradnik. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
25. Sikora J.W., Ostaszewska U.: Zastosowanie rozdrobnionych odpadów gumowych pochodzących ze zużytych opon samochodowych. Elastomery 2010, 14, 2, 17÷25.
26. Sikora R.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje właściwości i struktura. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
27. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielocząsteczkowych,. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
28. Szlezyngier W.: Tworzywa sztuczne. Chemia, technologia wytwarzania, właściwości, przetwórstwo, zastosowanie. Wydawnictwo oświatowe FO-SZE, Rzeszów 1998.
29. Tadmor Z., Gogos C. G.: Principles of Polymer Processing. John Wiley & Sons, Hoboken 2006.
30. Troughton M. J.: Handbook of Plastics Joining. William Andrew Inc., Norwich 2008.
31. White J. L., Kwang-Jea K.: Thermoplastic and Rubber Compounds: Technology and Physical Chemistry. Carl Hanser Verlag, Munich 2008.
32. White J. R.: De S. K.: Poradnik technologia gumy. Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL”, Piastów 2003.



## Rozdział II

### **Część laboratoryjna**



# 1. Spawanie

## 1.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego spawania tworzyw termoplastycznych z wykorzystaniem palnika gazowego. Ocena jakości wykonanego połączenia przeprowadzona zostanie na podstawie wyglądu spoiny, deformacji elementów łączonych oraz określonych właściwości mechanicznych.

## 1.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze jest wyposażone w palnik do spawania gorącym powietrzem o mocy 1860 W, firmy Leister typ Ghibli (rys. 1.1), przystosowany do zasilania prądem o napięciu 220 V i częstotliwości  $50 \div 60$  Hz.



Rys. 1.1. Wygląd palnika do spawania gorącym powietrzem oraz fragment elementów łączonych wraz ze spoiną: 1, 2 - elementy spawane, 3 - korpus palnika elektrycznego, 4 - pręt spawalniczy, 5 - wymienne dysze spawalnicze

Urządzenie jest wyposażone w elektroniczną regulację temperatury, zapewniającą jej bezstopniową zmianę w zakresie od 20 do 600°C oraz w dwustopniowy regulator przepływu powietrza. Temperatura powietrza jest kontrolowana przez fotorezystor, który reaguje na zmiany koloru skrętki grzejnej. Do pistoletu spawalniczego dołączone są także specjalne dysze spawalnicze, których przekrój poprzeczny odpowiada przekrojowi poprzecznemu prętów spawalniczych. Próbkę z tworzywa, przeznaczoną do spawania gorącym powietrzem za pomocą palnika, powinny mieć kształt płytek prostokątnych o wymiarach podanych przez prowadzącego.

### 1.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1. Bezpośrednio:

- wielkość deformacji – odległość punktów charakterystycznych, przed i po spawaniu, miara kąta,
- wartość siły przy zerwaniu (w odniesieniu do rodzaju spoiny).

2. Pośrednio

- wartość naprężenia dla próbek litych oraz próbek ze spoiną,
- wartość wytrzymałości względnej złącza spawanego.

Czynnikiem zmiennym jest:

- grubość elementów spawanych,
- temperatura spawania (zależna od rodzaju tworzywa z którego są wykonane próbki).

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj palnika, rodzaj dyszy, wymiary pręta spawalniczego,
- położenie punktów charakterystycznych,
- temperatura nagrzewania próbek o tej samej grubości.

Ocenia się, że czynnikami zakłócającymi są: zmiana temperatury otoczenia, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

Próbki do badań należy przygotować z płyty PP, PE, PVC lub PA poprzez obróbkę mechaniczną, której ślady należy usunąć przez szlifowanie. Powierzchnię łączoną należy oczyścić i schropować oraz zaukosować pod odpowiednim kątem (około 30° dla PP, PVC, około 25° dla PE i PA) do krawędzi łączonych płyt. W zależności od rodzaju łączonych elementów należy dobrać odpowiedni pręt spawalniczy:

- pręt PVC (szary), temperatura spawania ok. 300°C, przekrój poprzeczny kołowy, średnica 4 mm,
- pręt PE (czarny lub biały), temperatura spawania ok. 270°C, przekrój poprzeczny trójkątny 5,7 x 3,7 mm,
- pręt PP (szary), temperatura spawania ok. 300°C, przekrój poprzeczny kołowy, średnica 4 mm lub trójkątny 5,7 x 3,7 mm.

### 1.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Podczas wykonywania ćwiczenia należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Na końcówkę pistoletu nałożyć specjalną dyszę o przekroju poprzecznym, odpowiadającym przekrojowi wybranego pręta spawalniczego,

2. Pokrętko regulatora temperatury oraz regulatora przepływu powietrza ustawić odpowiednio w położeniu zero.
3. Doprowadzić napięcie do pistoletu i uruchomić pistolet włącznikiem startowym (w tym celu pokrętko regulatora temperatury powietrza ustawić w żądanym położeniu, zależnym od rodzaju spawanego tworzywa).
4. Działające urządzenie pozostawić na około 5 minut, celem uzyskania wymaganej temperatury.
5. W otwór przelotowy dyszy palnika spawalniczego wprowadzić pręt i tak przygotowany, nagrany palnik przystawić w odległości  $15 \div 20$  mm od elementów łączonych, w miejscu rozpoczęcia procesu spawania (pod wpływem gorącego powietrza powierzchnie próbek z tworzywa oraz pręt spawalniczy - spoiwo zostają uplastycznione).
6. Próbki tworzywa - elementy łączone, umieścić obok siebie, w odpowiedniej odległości i dokonać pomiarów łączonych elementów w punktach charakterystycznych bezpośrednio przed spawaniem (rys. 1.2 i rys. 1.3) oraz po wykonaniu spoiny.
7. Jednostajnym ruchem wypełnić spoiną całą długość próbki w miejscu łączenia elementów (otrzymując wymaganą spoinę X lub V).
8. Po zakończeniu procesu spawania pokrętko regulatora temperatury ustawić w położeniu zero, a następnie odczekać kilka minut, aby nastąpiło należyte ochłodzenie dyszy i końcówki palnika,
9. Dokonać powtórnie pomiarów w punktach charakterystycznych po procesie spawania (rys. 1.2 i rys. 1.3).
10. Wykonać pomiary na maszynie wytrzymałościowej w warunkach podanych przez prowadzącego. Pomiary właściwości mechanicznych podczas próby jednoosiowego rozciągania należy przeprowadzić tak, aby mocowane w uchwycie maszyny wytrzymałościowej próbki ze spoiną znajdowały się w połowie długości pomiaru. Następnie obliczyć wartość naprężenia zrywającego oraz wytrzymałości względnej połączenia według wzorów:

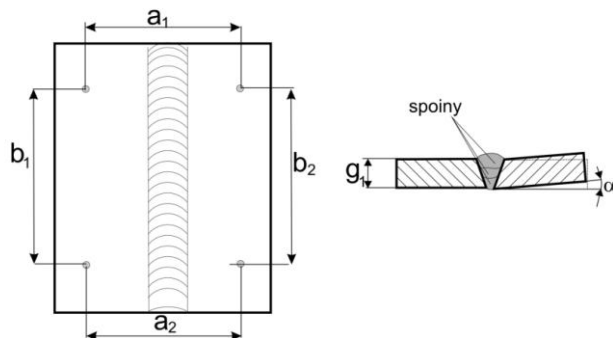
$$\sigma_r = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1.1)$$

gdzie:  $P_{\max}$  - maksymalna siła przy rozciąganiu, A - pole przekroju próbki

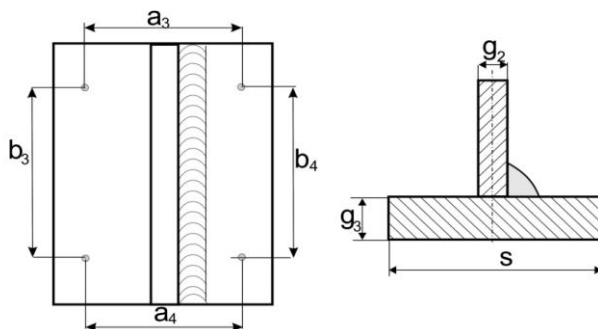
$$K_s = \frac{\sigma_r' - \sigma_r}{\sigma_r} 100\% \quad (1.2)$$

gdzie:  $K_s$  - wytrzymałość względna złącza spawanego,  $\sigma_r'$  - wartość naprężenia (niszczącego) przy rozciąganiu próbek litych,  $\sigma_r$  - wartość naprężenia przy rozciąganiu próbek ze spoiną.

11. Powtórzyć w/w czynności dla różnych wartości temperatur spawania, przy różnych grubościach elementów łączonych, na próbkach otrzymanych od prowadzącego, otrzymane wyniki należy wpisać do tabeli 1 oraz tabeli 2.



Rys. 1.2. Miejsce i położenie punktów charakterystycznych:  $a_{1,2}$ ,  $b_{1,2}$  - przy tworzeniu spoiny doczołowej:  $g_1$  - grubość elementów łączonych,  $\alpha$  - kąt deformacji



Rys. 1.3. Miejsce i położenie punktów charakterystycznych:  $a_{3,4}$ ,  $b_{3,4}$  - przy tworzeniu spoiny pachwinowej:  $g_2$ ,  $g_3$  - grubość elementów łączonych,  $s$  - szerokość elementu podstawy

## 1.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zostać przedstawione w postaci tabelarycznej. Po przeprowadzeniu procesu spawania należy zbadać jakość spoiny poprzez określenie czy nie powstały następujące wady:

- zwiększenie chropowatości lica spoiny,
- powstanie miejscowego skupienia pęcherzy w spoinie,
- brak ciągłości spawu,
- nieregularne, wąskie szczeliny sięgające w głąb spoiny, pęknięcia,

- występowanie rowka na brzegach części łączonych tuż przy granicy ze spoiną w postaci podtopienia,
- nieznaczne różnice we wzajemnym położeniu elementów łączonych widoczne w porównaniu ze wzorcem (wypaczenie),
- brunatne plamy, pasma, smugi lub linie rozłożonego termicznie tworzywa, widoczne na powierzchni spoiny (przypalenie).

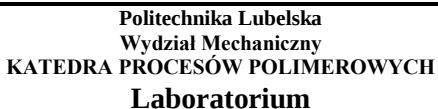
Wyniki obserwacji opisać we wnioskach do sprawozdania.

## **1.6. Sprawozdanie**

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia, charakterystykę programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego procesu spajania, wyniki pomiarów i obliczeń, zestawienie tabelaryczne, wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu rodzaju tworzywa i warunków spawania na jakość połączenia.

## **Literatura**

1. Colditz W.: Spajanie tworzyw sztucznych. Przegląd Spawalnictwa 1984, 10.
2. Jasiulek P: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania. Wydawnictwo KaBe Krosno 2006.
3. Materiały handlowe firmy Leister.
4. Schrader W.: Tworzywa Sztuczne - Przeróbka i spawanie. WNT, Warszawa 1973.
5. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Spawanie</b>                                         |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
| .....                                                   | Ocena          | Rok akademicki |
| .....                                                   |                |                |
| .....                                                   |                |                |
| .....                                                   |                |                |

## 1. CEL ĆWICZENIA

## 2. CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA BADAWCZEGO

### 3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAÑ

[illegible]

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Ocena spójny i wyniki pomiarów położenia punktów charakterystycznych na elementach łączonych

| Rodzaj spoiny        | Rodzaj tworzywa | Temperatura spawania | Wymiary charakterystyczne przed spawaniem | Wymiary charakterystyczne po spawaniu |
|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| Doczołowa<br>V lub X |                 |                      | $a_1 =$                                   | $a'_1 =$                              |
|                      |                 |                      | $a_2 =$                                   | $a'_2 =$                              |
|                      |                 |                      | $b_1 =$                                   | $b'_1 =$                              |
|                      |                 |                      | $b_2 =$                                   | $b'_2 =$                              |
|                      |                 |                      | kąt $\alpha =$                            | kąt $\alpha' =$                       |
|                      |                 |                      | $g_1 =$                                   |                                       |
| Pachwinowa<br>L      |                 |                      | $a_3 =$                                   | $a'_3 =$                              |
|                      |                 |                      | $a_4 =$                                   | $a'_4 =$                              |
|                      |                 |                      | $b_3 =$                                   | $b'_3 =$                              |
|                      |                 |                      | $b_4 =$                                   | $b'_4 =$                              |
|                      |                 |                      | $s =$ , $g_2 =$ , $g_3 =$                 |                                       |

Tabela 5.2. Wyniki oznaczania wytrzymałości względnej spoiny (rodzaj spoiny )

| Nr pomiaru | Rodzaj tworzywa | Pole przekroju poprzecznego, A, mm <sup>2</sup> | Wartość siły maksymalnej |                       | Wytrzymałość względna spoiny K <sub>s</sub> |
|------------|-----------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
|            |                 |                                                 | P <sub>max</sub> , N     | P' <sub>max</sub> , N |                                             |
| 1          |                 |                                                 |                          |                       |                                             |
| 2          |                 |                                                 |                          |                       |                                             |
| 3          |                 |                                                 |                          |                       |                                             |
| 4          |                 |                                                 |                          |                       |                                             |
| 5          |                 |                                                 |                          |                       |                                             |

[illegible]

[illegible]

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.



## 2. Zgrzewanie rezystancyjne

### 2.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego zgrzewania folii. Ocena jakości otrzymanej zgrzeiny, przeprowadzona zostanie na podstawie obserwacji wyglądu zgrzeiny, deformacji powierzchni, wytrzymałości podczas próby jednoosiowego rozciągania z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej.

### 2.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi zgrzewarka rezystancyjna wyprodukowana przez Spółdzielnię Rzemieślniczą w Otwocku. Zgrzewarka jest urządzeniem składającym się ze stołu, ramy stałej oraz ramy ruchomej (rys. 2.1). Do roboczej części ramy stałej oraz ramy ruchomej są zamocowane przekładki z PTFE oddzielającymi korpus od taśm grzejnych oraz drutu rezystancyjnego (rys. 2.2). Przekładki chronią obszar zgrzewania przed stratami ciepła oraz stanowią powierzchnię na której zachodzi docisk łączonych elementów bezpośrednio po uplastycznieniu obszaru zgrzeiny. Taśmy grzejne o szerokości 2 mm są umieszczone pod dodatkowymi przekładkami oddzielającymi, natomiast drut rezystancyjny umieszczony pomiędzy taśmami, jest rozciągnięty na przekładkach i znajduje się w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią zgrzewanej folii. Rama ruchoma zgrzewarki jest dociskana do ramy nieruchomej z wymaganą siłą, za pomocą układu dźwigni.



Rys. 2.1. Wygląd ogólny zgrzewarki rezystancyjnej: 1 - rama nieruchoma, 2 - rama ruchoma, 3 - element grzejny - listwa, 4 - układ sterownia temperatury i czasu zgrzewania



Rys. 2.2. Wygląd stałej części ramy zgrzewarki wraz z taśmą rezystancyjną: 1 - rama stała zgrzewarki, 2 - folia, 3 - taśma rezystancyjna, 4 - przekładka izolacyjna z PTFE

Urządzenie - zgrzewarka jest wyposażona w stopniową regulację czasu zgrzewania oraz przełącznik umożliwiający nagrzewanie pojedynczej lub podwójnej taśmy oraz nagrzewanie drutu. W konstrukcji zgrzewarki w zależności od warunków drut rezystancyjny umożliwia zgrzewanie lub rozdzielanie łączonych elementów.

Uplastycznienie elementów łączonych, o małej grubości (folii lub cienkich płyt), jest możliwe do uzyskania w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez rezystancyjną listwę lub drut. Listwa nagrzewa łączne elementy od strony zewnętrznej, a strumień ciepła przechodzi przez całą grubość elementów łączonych, wytworzonych z tworzyw o dużym przedziale pomiędzy temperaturą topnienia, a temperaturą rozkładu (głównie do PE-LD, PE-HD oraz PP).

### 2.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

#### 1. Bezpośrednio:

- jakość zgrzeiny, w odniesieniu do grubości folii,
- wartość siły  $P_{max}$  przy zerwaniu (w odniesieniu do wartości kąta wycięcia próbki).

#### 2. Pośrednio:

- Ocenę potencjalnych wad podczas procesu zgrzewania
- wartość naprężenia dla próbek ze spoiną.

Czynnikiem zmiennym jest:

- grubość elementów zgrzewanych,
- warunki zgrzewania (podane przez prowadzącego)

Czynniki stałymi są:

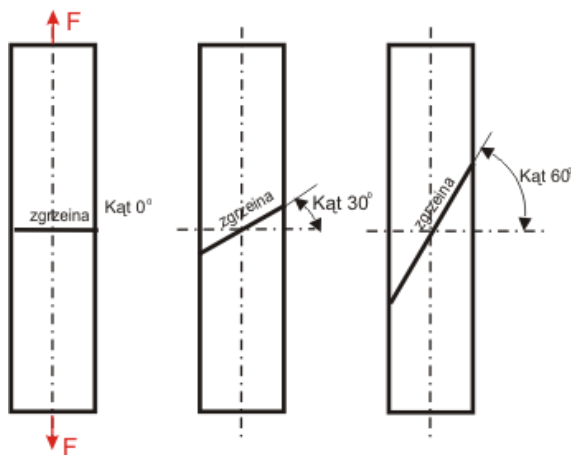
- rodzaj zgrzewarki,
- temperatura zgrzewania próbek o tej samej grubości.

## 2.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Próbki przeznaczone do zgrzewania rezystancyjnego w postaci folii wykonanej z odpowiedniego tworzywa powinny mieć grubość od 0,35mm do 1mm. Kształt próbek folii powinien być prostokątny o wymiarach: długość około 200mm, szerokość około 300mm. Proces zgrzewania przeprowadza się w temperaturze otoczenia  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

W celu wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

1. Wyciąć wymagane odcinki folii do zgrzewania.
2. Pokrętko regulatora czasu zgrzewania ustawić na najmniejszą wartość.
3. Folie do zgrzewania umieścić pomiędzy ramą stałą, a ramą ruchomą urządzenia.
4. Pokrętko rodzaju zgrzeiny ustawić w jednej z pozycji: włączona jedna taśma grzejna, włączone dwie taśmy grzejne, włączone tylko grzanie drutu do odcięcia folii.
5. Ocenić jakość zgrzeiny, w przypadku gdy zgrzeina nie jest wykonana prawidłowo (folie mają zbyt dużą grubość) czynności 1 - 4 powtórzyć przy dłuższym czasie zgrzewania.
6. Po uzyskaniu wymaganej jakości zgrzeiny wykonać odpowiednią liczbę próbek do badań.
7. Z otrzymanych odcinków zawierających różne rodzaje zgrzein wyciąć co najmniej trzy próbki o wymiarach (szerokość  $b=15\text{mm}$ , długość  $l=100\text{ mm}$ ) przy różnym kącie pochylenia zgrzeiny ( $0^{\circ}$ ;  $30^{\circ}$ ;  $60^{\circ}$ ) w odniesieniu do osi symetrii (w połowie długości próbki), według szablonu pokazanego na rys. 2.3.
8. Z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej, wykonać próbę zrywania próbek wraz ze zgrzeiną.
9. Określić wartości maksymalnej siły zrywającej i zapisać jej wartość w tabeli 5.1 sprawozdania.



Rys. 2.3. Wygląd próbek wraz z charakterystycznym kątem pochylenia zgrzeiny w odniesieniu do osi odcinka folii przeznaczone do badań na maszynie wytrzymałościowej

## 2.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zostać przedstawione w postaci tabelarycznej. Po przeprowadzeniu procesu zgrzewania opisać (tabela 5.2) jakość otrzymanej zgrzeiny oraz określić rodzaje ewentualnych wad i sposoby ich zapobiegania na przykład:

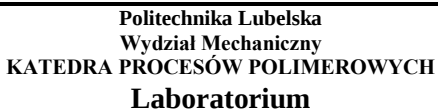
- zwiększenie chropowatości zgrzeiny w porównaniu do powierzchni folii,
- nieregularne otwory przechodzące do zgrzeiny,
- odkształcenie w pobliżu zgrzeiny w postaci łagodnych wgłębień i wzniesień (pofalowanie),
- brak ciągłości zgrzeiny wzdłuż linii zgrzewania,
- zniszczenie zgrzeiny w postaci wypalenia na wskroś,
- wypływki przy krawędzi zgrzeiny.

## 2.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia, charakterystykę programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego procesu spajania, wyniki pomiarów i obliczeń, zestawienie tabelaryczne, wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu rodzaju tworzywa i warunków spawania na jakość połączenia.

## Literatura

1. Jasiulek P: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania. Wydawnictwo KaBe Krosno 2006.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
4. PN-C-89110-00:1975: Wyroby z tworzyw sztucznych. Wady technologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.
5. Materiały handlowe firmy Herzt.
6. Materiały handlowe firmy Leister.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Zgrzewanie rezystancyjne</b>                         |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

## 2. CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA BADAWCZEGO

### 3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

#### 4. PROGRAM BADAŃ

94

5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Wyniki oznaczania wytrzymałości względnej spoiny

| Nr po-<br>miaru | Rodzaj<br>tworzywa | Wartość kąta<br>pochylenia zgrzeiny<br>w odniesieniu<br>do krawędzi próbki | Wartość siły<br>maksymalnej,<br>$P_{max}$ , N | Uwagi |
|-----------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------|
| 1               |                    | $0^0$                                                                      |                                               |       |
| 2               |                    | $0^0$                                                                      |                                               |       |
| 3               |                    | $0^0$                                                                      |                                               |       |
| 1               |                    | $30^0$                                                                     |                                               |       |
| 2               |                    | $30^0$                                                                     |                                               |       |
| 3               |                    | $30^0$                                                                     |                                               |       |
| 1               |                    | $60^0$                                                                     |                                               |       |
| 2               |                    | $60^0$                                                                     |                                               |       |
| 3               |                    | $60^0$                                                                     |                                               |       |

Tabela 5.2. Wyniki obserwacji jakości otrzymanej zgrzeiny

| Rodzaj zgrzeiny | Wygląd / Zalety | Wady i sposoby<br>ich zapobiegania |
|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|                 |                 |                                    |
|                 |                 |                                    |
|                 |                 |                                    |

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

[illegible]

|  |
|--|
|  |
|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.

### 3. Zgrzewanie nagrzaną płytą

#### 3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą zgrzewania z wykorzystaniem nagrzanej płyty i zastosowanie jej do łączenia odcinków instalacji wodnej, w postaci rur oraz złączek wykonanych z PP.

#### 3.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze w przypadku dużych wymiarów elementów powinno być wyposażone w zgrzewarkę z płytą grzewczą oraz dodatkowe elementy ustalające. Wygląd zestawu do łączenia rur o dużych średnicach wraz z uchwytami zapewniającymi wymagane usytuowanie łączonych elementów ze sobą, podczas ich łączenia, przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Wygląd zestawu do zgrzewania elementów z tworzywa w postaci rur o dużych wymiarach

W przypadku zgrzewania rur o małych wymiarach można zastosować urządzenie do zgrzewania 44E160 (rys. 3.2). Jest ono wyposażone w płytę grzewczą o mocy 800 W, umożliwiającą nagrzewanie elementów z tworzywa do temperatury od 0 do 300 °C, przy zasilaniu napięciem prądu przemiennego o wartości 230V, 50 Hz. Urządzenie ma układ regulacji temperatury wraz z zabezpieczeniem przed przegrzaniem. Z uwagi na przeznaczenie do nagrzewania rur oraz złączek o różnych średnicach, urządzenie jest wyposażone w dodatkowe wymienne elementy (tabela 3.1).

Tabela 3.1. Wymiary charakterystyczne wymiennych tulei grzejnych oraz warunki nagrzewania

| Średnica zewnętrzna rury<br>$D$ , mm | Głębokość uplastycznienia<br>$l$ , mm | Czas uplastycznienia<br>$t_1$ , s | Czas na wykonanie zgrzeiny,<br>$t_2$ , s | Czas na ochłodzenie,<br>$t_3$ , s |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| 20                                   | 14                                    | 5                                 | 4                                        | 3                                 |
| 25                                   | 15                                    | 7                                 | 4                                        | 3                                 |
| 32                                   | 16,5                                  | 8                                 | 4                                        | 4                                 |
| 40                                   | 17                                    | 8                                 | 4                                        | 6                                 |

Równomierne nagrzanie czołowych powierzchni zewnętrznych rur oraz wewnętrznych powierzchni złąček, na wymaganą głębokość uplastycznienia, jest realizowane za pomocą wymiennych tulei kształtowych, wykonanych z mosiądzu (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Wygląd urządzenia do zgrzewania 44E160 z płytą grzewczą wraz z dodatkowym wyposażeniem: 1 - korpus zgrzewarki z płytą grzejną, 2 - podstawa, 3 - wymienne tuleje kształtowe

### 3.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1. Bezpośrednio:
  - wartość siły przy zerwaniu (w odniesieniu czasu zgrzewania i grubości ścianki elementu).

## 2. Pośrednio:

- wartość naprężenia dla określonego rodzaju złązek.

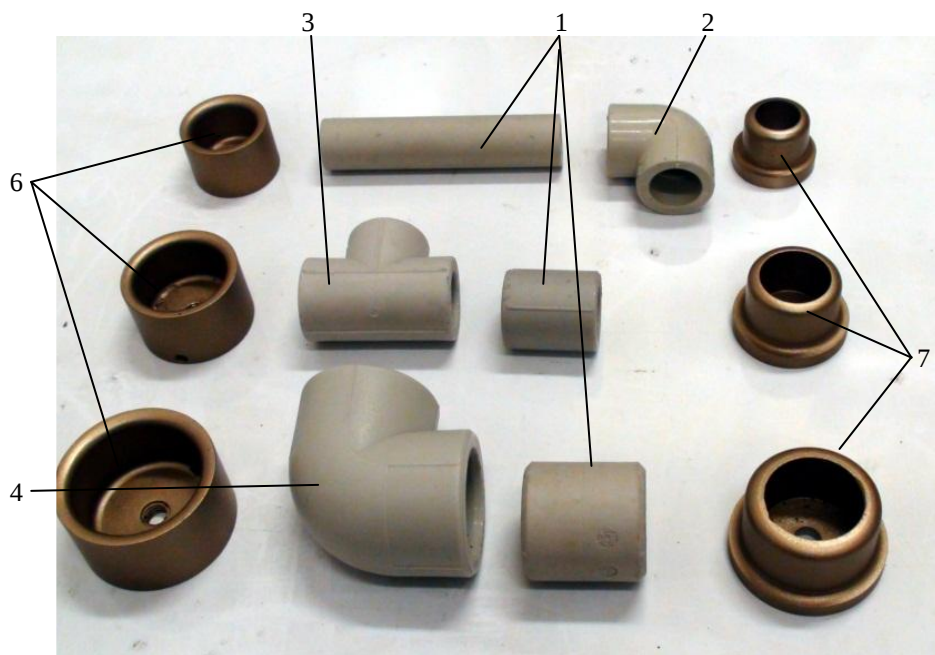
Czynnikami zmiennym są:

- średnica, grubość oraz rodzaj tworzywa z którego wykonane są elementy zgrzewane,
- temperatura zgrzewania (zależna od rodzaju tworzywa z którego są wykonane próbki),
- czas zgrzewania (zależny od rodzaju tworzywa i grubości ścianki elementu).

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj zgrzewarki,
- temperatura nagrzewania próbek o tej samej grubości.

Próbki przeznaczone do zgrzewania za pomocą nagrzanej płyty stanowią elementy instalacji w postaci odcinków walcowych, kolanek, reduktorów, trójników (rys. 3.3). W zależności od wymiarów zgrzewanych rur oraz wymaganej głębokości uplastycznienia warunki zgrzewania należy dobrać na podstawie tabeli 3.1



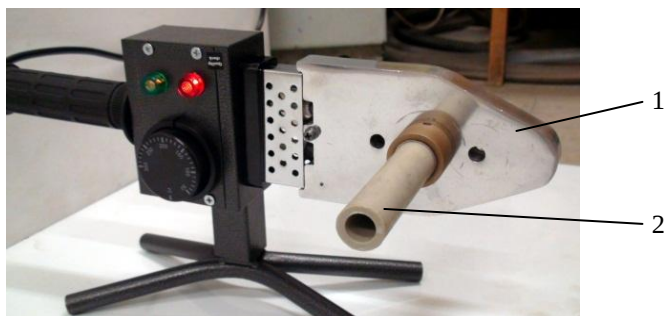
Rys. 3.3. Różne rodzaje elementów zgrzewanych i odpowiadające im tuleje kształtowe do nagrzewania: 1 - odcinek rury, 2 - kolanko o małej średnicy, 3 - trójnik, 4 - kolanko o dużej średnicy, 5 - kolanko o małej średnicy, 6 - tuleje kształtowe do nagrzewania - wewnętrzne, 7 - tuleje kształtowe do nagrzewania - zewnętrzne

### 3.4. Przebieg ćwiczenia

Próbki przeznaczone do zgrzewania za pomocą nagrzanej płyty powinny mieć postać odcinków rur, złączek, trójników, kolanek itp., stosowanych w kanalizacji wodnej z PP. Średnica zewnętrzna zgrzewanych rur wynosi od 20mm do 40mm, przy grubości ścianki rur i złączek od 3mm do 8mm.

W celu wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

1. Przygotować odpowiednią parę elementów o wymaganej średnicy i grubości ścianki, o krawędziach prostopadłych do ich osi.
2. Do płyty grzewczej przykręcić tuleje kształtowe o odpowiednich średnicach, odpowiadających wymiarom łączonych elementów.
3. Pokrętko regulatora temperatury ustawić w odpowiednim położeniu, w zależności od rodzaju tworzywa (w przypadku PP wartość temperatury wynosi ok. 200°C).
4. Odcinek rury umieścić w tulei z jednej strony płyty grzewczej, zaś złączkę w drugiej tulei (rys. 3.4 i rys 3.5) nagrzewać oba elementy przez wymagany czas  $t_1$  uplastyczniania na zadaną głębokość uplastycznienia.



Rys. 3.4. Wygląd urządzenia do zgrzewania: 1 - płyta grzejna, 2 - odcinek rury walcowej



Rys. 3.5. Wygląd urządzenia do zgrzewania: 1- płyta grzejna, 2 - złączka tzw. „kolanko”

5. Odsunąć elementy od płyty i dokonać połączenia w wymaganym czasie  $t_2$  oraz w odpowiednim układzie, w zależności od położenia osi rury oraz osi łącznika.
6. W czasie  $t_3$  ochładzania utrzymać nacisk na łączone elementy przy stałej wartości siły.
7. Wykonać nagrzewanie kolejnego elementu przez powtórzenie czynności przebiegu ćwiczenia.
8. Otrzymane połączenie ocenić z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej na odcinku rury o długości ok. 100 mm, zawierającej w połowie długości zgrzeinę.

### 3.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zostać przedstawione w postaci tabelarycznej, wyniki zamieścić w tablicy 5.1. Po przeprowadzeniu procesu zgrzewania należy zbadać jakość spoiny poprzez określenie czy nie powstały następujące wady:

- rura z łącznikiem nie została połączona na trwałe,
- widoczna jest deformacja powierzchni zewnętrznej rury lub łącznika,
- na powierzchni widoczne są przetopienia lub wypływy,
- widoczne są miejscowe skupienia pęcherzy powietrza w zgrzeinie,
- uzyskano nieznaczne różnice we wzajemnym położeniu elementów łączonych,
- brunatne plamy, pasma, smugi lub linie rozłożonego termicznie tworzywa, widoczne na powierzchni zgrzeiny (przypalenie).

### 3.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia, charakterystykę programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego procesu spajania, wyniki pomiarów i obliczeń, zestawienie tabelaryczne, wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu rodzaju tworzywa i warunków zgrzewania na jakość połączenia.

## Literatura

1. Jasiulek P: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania. Wydawnictwo KaBe Krosno 2006.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
4. PN-EN 1778:2002: Wartości charakterystyczne dotyczące spawanych konstrukcji z tworzyw termoplastycznych. Określanie dopuszczalnych naprężeń i modułów do projektowania elementów z tworzyw termoplastycznych.
5. PN-C-89110-00:1975: Wyroby z tworzyw sztucznych. Wady technologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.

[illegible]

.....

.....

.....

.....

.....

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the paper.

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

104

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Podstawowe dane charakteryzujące wykonane zgrzeiny

| Rodzaj tworzywa :      |                                |                        |                                |                                       |                                         |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| Temperatura zgrzewania | Średnica zewnętrzna rury, D mm | Grubość ścianki, g, mm | Czas uplastyczniania $t_1$ , s | Głębokość uplastyczniania, $g_p$ , mm | Wartość siły maksymalnej, $P_{max}$ , N |
|                        |                                |                        |                                |                                       |                                         |
|                        |                                |                        |                                |                                       |                                         |
|                        |                                |                        |                                |                                       |                                         |
|                        |                                |                        |                                |                                       |                                         |

[illegible]

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting or typing. There are no margins, text, or other markings on the page.

|  |
|--|
|  |
|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.

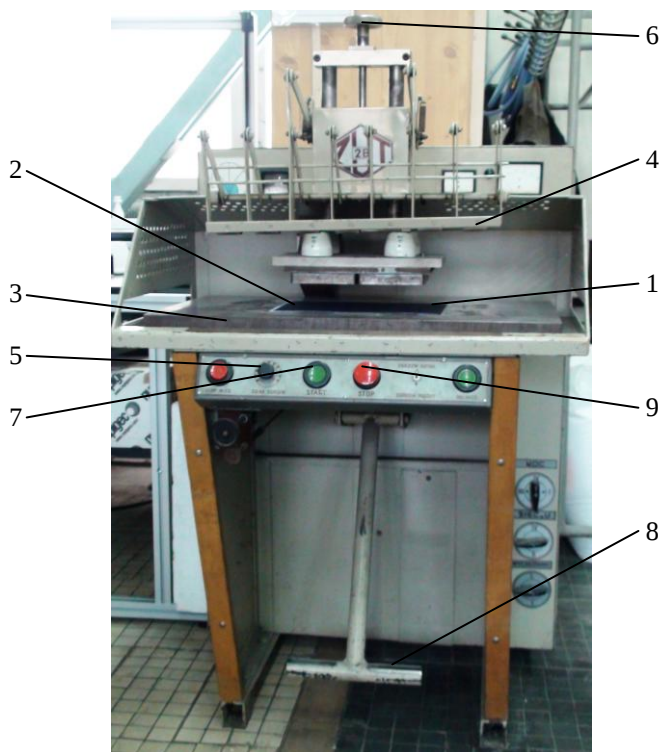
## 4. Zgrzewanie pojemnościowe

### 4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego zgrzewania pojemnościowego oraz ocena trwałości wykonanego połączenia, na przykładzie folii wykonanej z PVC o grubości ok. 0,5 mm.

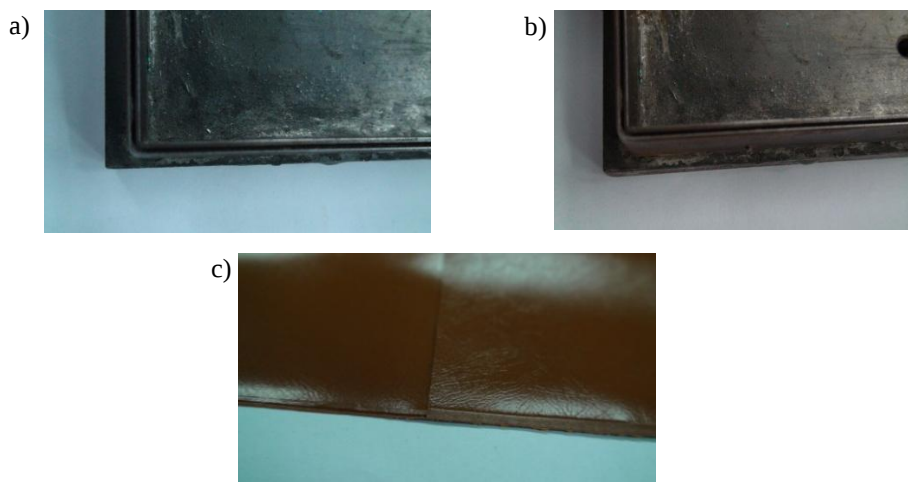
### 4.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska przedstawionego na rys. 4.1 wchodzi zgrzewarka pojemnościowa ZUT-2B, wyprodukowana przez Zakład Doświadczalny SI w Warszawie. Zgrzewarka pojemnościowa jest przystosowana do zgrzewania różnych gatunków folii z PVC w dużym zakresie zmian grubości, elektrodami o dowolnych kształtach i wymiarach (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Wygląd ogólny zgrzewarki pojemnościowej: 1 - arkusze folii z PVC, 2 - przekładka izolacyjna, 3 - elektroda dolna, 4 - elektroda górna, 5 - pokrętło czasu zgrzewania, 6 - pokrętło regulacyjne, 7 - przycisk START, 8 - dźwignia, 9 - przycisk STOP

W zabudowanej części urządzenia znajduje się transformator wysokiego napięcia, prostownik napięcia, generator przetwarzający prąd o częstotliwości 50 Hz na prąd o częstotliwości 27,12 MHz, filtr wysokiej częstotliwości, układ chłodzący oraz zespoły sterujące procesem zgrzewania. Na zewnętrznej obudowie znajduje się stół roboczy, na którym umieszcza się zgrzewaną folię. Płyta stołu roboczego jest połączona przez izolator z dolną elektrodą. Elektroda górna jest opuszczana poprzez układ dźwigniowy. Podczas zgrzewania w zależności od grubości folii właściwy docisk elektrod do siebie ustawia się pokrętkiem regulacyjnym. Równocześnie z opuszczaną elektrodą jest zamykana kratownica, z ekranem zabezpieczającym przed promieniowaniem elektromagnetycznym, wytwarzanym podczas zgrzewania. Podczas zgrzewania pojemnościowego wykorzystywane są elektrody wykonane ze stali lub mosiądzu. Umożliwiają one wytworzenie pola elektrycznego o wysokiej częstotliwości w miejscu łączenia folii. Do zgrzewania z jednoczesnym odcinaniem zgrzewu stosuje się elektrody ze specjalnie wykonaną krawędzią odcinającą (rys.4.2).



Rys. 4.2. Wygląd fragmentu naroża elektrod oraz zgrzeiny: a) elektroda górna, b) elektroda dolna, c) zgrzeina

### 4.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1. Bezpośrednio:

- trwałość wykonania połączenia zgrzewanego (w odniesieniu do grubości folii).

2. Pośrednio:

- wartość siły przy zerwaniu połączenia zgrzewanego.

Czynniki zmiennymi są:

- grubość elementów zgrzewanych,
- warunki zgrzewania (zależne od rodzaju tworzywa z którego są wykonane próbki)

Czynnikami stałymi są:

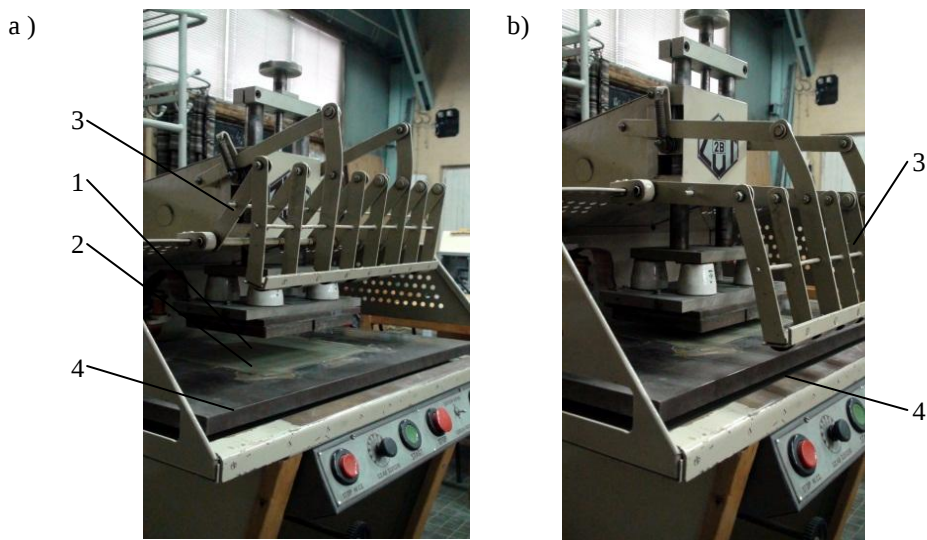
- rodzaj zgrzewarki, wymiary elektrod,
- częstotliwość prądu oraz czas zgrzewania próbek o tej samej grubości.

Próbki przeznaczone do zgrzewania pojemnościowego powinny być wykonane z PVC, w postaci arkusza o grubości wynoszącej od 0,5mm oraz 1mm mających wymiary: szerokość 210mm oraz długość 300mm. Zgrzewanie należy przeprowadzić przy dwóch grubościach folii, a następnie ocenić jakość zgrzeiny wraz z opisem ewentualnych wad (tablica 4.1).

#### 4.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Proces zgrzewania przeprowadza się w temperaturze otoczenia ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ). W celu wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności (opis poszczególnych elementów zgrzewarki pojemnościowej zgodnie z rys. 4.1):

1. Przygotować odpowiednie arkusze folii z PVC (1) wraz z przekładką izolacyjną (2).
2. Folię umieścić na elektrodzie dolnej (3), rys. 4.3a.
3. Ustawić w urządzeniu właściwą odległość elektrod od siebie za pomocą pokrętła regulacyjnego (6).
4. Ustawić na urządzeniu odpowiedni czas zgrzewania pokrętłem (5).
5. Włączyć zgrzewarkę włącznikiem głównym i nacisnąć przycisk START (7).
6. Opuścić elektrodę górną (4), rys. 4.3b.
7. Ustawić na urządzeniu odpowiednią częstotliwość prądu w zależności od wskazań woltomierza.
8. Docisnąć elektrodę górną (4) do elektrody dolnej (3) poprzez nacisk na dźwignię (8).
9. Zwolnić nacisk (8) i podnieść elektrodę górną (3).
10. Wyjąć z pomiędzy elektrod elementy zgrzewane (1) wraz z przekładką (2).
11. W przypadku, gdy podczas zgrzewania powstają wyładowania elektryczne, które objawiają się przeskokami iskier, należy wcisnąć natychmiast przycisk (9) z napisem STOP.
12. Po wykonaniu zgrzewania ocenić jakość zgrzeiny na podstawie badań z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej, według zaleceń prowadzącego.



Rys. 4.3. Wygląd zgrzewarki pojemnościowej: a ) faza układania folii pod elektrodą, b) faza zgrzewania - górna elektroda dociska folię do elektrody dolnej; 1 - zgrzewane folie, 2 - przekładka izolacyjna, 3 - elektroda górna, 4 - elektroda dolna

## 4.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zostać przedstawione w postaci tabelarycznej. Po przeprowadzeniu procesu zgrzewania należy zbadać jakość spoiny na podstawie badań i oraz określić czy nie powstały następujące wady w obszarze zgrzeiny:

- zwiększenie chropowatości lica zgrzeiny,
- powstanie miejscowego skupienia pęcherzy powietrza w zgrzeinie,
- brak ciągłości zgrzeiny,
- nieregularne, wąskie szczeliny sięgające w głąb zgrzeiny, pęknięcia,
- występowanie przetopień na odcinkach zgrzeiny,
- nieznaczne różnice we wzajemnym położeniu elementów łączonych
- brunatne plamy, pasma, smugi lub linie rozłożonego termicznie tworzywa, widoczne na powierzchni zgrzeiny (przypalenie).

Wyniki obserwacji opisać we wnioskach do sprawozdania (tabele 5.1 oraz 5.2).

## 4.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia ,charakterystykę

programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego procesu spajania, wyniki pomiarów i obliczeń, zestawienie tabelaryczne, wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu rodzaju tworzywa i warunków zgrzewania na jakość połączenia.

## **Literatura**

1. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
3. PN-C-89110-00:1975: Wyroby z tworzyw sztucznych. Wady technologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Zgrzewanie pojemnościowe</b>                         |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAÑ

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, typical of notebook paper. The dots are small and evenly spaced along each line, extending across the entire width of the page. There are approximately 20 lines visible.

5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Wyniki oceny zgrzeiny otrzymanej metodą zgrzewania pojemnościowego

| Rodzaj folii | Grubość folii<br>g, mm | Czas zgrzewania<br>t, s | Warunki zgrzewania | Siła rozrywająca zgrzeinę F, N |
|--------------|------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |
|              |                        |                         |                    |                                |

Tabela 5.2. Wyniki oceny jakości zgrzeiny na podstawie obserwacji

| Rodzaj folii | Grubość folii<br>g, mm | Opis zaobserwowanych wad w obszarze zgrzeiny |
|--------------|------------------------|----------------------------------------------|
|              |                        |                                              |
|              |                        |                                              |
|              |                        |                                              |

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

[illegible]

|  |
|--|
|  |
|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw. z próbą określenia kryteriów optymalizacji.



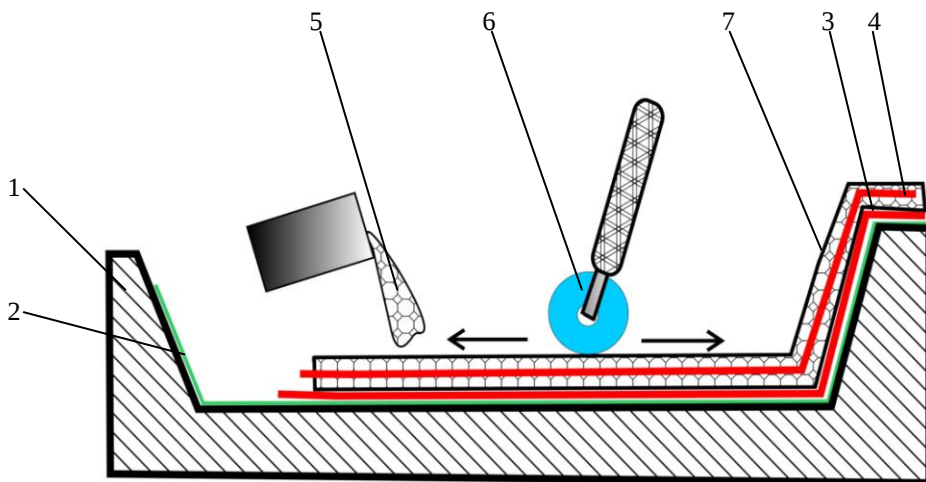
## 5. Laminowanie

### 5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego laminowania ręcznego oraz ocena właściwości mechanicznych otrzymanego wytworu po jego utwardzeniu.

### 5.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze jest wyposażone w formę wklęsłą wraz z elementem dociskowym oraz zestawem wzmocnienie-żywica-utwardzacz-rozcieńczalnik. Podczas ćwiczenia do określonego rodzaju wzmocnienia, którym może być: mata, tkanina lub roving, dobiera się określony rodzaj spoiwa, najczęściej żywicę. Próbkę badawczą wykonuje się poprzez laminowanie (rys. 5.1), dociskając wzmocnienie do formy za pomocą wałka lub pędzla. Po ułożeniu wymaganej liczby warstw otrzymany wytwór utwardza się w określonym czasie. Z otrzymanego wytworu wycina się próbki w postaci pasków do badań właściwości mechanicznych zgodnie z zleceniami prowadzącego.



Rys. 5.1. Schemat laminowania ręcznego w wyniku nakładania warstw żywicy na wzmocnienie: 1 - forma wklęsła, 2 - środek antyadhezyjny, 3, 4 - warstwy wzmocnienia (maty lub tkaniny), 5 - spoiwo (żywica), 6 - element dociskowy (wałek), 7 - warstwa laminatu

### 5.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1. Bezpośrednio:

- stan powierzchni laminatu.

2. Pośrednio:

- wartość siły powodującej rozerwanie próbki z laminatu.

Czynnikami zmiennymi są:

- grubość tkaniny,
- rodzaj i ilość żywicy,
- rodzaj i ilość utwardzacza.

Czynnikami stałymi są:

- kształt formy do laminowania,
- warunki laminowania (rodzaj wałka dociskającego, siła docisku, czas utwardzania (próbek z tej samej żywicy, o tej samej grubości).

W celu prawidłowego wykonania ćwiczenia należy przygotować laminat w postaci próbek o różnej liczbie warstw (różnej grubości), oraz przy zróżnicowanym rodzaju zastosowanego wzmocnienia lub rodzaju żywicy.

### 5.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności podczas laminowania ręcznego jest następująca:

1. Pokryć formę lub płytę środkiem antyadhezyjnym (np. woskiem).
2. Przygotować kompozycję żywicy wraz z utwardzaczem, w odpowiednich proporcjach podanych przez prowadzącego. Na przykład kompozycja o składzie: żywica epoksydowa Epidiam 53 w ilości 8 g oraz utwardzacz Z-1 (trietylotetraamina) w ilości dziesięciu procent masy żywicy 0,8 g.
3. Wyciąć kilka arkuszy tkaniny o wymiarach: długość 120 mm, szerokość 100 mm.
4. Dokładnie wymieszać kompozycję żywicy z utwardzaczem i w razie potrzeby dodać rozcieńczalnik.
5. Ułożyć warstwy tkaniny na wewnętrzną powierzchnię formy.
6. Nanieść kompozycję żywicy pędzlem i docisnąć wałkiem. Dociskanie zaczynać od środka powierzchni nałożonego nośnika w kierunku jego obrzeża.
7. Nałożyć kolejne warstwy tkaniny i żywicy, aż do uzyskania wymaganej grubości laminatu.
8. Po nałożeniu wszystkich warstw nośnika, formę odstawić do całkowitego utwardzenia się żywicy. W celu przyspieszenia utwardzania laminat naświetlać promiennikami podczerwieni, w czasie podanym przez prowadzącego.
9. Wyjąć laminat z formy.
10. Z otrzymanego laminatu wyciąć paski o długości 80 mm i szerokości 20 mm w celu przygotowania próbek do badań właściwości mechanicznych.

11. Następnie próbki do badań właściwości mechanicznych pojedynczo mocować w uchwycie maszyny wytrzymałościowej i podawać działaniu siły rozciągającej aż do zniszczenia.
12. Po zniszczeniu próbki odczytać wartość siły powodującej zniszczenie oraz obliczyć wartość naprężenia przy rozciąganiu, ze wzoru:

$$\sigma = \frac{F_z}{A} \quad (5.1)$$

gdzie:  $\sigma$  - naprężenie przy rozciąganiu,  $F_z$  - wartość siły zarejestrowanej przy zerwaniu,  $A$  - pole przekroju poprzecznego laminatu.

## 5.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zostać przedstawione w postaci tabelarycznej (tabela 5.1). Po przeprowadzeniu procesu laminowania należy zbadać jakość otrzymanego wytworu poprzez określenie czy w laminacie nie powstały następujące wady:

- miejscowe skupienia pęcherzy powietrza,
- nieregularne, wąskie szczeliny sięgające w głąb laminatu,
- pęknięcia powierzchni laminatu,
- różnice w grubości laminatu.

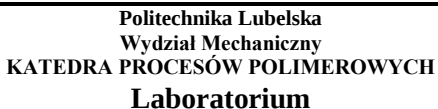
## 5.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia, charakterystykę programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego procesu spajania, wyniki pomiarów i obliczeń, zestawienie tabelaryczne, wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu rodzaju tworzywa i warunków spawania na jakość połączenia.

## Literatura

1. Brojer Z., Hertz Z., Penczek P.: Żywyce epoksydowe. WNT, Warszawa 1982.
2. Czub P., Bończa-Tomaszewski Z., Penczek P., Pielichowski J.: Chemia i technologia żywic epoksydowych. WNT, Warszawa 2002.
3. Hyla I., Sleziona J.: Kompozyty elementy mechaniki i projektowania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004
4. Królikowski W., Kłosowska - Wołkowicz Z., Penczek P.: Żywyce i laminaty poliestrowe. WNT, Warszawa 1986.
5. Katalog wyrobów firmy Z.Ch. Sarzyna.

6. Piątek M.: Teoretyczne podstawy nawijania elementów rurowych z włókna ciągłego splotem skrzyżowanym przy użyciu jednej wiązki. Polimery 1992, 9, s. 412.
7. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1992.
8. Sikora R.: Tworzywa epoksydowe w naprawie maszyn, WNT, Warszawa 1971



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Laminowanie</b>                                      |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
| .....                                                   | Ocena          | Rok akademicki |
| .....                                                   |                |                |
| .....                                                   |                |                |
| .....                                                   |                |                |

.....

.....

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

122

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Charakterystyka składników do laminowania oraz wyniki badań właściwości mechanicznych laminatu

| Charakterystyka składników do laminowania | Liczba warstw laminatu | Grubość laminatu g, mm | Pole przekroju poprzecznego A, mm <sup>2</sup> | Siła przy zerwaniu Fz, N | Wytrzymałość na rozciąganie σ, MPa |
|-------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Rodzaj żywicy<br>.....                    |                        |                        |                                                |                          |                                    |
| Rodzaj utwardzacza<br>.....               |                        |                        |                                                |                          |                                    |
| Rodzaj rozcieńczalnika<br>.....           |                        |                        |                                                |                          |                                    |
| Rodzaj maty<br>.....                      |                        |                        |                                                |                          |                                    |

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, resembling notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

|  |
|--|
|  |
|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw. z próbą określenia kryteriów optymalizacji.

## 6. Prasowanie wstępne

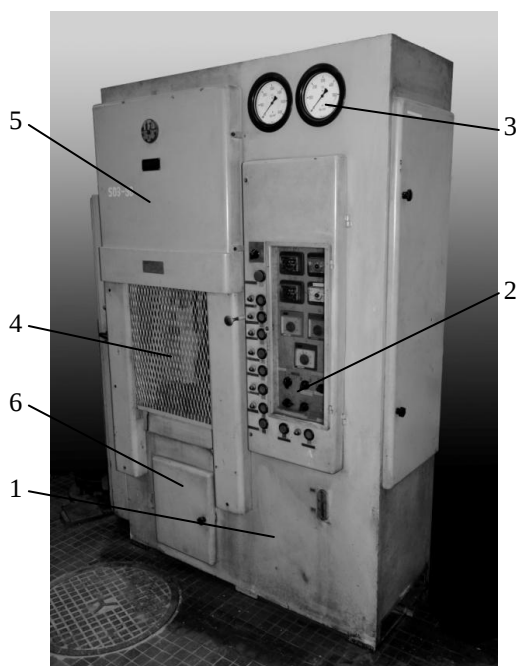
### 6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem prasowania wstępnego, zwanego tabletkowaniem oraz wyznaczenie współczynnika sprasowania tłoczyw K.

### 6.2. Stanowisko badawcze

W skład laboratoryjnego stanowiska badawczego umożliwiającego prasowanie wstępne tworzyw utwardzalnych wchodzi prasa hydrauliczna PHM-63h, forma do tabletkowania, waga laboratoryjna, urządzenie do wyznaczania gęstości nasypowej tworzyw (w sytuacji, kiedy gęstość nasypowa tłoczywa używanego podczas wykonywania ćwiczenie nie będzie znana) oraz tłoczywa fenolowe i aminowe w postaci proszku, z których zostaną wykonane tabletki.

Prasa hydrauliczna PHM-63h jest przeznaczona do prasowania metodą tłoczną lub przetłoczną wytworów z tworzyw utwardzalnych. Prasa ta ma konstrukcję ramową, górnotłokową z indywidualnym napędem. Składa się z prasy właściwej oraz szafy aparatury hydraulicznej. Poniżej stołu dolnego jest osadzony cylinder dolny uruchamiający mechanizm wyrzutnika. Oba cylindry są siłownikami różnicowymi [2]. Ogólny wygląd prasy hydraulicznej PHM-63h został przedstawiony na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Wygląd ogólny prasy hydraulicznej PHM-63h: 1 - korpus prasy, 2 - panel sterowania i regulacji, 3 - wskaźniki ciśnienia, 4 - siatka zabezpieczająca przestrzeń roboczą prasy, 5 - osłona cylindra górnego, 6 - osłona cylindra dolnego

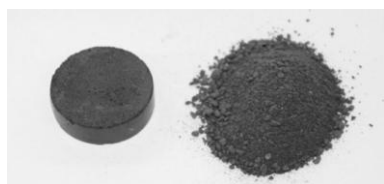
W tablicy 6.1 przedstawiono wybrane wielkości charakteryzujące prasę PHM-63h [2].

Tablica 6.1. Charakterystyka prasy hydraulicznej PHM-63h [2]

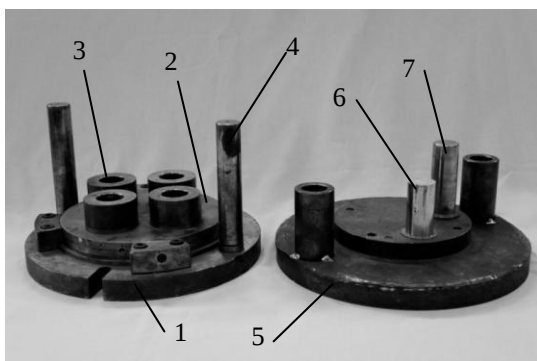
| Wielkość charakteryzująca prasę                            | Wartość   |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| Siła prasowania, kN                                        | 630       |
| Minimalny czas cyklu prasowania, s                         | 60        |
| Skok stołu, mm                                             | 300       |
| Maksymalne ciśnienie robocze w układzie hydraulicznym, MPa | 32        |
| Wymiary stołu, mm x mm                                     | 500 x 500 |
| Przestrzeń robocza, mm                                     | 600       |
| Siła wyrzutnika, kN                                        | 160       |
| Masa prasy, kg                                             | 2100      |

Prasa może działać w następujących cyklach pracy:

- sterowanie wyłączone (możliwe jest tylko grzanie formy),
- ustawianie (cykl służący do dokładnego zamocowania formy oraz ustawienia wymaganych parametrów),
- sterowanie ręczne,
- sterowanie półautomatyczne.



Rys. 6.2. Gotowa tabletka i tłoczywo w postaci proszku



Rys. 6.3. Forma prasownicza do tabletkowania: 1 - płyta mocująca dolna, 2 - matryca obrotowa, 3 - gniazdo formujące, 4 - słup prowadzący, 5 - płyta mocująca górna, 6 - stempeł, 7 - wypychacz

Wygląd formy prasowniczej do tabletkowania używanej podczas wykonywania ćwiczenia jest pokazany na rys. 6.3. Forma jest wykonana ze stali i ma cztery gniazda formujące umieszczone w obrotowej matrycy. Matryca wykonuje obrót o 90 stopni w kolejnych fazach wykonywania tabletki. W położeniu początkowym do gniazda formy zostaje zasypana odważona odpowiednia ilość tłoczywa, będącego w postaci proszku, następnie odbywa się prasowanie wstępne za pomocą stempla, po czym gotowa tabletka zostaje usunięta z formy

za pomocą wypychacza. Średnica gniazd formujących w prasowniczej formie do tabletkowania wynosi 28mm.

Tworzywami stosowanymi do prasowania najczęściej są tworzywa fenolowe i aminowe [3]. Do wykonania tabletek metodą prasowania wstępnego należy przygotować próbki poszczególnych tłoczyw, o masie  $7,5 \pm 0,1$ g, odważając je za pomocą wagi laboratoryjnej. W rezultacie prasowania wstępnego z każdej porcji tłoczywa otrzymuje się próbkę walcową o średnicy  $28 \pm 0,5$ mm oraz wysokości ok. 10mm. Wysokość tabletki jest uzależniona od wartości współczynnika sprasowania tłoczywa K, który jest opisany zależnością podaną we wzorze (2), znajdującą się na stronie 32 w rozdziale I pt. "Część teoretyczna" niniejszego skryptu [1, 3].

### 6.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto:

a) jako czynniki badane bezpośrednio:

- wysokość tabletki  $h$ ,

b) jako czynniki badane pośrednio:

- gęstość wypraski po prasowaniu wstępnym (tabletki)  $\rho_n$ ,
- współczynnik sprasowania tłoczywa K grubość naniesionej powłoki z tworzywa g.

Czynnikiem zmiennym jest rodzaj tłoczywa.

Czynnikami stałymi są:

- wymiary gniazda formującego w formie do prasowania wstępnego,
- warunki technologiczne procesu - ciśnienie i czas prasowania oraz temperatura formy do prasowania wstępnego.

Czynnikami zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

### 6.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych podczas prawidłowej realizacji ćwiczenia przedstawia się następująco:

- wyznaczyć ciśnienie robocze w układzie hydraulicznym prasy PHM-63h, niezbędne do wytworzenia w gnieździe formującym formy do tabletkowania wymaganego ciśnienia  $50 \pm 1$ MPa, korzystając z zależności pomocniczej:

$$p_h = p_{rz} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \quad (6.1)$$

w której:

$p_h$  - ciśnienie robocze w układzie hydraulicznym prasy, MPa,

$p_{rz}$  - wymagane rzeczywiste ciśnienie prasowania w formie do tabletkowania, równe 50MPa,

D - średnica stempla w formie do tabletkowania, wynosząca 28mm,

d - średnica tłoka roboczego prasy hydraulicznej, równa 165mm,

- odważyć porcje kilku tłoczyw utwardzalnych, przeznaczonych do wykonania tabletek, o znanej gęstości nasypowej  $\rho_n$  (podanej przez prowadzącego zajęć laboratoryjne),
- należy wykonać nie mniej niż trzy porcje z danego rodzaju tłoczywa, a masa pojedynczej porcji tłoczywa powinna wynosić  $7,5 \pm 0,1$ g,
- przeprowadzić kolejno prasowanie wstępne odważonych ilości tłoczywa przy ustalonym ciśnieniu prasowania i temperaturze otoczenia ( $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ),
- zmierzyć wysokość h otrzymanych tabletek z poszczególnych tłoczyw, w celu wyznaczenia gęstości wypraski,
- obliczyć gęstość wypraski  $\rho_w$  korzystając ze wzoru pomocniczego:

$$\rho_w = \frac{m}{V} \quad (6.2)$$

w którym:

- m - masa wypraski (tabletki), równa 7,5g,
- V - objętość wypraski (tabletki), wysokość tabletki h jest mierzona dla każdej próbki, zaś średnica tabletki d jest równa średnicy gniazda formującego w formie do tabletkowania, a zatem wynosi 28mm.
- dla każdego rodzaju tłoczywa należy obliczyć wartość współczynnika sprasowania tłoczyw K z zależności (2), podanej w części teoretycznej skryptu, dotyczącej procesu prasowania tworzyw (s. 34),

## 6.5. Wyniki

Na podstawie prób prasowania wstępnego (tabletkowania), przeprowadzonych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, należy określić współczynnik sprasowania tłoczyw K dla poszczególnych tworzyw utwardzalnych, wykorzystanych do wykonania próbek.

Wyniki pomiarów i obliczeń należy zebrać w tabeli, której wzór znajduje się w punkcie 5 sprawozdania.

Porównanie wartości współczynnika sprasowania tłoczyw K należy zilustrować na wykresie, którego szablon został zamieszczony w punkcie 6 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

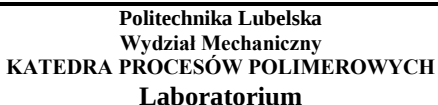
## 6.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyny, narzędzia i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- wnioski dotyczące porównania współczynnika sprasowania tłoczyw K dla poszczególnych tworzyw utwardzalnych fenolowych i aminowych wykorzystanych do wykonania tabletek podczas realizacji ćwiczenia laboratoryjnego.

## Literatura

1. Broniewski T.: Metody badań i ocena własności tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
2. Dokumentacja techniczno-ruchowa prasy hydraulicznej PHM-63h.
3. PN-EN ISO 10082:2004. Tworzywa sztuczne. Żywice fenolowe. Klasyfikacja i metody badań.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Prasowanie wstępne</b>                               |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

[illegible]

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Wyniki wyznaczania współczynnika sprasowania tłoczyw K

| Rodzaj tłoczywa                      | Wysokość<br>tabletki<br>h, mm | Objętość<br>tabletki<br>V, mm <sup>3</sup> | Gęstość<br>tabletki<br>$\rho_w$ , kg/m <sup>3</sup> | Współczynnik<br>sprasowania<br>tłoczywa K |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Tłoczywo<br>.....<br>.....           |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Gęstość nasypowa tłoczywa $\rho_n$ : |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Tłoczywo<br>.....<br>.....           |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Gęstość nasypowa tłoczywa $\rho_n$ : |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Tłoczywo<br>.....<br>.....           |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Gęstość nasypowa tłoczywa $\rho_n$ : |                               |                                            |                                                     |                                           |
| Średnica tabletki d=28mm             |                               |                                            |                                                     |                                           |

## 6. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

[illegible][illegible]

Podpis studenta wykonującego sprawozdanie:

|  |
|--|
|  |
|--|

### Objaśnienia:

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.



## 7. Plastyczność prasownicza Krahla

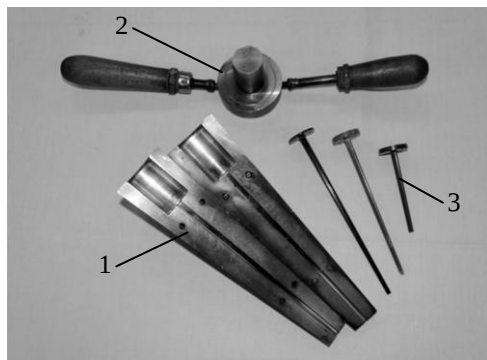
### 7.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką wyznaczania plastyczności prasowniczej Krahla, będącej jednym z głównych wskaźników przetwarzalności tworzyw utwardzalnych.

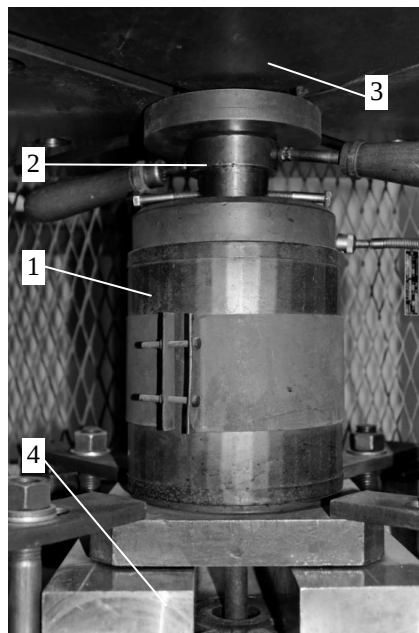
### 7.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego umożliwiającego wyznaczenie plastyczności prasowniczej Krahla wchodzi: prasa hydrauliczna PHM-63h, forma Krahla (rys. 7.1) oraz urządzenie do pomiaru długości otrzymanej wypraski prasowniczej (suwmiarka elektroniczna).

Próbki tworzyw utwardzalnych (fenolowych i aminowych) używanych do wyznaczania plastyczności prasowniczej Krahla są wypraskami prasowniczymi powstającymi na skutek procesu prasowania wstępnego (tabletkowania) [1] i mają postać walców o średnicy  $28 \pm 0,5 \text{ mm}$  i wysokości w przedziale  $8 \div 10 \text{ mm}$ , w zależności od właściwości tworzywa, z którego zostały wykonane. Charakterystyka techniczna prasy hydraulicznej PHM-63h została omówiona uprzednio w części laboratoryjnej w ćwiczeniu 6, natomiast ogólne właściwości tłoczyw fenolowych i aminowych przedstawiono w części teoretycznej niniejszego skryptu, w podrozdziale 4.



Rys. 7.1. Elementy formy Krahla: 1 - wkładka z gniazdem formującym, 2 – stempel z uchwytami, 3 - przykłady otrzymywanych próbek



Rys. 7.2. Forma Krahla zamontowana w prasie hydraulicznej: 1 - korpus formy z elementami grzewczymi, 2 - stempel, 3 - górny stół prasy, 4 - dolny stół prasy

### 7.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynnik badany bezpośrednio długość odcinka pomiarowego  $l_p$  stożkowej wypraski prasowniczej otrzymanej w formie Krahla. Długość odcinka pomiarowego jest miarą plastyczności prasowniczej tworzywa utwardzalnego [3, 4].

Czynnikiem zmiennym jest rodzaj tłoczywa.

Czynnikami stałymi są:

- wymiary gniazda formującego w formie Krahla,
- warunki technologiczne procesu - ciśnienie i czas prasowania oraz temperatura formy Krahla.

Czynniki zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

### 7.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych podczas realizacji ćwiczenia przedstawia się następująco:

- wyznaczyć ciśnienie robocze  $p_h$  w układzie hydraulicznym prasy PHM-63h, niezbędne do wytworzenia w gnieździe formującym formy Krahla wymaganego ciśnienia  $p_{tz}$  o wartości  $30 \pm 1$  MPa, korzystając z zależności pomocniczej opisanej wzorem (7.1), wiedząc, że  $D$  to średnica stempla w formie Krahla, wynosząca 30mm, natomiast  $d$  jest średnicą tłoka roboczego prasy hydraulicznej, równą 165mm [2],
- do umocowanego na dolnym stole prasy hydraulicznej PHM-63h korpusu formy Krahla włożyć wkładkę formującą wraz ze stemplem i nagrzewać aż do osiągnięcia temperatury  $150 \pm 2^\circ\text{C}$  [1],
- po osiągnięciu założonej temperatury wyjąć stempel, umieścić w komorze wstępnej formy tabletkę tłoczywa, po czym założyć ponownie stempel i rozpocząć prasowanie próbki pomiarowej,
- prasowanie przeprowadzać przez czas nieznacznie dłuższy od czasu utwardzania tłoczywa, licząc od chwili osiągnięcia pełnego nacisku przez prasę hydrauliczną; czas utwardzania należy sprawdzić w Karcie Technologicznej tłoczywa, udostępnionej przez prowadzącego ćwiczenie laboratoryjne (dla większości tłoczyw fenolowych czas utwardzania wynosi co najmniej 3 minuty),
- po utwardzeniu tłoczywa wyjąć otrzymaną próbkę z formy Krahla i po jej ochłodzeniu zmierzyć przy pomocy suwmiarki długość precika pomiarowego  $l_p$  wypraski zgodnie z oznaczeniem na rys. 34.

## 7.5. Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych prób laboratoryjnych wyznaczania plastyczności prasowniczej Krahla należy określić ten wskaźnik przetwarzalności dla poszczególnych tłoczyw, wykorzystanych do wykonania próbek badawczych, korzystając z danych zawartych w tabeli 3, zamieszczonej w części teoretycznej skryptu. Wyniki zebrać w tabeli, której przykład znajduje się w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

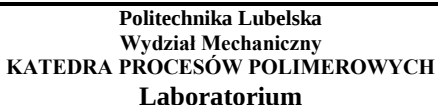
## 7.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą opis maszyny, narzędzia i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- wnioski dotyczące oceny plastyczności prasowniczej Raschiga-Krahla otrzymanych tłoczyw fenolowych i aminowych.

## Literatura

1. Broniewski T.: Metody badań i ocena własności tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
2. Dokumentacja techniczno-ruchowa prasy hydraulicznej PHM-63h.
3. PN-C-89036:1961. Tłoczywa termoutwardzalne. Oznaczanie plastyczności prasowniczej metodą Raschiga (Norma wycofana, bez zastąpienia).
4. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielocząsteczkowych,. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Plastyczność prasownicza Krahla</b>                  |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

139

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Wyniki wyznaczania plastyczności prasowniczej tworzyw utwardzalnych

| Rodzaj tłoczywa | Długość $l_p$ , mm | Plastyczność prasownicza |
|-----------------|--------------------|--------------------------|
| Tłoczywo        |                    |                          |
| .....           |                    |                          |
| .....           |                    |                          |
| Tłoczywo        |                    |                          |
| .....           |                    |                          |
| .....           |                    |                          |
| Tłoczywo        |                    |                          |
| .....           |                    |                          |
| .....           |                    |                          |

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting or typing. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

|  |
|--|
|  |
|--|

## 141



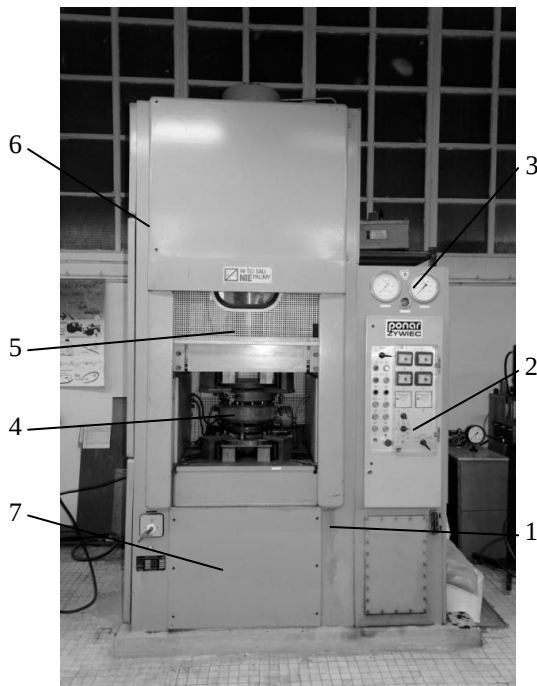
## 8. Prasowanie wysokociśnieniowe

### 8.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesem prasowania wysokociśnieniowego tworzyw utwardzalnych na przykładzie prasowania tłocznego tłoczyw fenolowych oraz ocena wpływu warunków technologicznych prasowania na wybrane cechy użytkowe otrzymanych wyprasek prasowniczych.

### 8.2. Stanowisko badawcze

W skład laboratoryjnego stanowiska badawczego umożliwiającego prasowanie wysokociśnieniowe metodą tłoczną wchodzi prasa hydrauliczna PHM-160d, forma prasownicza do prasowania tłocznego oraz waga laboratoryjna do odważania porcji tłoczywa.



Rys. 8.1. Wygląd ogólny prasy hydraulicznej PHM-160d: 1 - korpus prasy, 2 - panel sterowania i regulacji prasy, 3 - mierniki ciśnienia hydraulicznego, 4 - forma prasownicza, 5 - osłona przestrzeni roboczej prasy, 6 - osłona cylindra górnego, 7 - osłona cylindra dolnego

Prasa hydrauliczna PHM-160d, przedstawiona na rys. 8.1, jest przeznaczona do prasowania na gorąco tworzyw utwardzalnych metodą tłoczną lub przetłoczną. Prasa jest wyposażona w tłok przetłoczny, który podczas pracy metodą przetłoczną spełnia również rolę wyrzutnika hydraulicznego. Prasa hydrauliczna PHM-160d jest prasą ramową, górnotłokową z indywidualnym napędem. Składa się z dwóch podstawowych układów: prasy właściwej oraz szafy sterującej za-

wierającej aparaturę hydrauliczną i elektryczną. Korpus prasy jest konstrukcją spawaną z blach stalowych. W dolnej części korpusu jest umocowany stół nieruchomy, natomiast w górnej jego części znajduje się stół ruchomy, przesuwający się w regulowanych prowadnicach przymocowanych do korpusu. Powyżej stołu ruchomego (górnego) jest osadzony siłownik główny, a poniżej stołu nieruchomego (dolnego) znajduje się siłownik przetłoczny. Tłok siłownika dolnego posiada mechanizm regulacji skoku. W obu stołach są wykonane rowki teowe, służące do mocowania części formy prasowniczej. Dostęp do przestrzeni roboczej jest zabezpieczony z przodu ruchomą osłoną (otwarcie osłony powoduje wyłączenie zasilania prasy). Po lewej stronie korpusu znajduje się główna szafa elektryczna. Z prawej strony korpusu prasy znajduje się szafa aparatury hydraulicznej łącznie z szafą sterowania elektrycznego. Dolna część szafy jest wykonana jako zbiornik oleju, w który jest wbudowana pompa i chłodnica oleju. Na płycie zbiornika jest zamocowany blok hydrauliczny oraz pompa dwustopniowa. Połączenia przewodów hydraulicznych w obrębie szafy hydraulicznej są rozłączne. W szafie sterowniczej elektrycznej znajduje się pulpit sterowniczy z przyciskami, przełączniki programowe, przełączniki czasowe oraz termoregulatory [1].

Prasa hydrauliczna PHM-160d ma możliwość wyboru pięciu programów działania, pozwalających na zmianę rodzajów: sterowania, prasowania, działania wyrzutnika, działania pompy oraz ogrzewania formy prasowniczej.

Dostępne rodzaje sterowania są następujące:

- sterowanie wyłączone - możliwe jest tylko grzanie formy prasowniczej,
- ustawianie - służy do prawidłowego i dokładnego zamocowania części formy oraz ustawienia wymaganych parametrów procesu prasowania,
- sterowanie ręczne - służy do prawidłowego ustawienia cyklu prasowania i sprawdzenia założonej technologii prasowania,
- sterowanie półautomatyczne - przewidziane do normalnego użytkowania prasy [1].

Dostępne rodzaje prasowania są następujące: prasowanie tłoczne bez odgazowania, prasowanie tłoczne bez doprasowania z odgazowaniem, prasowanie tłoczne z doprasowaniem i odgazowaniem, prasowanie tłoczne z podwójnym odgazowaniem, prasowanie tłoczne z potrójnym odgazowaniem oraz prasowanie przetłoczne [1].

Wybór sposobu ogrzewania form pozwala na:

- wyłączenie grzania formy,
- załączenie grzania górnej i dolnej części formy, za pomocą termoregulatorów można ustawić różną temperaturę obu części formy,
- załączenie grzania górnej i dolnej części formy oraz komory przetłocznej, za pomocą termoregulatorów można ustawić różną temperaturę obu części formy, natomiast temperatura komory przetłocznej jest utrzymywana przy wykorzystaniu oddzielnego, trzeciego termoregulatora [1].

W tablicy 8.1 zostały podane wybrane wielkości charakteryzujące prasę PHM-160d.

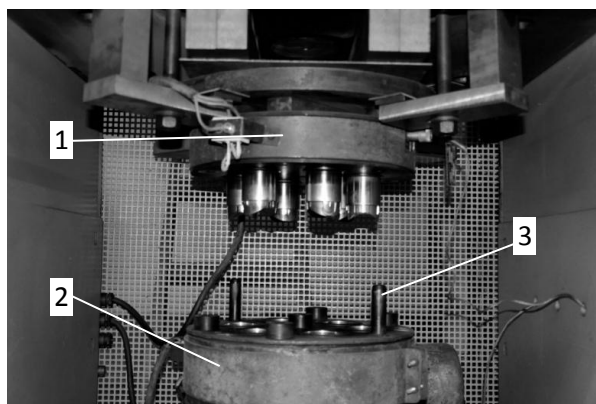
Tablica 8.1. Charakterystyka prasy hydraulicznej PHM-160d [1]

| Wielkość charakteryzująca prasę                            | Wartość   |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| Siła prasowania, kN                                        | 250-1600  |
| Prędkość prasowania, mm/s                                  | 5,6       |
| Skok stołu, mm                                             | 500       |
| Maksymalne ciśnienie robocze w układzie hydraulicznym, MPa | 315       |
| Wymiary stołu, mm x mm                                     | 800 x 800 |
| Przestrzeń robocza, mm                                     | 1000      |
| Siła wyrzutnika, kN                                        | 120-500   |
| Masa prasy, kg                                             | 4700      |

Wygląd wyprasek prasowniczych otrzymanych w procesie prasowania tłoczego przedstawiono na rys. 8.2, natomiast na rys. 8.3 została pokazana przestrzeń robocza prasy z podniesionym stołem górnym.

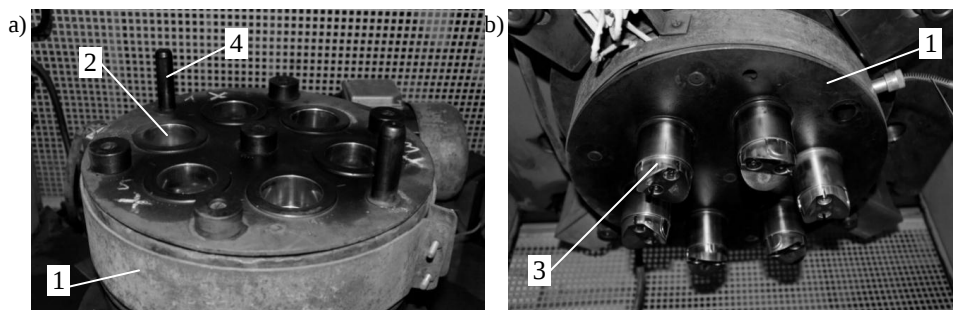


Rys. 8.2. Wygląd wyprasek otrzymanych w procesie prasowania tłoczego



Rys. 8.3. Wygląd przestrzeni roboczej prasy hydraulicznej PHM-160d: 1 - górna część formy, 2 - dolna część formy, 3 - kolumny prowadzące

Forma stosowana do prasowania tłoczego, pokazana na rys. 8.4 jest formą posiadającą sześć gniazd formujących i została wykonana ze stali narzędziowej. Forma jest wyposażona w dodatkowy mechanizm obrotowy, umożliwiający wykręcanie trzpieni gwintowanych, będących elementami gniazda formującego. Wykręcenie trzpieni jest warunkiem niezbędnym do prawidłowego usunięcia gotowych wyprasek prasowniczych po ich utwardzeniu.



Rys. 8.4. Forma prasownicza do prasowania tłocznego: a) część mocowana na dolnym stole prasy, b) część mocowana na górnym stole prasy; 1 - korpus, 2 - gniazdo formujące, 3 - stempel, 4 - kolumna prowadząca

### 8.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane bezpośrednio wybrane cechy użytkowe, mogące charakteryzować jakość wypraski prasowniczej, takie jak: występowanie i rozmiary wypłytki, stopień wypełnienia gniazda formującego, nierównomierność grubości ścianek, ślady wypychaczy, równomierność połysku, obszary zmatowienia powierzchni i inne.

Czynnikiem zmiennym jest jeden z warunków technologicznych procesu prasowania tłocznego wysokociśnieniowego, który należy wybrać z listy zamieszczonej poniżej, zgodnie ze wskazówkami osoby prowadzącej ćwiczenie laboratoryjne:

- ciśnienie prasowania  $p_{rz}$ , które w przypadku prasowania wysokociśnieniowego powinno zawierać się w zakresie od 40MPa do 80MPa,
- czas uplastycznienia tłoczywa  $t_{upl}$ , zmieniający się w zakresie od 30 do 90 sekund,
- temperatura formy prasowniczej  $T_f$ , która może zmieniać się w zakresie od 120°C do 140°C, można przy tym stosować następujące przypadki: obie części formy mają jednakową temperaturę, górna część formy ma temperaturę wyższą od dolnej części formy lub dolna część formy ma temperaturę wyższą od górnej części formy.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj i właściwości materiału użytego podczas wykonywania ćwiczenia (zazwyczaj jest to tłoczywo fenolowe), w zakresie podanym przez prowadzącego zajęcia.

Czynnikami zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

## 8.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych podczas realizacji ćwiczenia przedstawia się następująco:

- odważyć porcje tworzywa utwardzalnego przeznaczone do wykonania wyprasek prasowniczych, mających masę zawierającą się w ustalonym doświadczalnie przedziale od 32,5g do 34,0g, z dokładnością  $\pm 0,1$ g, odpowiednio je oznaczając,
- wybrać jeden z parametrów procesu prasowania, który będzie czynnikiem zmiennym: ciśnienie prasowania  $p_{rz}$ , czas uplastycznienia tłoczywa  $t_{upl}$  lub temperaturę formy prasowniczej  $T_f$ ,
- przy wyborze ciśnienia prasowania jako czynnika zmiennego wyznaczyć kilka wartości ciśnienia roboczego  $p_h$  w układzie hydraulicznym prasy PHM-160d, niezbędnego do wytworzenia w gnieździe formującym formy prasowniczej wymaganego ciśnienia  $p_{rz}$  o wartościach wybranych z zakresu podanego w programie ćwiczenia, korzystając z zależności pomocniczej opisanej wzorem (7.1), wiedząc, że  $D$  to średnica stempla w formie prasowniczej wynosząca 54mm, natomiast  $d$  jest średnicą tłoka roboczego prasy hydraulicznej, równą 260mm [2],
- przy wyborze czasu uplastyczniania  $t_{upl}$  jako czynnika zmiennego wybrać kilka wartości z zakresu podanego w programie ćwiczenia,
- przy wyborze temperatury formy  $T_f$  jako czynnika zmiennego wybrać kilka wartości z zakresu podanego w programie ćwiczenia,
- nagrzać formę prasowniczą do temperatury prasowania,
- wprowadzić do gniazd formujących odmierzone porcje tłoczywa,
- zamknąć formę prasowniczą i uplastyczyć tłoczywo,
- po upływie czasu uplastycznienia prasować tłoczywo pod ciśnieniem prasowania o ustalonej wartości, aż do chwili utwardzenia,
- zachowując wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy wyjąć wypraski z formy, pamiętając o początkowym oznaczeniu wyprasek w poszczególnych gniazdach formujących,
- przeprowadzić kolejno proces prasowania uwzględniając zmianę wybranego w programie badań czynnika zmiennego,
- dokonać oględzin wyprasek i wykonać pomiary charakterystycznych wielkości geometrycznych (średnicy, wysokości, grubości ścianek lub innych, wskazanych przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne) wyprasek prasowniczych otrzymanych w poszczególnych próbach prasowania wysokociśnieniowego, zarówno pod kątem zmiany warunków technologicznych prasowania, jak również z uwagi na przyporządkowanie wyprasek do poszczególnych gniazd formujących.

## 8.5. Wyniki

W oparciu o wykonane próby prasowania wysokociśnieniowego należy przeprowadzić ocenę jakości otrzymanych wyprasek prasowniczych i scharakteryzować ich zaobserwowane wady. Wyniki z obserwacji i pomiarów należy zebrać w tabeli, której wzór został podany w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń.

W zależności od wybranego czynnika zmiennego i wynikającego z tego przebiegu procesu prasowania oraz cech użytkowych wypraski prasowniczej, na podstawie wskazówek otrzymanych od prowadzącego zajęcia laboratoryjne, możliwe będzie zaobserwowanie zależności między wybranym warunkiem technologicznym (na przykład między ciśnieniem prasowania  $p_{rz}$  a średnicą zewnętrzną wypraski  $d$ ). Taką zależność (lub podobną) należy przedstawić graficznie w postaci wykresu, korzystając z szablonu zamieszczonego w punkcie 6 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

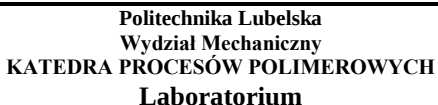
## 8.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyny, narzędzia i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- wnioski dotyczące porównania jakości wyprasek prasowniczych otrzymanych metodą prasowania wysokociśnieniowego oraz wnioski zawierające ocenę wpływu zmiany wybranych parametrów procesu prasowania tłocznego (ciśnienia prasowania  $p_{rz}$ , czasu uplastycznienia tłoczywa  $t_{upl}$  lub temperatury formy prasowniczej  $T_f$ ) na wybrane cechy użytkowe wyprasek z tłoczyw fenolowych (wymiary wypraski, występowanie i rozmiar wypływk, równomierność połysku, ślady wypychaczy lub inne, wymienione w punkcie 9.3).

## Literatura

1. Dokumentacja techniczno-ruchowa prasy hydraulicznej PHM-160h.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Prasowanie wysokociśnieniowe</b>                     |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

[illegible]

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Ocena wyprasek prasowniczych otrzymanych metodą prasowania wysokociśnieniowego

| Czynnik zmienny<br>.....<br>.....<br>Jednostka ..... | Próba 1          | Próba 2          | Próba 3          |
|------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| .....<br>.....<br>.....                              | Wartość<br>..... | Wartość<br>..... | Wartość<br>..... |
| Wymiar wypraski *)<br>.....<br>.....                 |                  |                  |                  |
| Zaobserwowane<br>wady                                |                  |                  |                  |
| Jakość wypraski<br>oceniana wizualnie<br>(**)        |                  |                  |                  |

\*) Wybrać wysokość, średnicę zewnętrzną lub wewnętrzną wypraski, średnicę otworu, grubość ścianki lub inny wymiar wskazany przez prowadzącego zajęcia.  
 \*\*) Jakość wypraski scharakteryzować według kategorii: bardzo dobra, dobra, dostateczna, niezadowolająca.

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the paper.

## 6. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

[illegible]

Wybrany parametr procesu (np. ciśnienie prasowania  $p_{rz}$ , MPa)

[illegible]

Podpis studenta wykonującego sprawozdanie:

\_\_\_\_\_

**Objaśnienia:**

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.

## 9. Odlewanie normalne

### 9.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami procesu odlewania normalnego tworzyw polimerowych na przykładzie odlewania grawitacyjnego oraz ocena wybranych właściwości mechanicznych odlewów z tworzyw na podstawie wyznaczenia zależności między ilością napelnacza a twardością otrzymanego odlewu.

### 9.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi zestaw elastycznych form odlewniczych, służących do wykonania próbek pomiarowych, twardościomierz służący do pomiaru twardości otrzymanych odlewów oraz wyposażenie pomocnicze, między innymi szpatułki do mieszania tworzywa i jednorazowe pojemniki z podziałką, stosowane do odmierzania składników wchodzących w skład tworzywa do odlewania. Formy elastyczne są wykonane z tworzywa silikonowego i są przeznaczone do odlewania normalnego grawitacyjnego. Formy mają po dwa gniazda formujące otwarte, w kształcie walca, o średnicy 40mm lub 50mm i głębokości 10mm. Materiałem, z którego zostały wykonane formy, jest silikon Mould-Sil 25, którego charakterystykę zamieszczono w tabeli 9.1. Wygląd elastycznych form odlewniczych został przedstawiony na rys. 9.1.

Tabela 9.1. Właściwości fizyczne silikonu Mould-Sil 25 [3]

| Właściwość                                                                                                                                                                                             | Wartość         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Proporcja mieszania (A+B), wagowo                                                                                                                                                                      | 20 : 1          |
| Lepkość (A+B), mPa·s                                                                                                                                                                                   | 25000           |
| Czas pozostawiania w stanie ciekłym mieszaniny (A+B) w temp. 23°C, min                                                                                                                                 | 20÷60           |
| Czas rozformowania mieszaniny (A+B), h                                                                                                                                                                 | 8÷12            |
| Skurcz liniowy po 5 dniach (ISO 4823), %                                                                                                                                                               | maksymalnie 0,5 |
| Gęstość, kg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                             | 1220            |
| Twardość (DIN 53505), °Sh A                                                                                                                                                                            | 25              |
| Czas rozformowania: okres czasu od zmieszania części A i B do pełnego utwardzenia tworzywa. Optymalny proces utwardzania silikonu Mould-Sil 25 zachodzi w temperaturze 10÷35°C i trwa około 10 godzin. |                 |

Próbki pomiarowe w kształcie walców o średnicy znacząco większej od wysokości są wykonywane w trakcie ćwiczenia. Próbki wykonane są z żywicy poliuretanowej sieciującej w temperaturze otoczenia (na zimno), o krótkim czasie utwardzania. Przykładem takiego tworzywa jest dwuskładnikowa żywica F19LC firmy Axson Technologies, w której żywica zawierająca poliol jest mie-

szana z utwardzaczem zawierającym izocyjanian w proporcjach wagowych 1:1. Wybrane właściwości żywicy F19LC oraz jej mieszanin z napelniaczami zostały przedstawione w tablicach 9.2, 9.3 oraz 9.4.



Rys. 9.1. Wygląd elastycznych form odlewniczych wykonanych z silikonu

Tabela 9.2. Właściwości fizyczne żywicy F19LC (bez napelniacza) [2]

| Skład                                                                           | Część A | Część B     | Mieszanina bez Z30150 | Mieszanina z RZ30150 |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|-----------------------|----------------------|
|                                                                                 | Poliol  | Izocyjanian |                       |                      |
| Proporcja mieszania, wagowo                                                     | 100     | 100         | -                     | 360                  |
| Stan skupienia                                                                  | Ciecz   | Ciecz       | Ciecz                 | Ciecz                |
| Kolor                                                                           | Biały   | Brązowy     | Beżowy                | Beżowy               |
| Lepkość Brookfielda - LTV w 25°C, mPa·s                                         | 100     | 55          | 78                    | 2600                 |
| Gęstość cieczy, kg/m <sup>3</sup>                                               | 930÷990 | 1050÷1110   | -                     | -                    |
| Gęstość mieszaniny, kg/m <sup>3</sup>                                           | -       | -           | 1040÷1100             | 1660÷1720            |
| Czas przebywania mieszaniny w stanie ciekłym w 25°C, odniesiony do masy 200g, s | -       | -           | 360÷480               | 480÷600              |
| RZ30150: napelniacz - glinokrzemian w postaci proszku                           |         |             |                       |                      |

Tabela 9.3. Właściwości mechaniczne żywicy F19LC w 23°C [2]

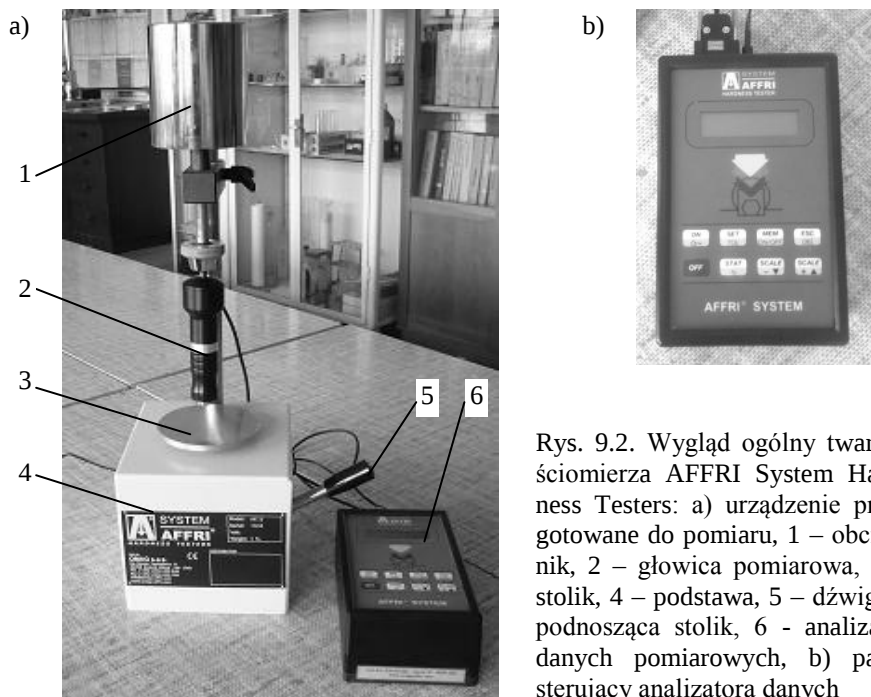
| Właściwość                         | Zgodność z normą | Mieszanina bez RZ30150 | Mieszanina z RZ30150 |
|------------------------------------|------------------|------------------------|----------------------|
| Twardość, °Sh D                    | ISO 868- 85      | 72                     | 79                   |
| Moduł sprężystości wzdłużnej, MPa  | ISO 178- 93      | 1200                   | 4100                 |
| Wytrzymałość na zginanie, MPa      | ISO 178- 93      | 50                     | 41                   |
| Wytrzymałość na ściskanie, MPa     | ISO 604- 93      | 48                     | 55                   |
| Udarność Charpy, kJ/m <sup>2</sup> | ISO 179/1eU- 93  | 16                     | -                    |

Tabela 9.4. Właściwości cieplne żywicy F19LC [2]

| Właściwość                                                                                 | Mieszanina bez RZ30150 | Mieszanina z RZ30150 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Temperatura zeszklenia <sup>*)</sup> , °C                                                  | 100                    | 100                  |
| Skurcz liniowy dla grubości 10mm, mm/m                                                     | 0,8                    | -                    |
| Skurcz liniowy dla grubości 60mm, mm/m                                                     | -                      | 0,7                  |
| Współczynnik rozszerzalności cieplnej <sup>*)</sup><br>w zakresie 20÷70°C, K <sup>-1</sup> | -                      | 80·10 <sup>-5</sup>  |
| Czas pełnego utwardzenia w temperaturze 25°C<br>dla grubości 10mm, min                     | 90                     | -                    |
| Czas pełnego utwardzenia w temperaturze 25°C<br>dla grubości 60mm, min                     | -                      | 150                  |
| <sup>*)</sup> wartości wyznaczone metodą analizy termomechanicznej (TMA)                   |                        |                      |

Wskazane jest, aby obie części żywicy F19 oraz stosowany napelniacz przed mieszaniem miały temperaturę powyżej 20°C. Podczas pracy z dwuskładnikową żywicą poliuretanową należy zapewniać dobrą wentylację [2].

Jako napelniacz stosuje się glinokrzemian w postaci proszku (oznaczany jako RZ30150) bądź proszek aluminiowy (oznaczony jako RZ209/6). Niekiedy w przypadku odlewów o większej objętości można zaobserwować egzotermiczność reakcji utwardzania, przejawiającą się wyczuwalnym wzrostem temperatury odlewu do kilkudziesięciu stopni Celsjusza.



Rys. 9.2. Wygląd ogólny twardościomierza AFFRI System Hardness Testers: a) urządzenie przygotowane do pomiaru, 1 – obciążnik, 2 – głowica pomiarowa, 3 – stół, 4 – podstawa, 5 – dźwignia podnosząca stół, 6 - analizator danych pomiarowych, b) panel sterujący analizatora danych

Pomiar twardości odlewów będących próbkami pomiarowymi jest wykonany przy pomocy cyfrowego twardościomierza Shore'a, o nazwie AFFRI System Hardness Testers, model ART.13, seria Y5493 firmy Omag s.a.s. Wygląd twardościomierza jest przedstawiony na rys. 9.2. Charakterystyka techniczna tego twardościomierza została zamieszczona w tabeli 9.5.

Tabela 9.5. Charakterystyka techniczna twardościomierza Shore'a AFFRI System Hardness Testers [1]

| Typ                            | Twardościomierz SHORE'a                               |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Skala twardości                | Shore A – B – C – D – D0 – 0 – 00 – mikroShore – IRHD |
| Zgodność z normami             | ASTM D 2240 – ISO R868 – DIN 5305 – ASTM D 1414       |
| Wymiary analizatora danych, mm | 114 x 181 x 70                                        |
| Wymiary głowicy pomiarowej, mm | 120 x Ø 40                                            |
| Wyjście danych                 | RS 232                                                |
| Dokładność odczytu, °Sh        | 0,1                                                   |
| Napięcie zasilania, V          | 6                                                     |
| Prąd zasilania, mA             | 250                                                   |
| Masa netto, kg                 | 1,4                                                   |
| Masa całkowita, kg             | 4                                                     |

Wykorzystany do pomiarów twardościomierz zawiera cyfrowy analizator danych pomiarowych, który współpracuje z zestawem kilku głowic pomiarowych, dzięki czemu jest możliwy pomiar twardości w zakresie wszystkich skal Shore'a. Analizator samodzielnie wykrywa rodzaj przyłączonej głowicy, dobierając tym samym skalę twardości. W pamięci twardościomierza można zapisać do 100 wyników pomiarów, ponadto istnieje możliwość podłączenia twardościomierza do komputera i przetwarzanie danych przy pomocy dedykowanego oprogramowania [1].

### 9.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynnik badany bezpośrednio twardość odlewu H.

Czynnikiem zmiennym jest zawartość napelniacza N w tworzywie przeznaczonym do odlewania, zawierająca się w zakresie od 0 do 30 części objętościowych.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj i właściwości materiałów użytych podczas wykonywania ćwiczenia (tworzywa do odlewania i napelniacza), w zakresie podanym przez prowadzącego zajęcia,
- proporcje objętościowe żywicy i utwardzacza, mające na celu zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu utwardzania wykonywanych odlewów,

- wymiary geometryczne gniazda formującego formy odlewniczej.

Czynniki zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa oraz wilgotności względnej powietrza. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

## 9.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych w czasie poprawnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego przedstawia się następująco:

- sporządzić tworzywo do odlewania, o zmiennej zawartości napelniacza, w oparciu o dane zawarte w tabeli 10.6,
- do odmierzania poszczególnych składników stosować jednorazowe pojemniki z podziałką,
- w celu uniknięcia rozpoczęcia się przedwczesnego utwardzania żywicy na etapie przygotowania mieszaniny do odlewania należy najpierw do jednego składnika żywicy (składnik A - poliol) dodać napelniacz, którym jest glinokrzemian RZ30150 w postaci proszku i dokładnie go wymieszać, po czym dopiero później do mieszaniny glinokrzemianu ze składnikiem A dodać składnik B (izocyjanian) i uzyskać w ten sposób właściwe tworzywo do odlewania,
- mieszanie tworzywa do odlewania należy przeprowadzić w sposób bardzo dokładny, ręcznie przy pomocy szklanych szpatulek, starając się zminimalizować ilość pęcherzy powstających wewnątrz mieszaniny, zachowując przy tym warunki bezpieczeństwa i higieny pracy; mieszanie połączonych składników A oraz B tworzywa do odlewania nie powinno trwać dłużej niż 1 minutę,
- formy do odlewania ustawić na płaskiej, wypoziomowanej powierzchni,
- każdą z wykonanych mieszanin wypełnić po jednym gnieździe formy odlewniczej, elastyczna forma silikonowa nie wymaga pokrywania jej żadnym środkiem antyadhezyjnym, wypełnienie formy tworzywem nie powinno zająć więcej niż 2 minuty,
- poczekać do chwili utwardzenia odlewu, przy poprawnym przygotowaniu mieszaniny w temperaturze pokojowej nie powinno to zająć więcej niż 20 minut,
- pisakiem odpornym na ścieranie oznaczyć odlewy odpowiednio do zawartości napelniacza,
- ręcznie wyjąć odlewy z formy elastycznej, lekko ją odginając na boki,
- przeprowadzić pomiary twardości przy pomocy twardościomierza AFFRI Systems, zgodnie ze wskazówkami osoby prowadzącej zajęcia laboratoryjne (dla żywicy F19LC należy używać głowicy do skali Shore D),

- dla każdego odlewu wykonać co najmniej dziesięć pomiarów twardości, wybierając punkty pomiarowe na powierzchni czołowej walca, w odległości co najmniej 5mm od jego krawędzi oraz co najmniej 5mm od miejsca wykonania poprzedniego pomiaru.

Tabela 10.6. Zestawienie udziałów objętościowych poszczególnych składników mieszanin do odlewania

| Numer próbki | Żywica poliuretanowa F19LC |                              | Napełniacz, ml |
|--------------|----------------------------|------------------------------|----------------|
|              | Składnik A (poliol), ml    | Składnik B (izocyjanian), ml |                |
| Próbka 1     | 15                         | 15                           | -              |
| Próbka 2     | 15                         | 15                           | 5              |
| Próbka 3     | 15                         | 15                           | 10             |
| Próbka 4     | 15                         | 15                           | 15             |
| Próbka 5     | 15                         | 15                           | 20             |

## 9.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zawierać zestawienie wyników pomiarów twardości odlewów  $H$ , przedstawionych w postaci tabelarycznej, z wyliczoną średnią  $H_{sr}$  oraz odchyleniem standardowym  $S_H$ . W oparciu o otrzymane wyniki należy w sposób graficzny przedstawić zależność między twardością  $H$  otrzymanych odlewów wyrażoną w stopniach Shore'a a zawartością napełniacza  $N$  wyrażoną w procentach. Przykładowy wzór tabeli, w której należy wpisać wyniki został zamieszczony w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych. Szablon pozwalający na wykonanie wykresu ilustrującego zależność między twardością odlewu  $H$  a zawartością napełniacza  $N$  znajduje się w punkcie 6 sprawozdania.

## 9.6. Sprawozdanie

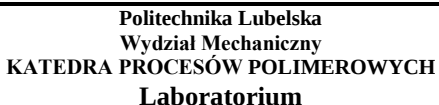
Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),

- wyniki pomiarów i obliczeń,
- graficzne przedstawienie zależności twardości odlewów H do procentowej zawartości napelniacza N,
- wnioski dotyczące oceny otrzymanych odlewów oraz związane z analizą wpływu ilości napelniacza na zmianę twardości odlewów.

## **Literatura**

1. Materiały katalogowe firmy AFFRI System. Instrukcja użytkowania twardościomierza AFFRI System Hardness Hardness Testers, model ART.13.
2. Materiały katalogowe firmy AMOD. Żywica poliuretanowa F19LC firmy Axson. Informacje ze strony [www.amod.com.pl](http://www.amod.com.pl).
3. Materiały katalogowe firmy AMOD. Silikon Mould-Sil 25. Informacje ze strony [www.amod.com.pl](http://www.amod.com.pl).



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Odewanie normalne</b>                                |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

[illegible]

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Zestawienie wyników pomiarów twardości próbek pomiarowych

[illegible][illegible]

## 6. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

|                            |  |  |  |  |
|----------------------------|--|--|--|--|
|                            |  |  |  |  |
| Twardość H, Shore D        |  |  |  |  |
|                            |  |  |  |  |
|                            |  |  |  |  |
|                            |  |  |  |  |
|                            |  |  |  |  |
|                            |  |  |  |  |
| Zawartość napelniacza N, % |  |  |  |  |

[illegible]

Podpis studenta wykonującego sprawozdanie:

|  |
|--|
|  |
|--|

### Objaśnienia:

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.



## 10. Odlewanie obrotowe

### 10.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami procesu odlewania obrotowego tworzyw polimerowych na przykładzie odlewania planetarnego oraz ocena właściwości odlewów z tworzyw w oparciu o analizę zmian grubości ścianki w poszczególnych przekrojach odlewu wykonanego metodą odlewania planetarnego.

### 10.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi laboratoryjne urządzenie do odlewania planetarnego, służące do wykonania próbek pomiarowych, waga laboratoryjna do odmierzenia właściwej masy tworzywa oraz przyrząd do pomiaru grubości ścianki odlewu (suwmiarka elektroniczna).

Znajdujące się na wyposażeniu Katedry Procesów Polimerowych urządzenie do odlewania planetarnego jest maszyną odlewniczą typu wrzecionowego, z pojedynczym wrzecionem. Układ sterowania umożliwia bezstopniową zmianę prędkości obrotowej zarówno wrzeciona jak i formy odlewniczej. Zmiana prędkości obrotowych wrzeciona oraz formy odbywa się niezależnie, w związku z czym istnieje możliwość regulacji wzajemnego stosunku prędkości obrotowej wrzeciona do prędkości obrotowej formy. Jest to kluczowe z punktu widzenia odpowiedniego doboru obu prędkości obrotowych, umożliwiającego otrzymanie odlewów o regulowanej grubości ścianki. Wygląd urządzenia do odlewania planetarnego został przedstawiony na rys. 10.1.



Rys. 10.1. Wygląd ogólny laboratoryjnego urządzenia do odlewania planetarnego tworzyw: 1 - układ grzewczy, 2 - układ rotacyjny, 3 - forma odlewnicza, 4 - układ sterowania i regulacji, 5 - podstawa, 6 - wentylator

- Urządzenie do odlewania planetarnego składa się z następujących układów:
- układu obrotowego, w którym na skutek ruchów obrotowych formy i ramienia realizowana jest funkcja mieszania tworzywa i kształtowania odlewu,
  - układu grzewczego,
  - podstawy z osłoną i wentylatorem do chłodzenia formy,
  - układu sterowania i regulacji.

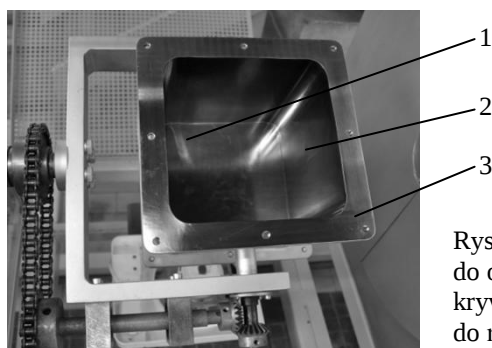
W skład układu obrotowego wchodzi następujące elementy: zespół obrotu ramienia, ramię, zespół obrotu formy, forma, konstrukcja nośna, zespół napędowy obrotu ramienia oraz zespół napędowy obrotu formy [1].

Charakterystyka techniczna urządzenia do odlewania planetarnego została zamieszczona w tabeli 10.1.

Tabela 10.1. Charakterystyka techniczna urządzenia do odlewania planetarnego [1]

| Wielkość charakteryzująca maszynę              | Wartość         |
|------------------------------------------------|-----------------|
| Maksymalne wymiary formy, mm                   | 200 x 200 x 200 |
| Maksymalna prędkość obrotowa formy, obr/min    | 33              |
| Maksymalna prędkość obrotowa ramienia, obr/min | 33              |
| Masa zespołu rotacyjnego, kg                   | 80              |
| Masa zespołu grzeijnego wraz z podstawą, kg    | 300             |
| Całkowita masa urządzenia, kg                  | 400             |
| Wymiary gniazda formy odlewniczej, mm          | 180 x 180 x 180 |
| Moc napędu ruchu obrotowego formy, kW          | 0,25            |
| Moc napędu ruchu obrotowego ramienia, kW       | 0,25            |
| Moc komory grzeijnej, kW                       | 12              |

Forma odlewnicza, przedstawiona na rys. 10.2, jest wykonana z grubościennego, stalowego profilu. Wnętrze formy jest polerowane, aby zapewnić łatwe wyciąganie uformowanego odlewu. Forma od góry i dołu jest zamknięta pokrywami mocowanymi do kołnierzy za pomocą śrub. Do korpusu formy są przyspawane czopy, które są ułożyskowane w łożyskach ramienia. Na dłuższym z czopów jest umieszczone koło zębate stożkowe, służące do przekazywania ruchu obrotowego [1].



Rys. 10.2. Wygląd formy odlewniczej do odlewania planetarnego: 1 – dolna pokrywa, 2 – korpus formy, 3 – kołnierz do mocowania górnej pokrywy

Komora grzewcza, stanowiąca główny element układu grzewczego składa się z: płaszcza komory, grzałek, izolacji, płyty komory i drzwi komory [1].

Konstrukcja nośna układu obrotowego jest wykonana w postaci przestrzennej ramy z profili aluminiowych. Mocowane są do niej zespoły napędowe obrotu ramienia i ruchu formy oraz korpusy łożysk. Koła jezdne umożliwiają przemieszczanie się układu obrotowego po szynach znajdujących się na podstawie maszyny, w celu wprowadzenia formy odlewniczej do komory grzewczej. Do komory grzewczej wprowadza się formę odlewniczą obracającą się wokół dwóch wzajemnie prostopadłych osi. Wewnątrz komory panuje temperatura zapewniająca stopienie się tworzywa, z którego zostanie otrzymany odlew. Płaszcz wewnątrz komory, płyta oraz drzwi komory są zabezpieczone przez nagrzewaniem za pomocą warstwy izolacyjnej wykonanej z wełny mineralnej.

### 10.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynnik badany bezpośrednio grubość ścianek odlewu g.

Czynnikiem zmiennym jest prędkość obrotowa formy wokół osi głównej oraz prędkość obrotowa formy wokół osi pomocniczej.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj i właściwości materiałów użytych podczas wykonywania ćwiczenia (tworzywa do wykonania odlewu), w zakresie podanym przez prowadzącego zajęcia,
- temperatura nagrzewania formy we wnętrzu komory grzewczej,
- czas przebywania formy odlewniczej wewnątrz komory grzewczej.

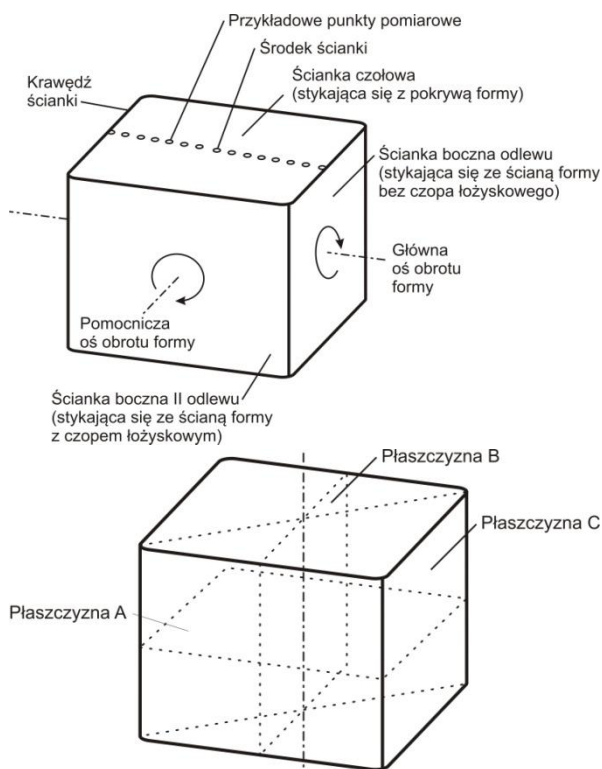
Czynniki zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

### 10.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych w czasie poprawnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego przedstawia się następująco:

- odważyć odpowiednią masę tworzywa, przeznaczonego do wykonania odlewu, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego zajęcia laboratoryjne,
- sprawdzić wizualnie dokładność umocowania dolnej pokrywy formy i zasypać tworzywa do wnętrza formy odlewniczej,
- założyć i zamocować szczelnie górną pokrywę formy odlewniczej,
- przeprowadzić proces odlewania rotacyjnego, zgodnie z warunkami technologicznymi podanymi przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne - prędkością obrotową osi głównej  $n_1$ , prędkością obrotową osi pomocniczej  $n_2$ , temperaturą wewnątrz komory grzewczej  $t_g$ ,

- podczas realizacji procesu odlewania planetarnego zachować szczególną ostrożność, z uwagi na wykonywany przez formę ruch obrotowy oraz jej wysoką temperaturę,
- po ochłodzeniu formy odlewniczej i zatrzymaniu jej ruchu obrotowego odkręcić górną i dolną pokrywę formy i ręcznie wyjąć otrzymany odlew,
- przeciąć odlew w co najmniej dwóch płaszczyznach zgodnie ze wskazówkami prowadzącego zajęcia laboratoryjne i przeprowadzić pomiar grubości ścianek odlewu na otrzymanych kilku wybranych przekrojach; w szczególności zwrócić uwagę na grubość ścianek odlewu w narożnikach i na krawędziach ścianek, na środku ścianki, porównać grubość ścianek czołowych (stykających się z pokrywami) oraz ścianek bocznych, w każdym analizowanym przekroju wykonać po kilkanaście pomiarów grubości, przykładowe płaszczyzny A, B lub C przecięcia odlewu w celu wykonania pomiarów grubości ścianki zostały przedstawione na rysunku obok,
- sporządzić wykres przedstawiający zmianę grubości ścianki odlewu w poszczególnych wybranych przekrojach w zależności od położenia punktu pomiarowego i odległości od osi obrotu formy.



Rys. 10.3. Położenie płaszczyzn przekroju oraz punktów pomiaru grubości ścianki odlewu

## 10.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zawierać zestawienie wyników pomiarów grubości ścianek odlewu w postaci tabelarycznej. W oparciu o otrzymane wyniki pomiarów należy w sposób graficzny przedstawić, jak zmienia się grubość ścianki odlewu w jego wybranych miejscach, w zależności od położenia punk-

tów pomiarowych na ściankach bocznych i czołowych odlewu. Przykładowa tabela do wpisywania wyników została zamieszczona w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych. Szablon pozwalający na wykonanie wykresu przedstawiającego zmianę grubości ścianek odlewu wykonanego metodą odlewania planetarnego jest pokazany w punkcie 6 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

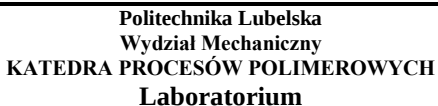
## 10.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą syntetyczny opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- graficzne przedstawienie zmiany grubości ścianek odlewu wykonanego metodą odlewania rotacyjnego, w zależności od położenia punktów pomiarowych od osi obrotu formy odlewniczej,
- wnioski dotyczące otrzymanego odlewu i wpływu niejednorodności grubości ścian na jego wybrane właściwości mechaniczne i cechy użytkowe, możliwych do oceny wzrokowej, na przykład takich jak sztywność ścianek, zapadnięcia powierzchni, deformacja krawędzi.

## Literatura

1. Instrukcja obsługi: Stanowisko badawcze do formowania rotacyjnego. Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń 2011.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Odewanie obrotowe</b>                                |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

.....

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, typical of primary school writing paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

[illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAÑ

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, resembling notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Zestawienie wyników pomiarów grubości ścianki odlewu

[illegible]This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

## 6. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

[illegible][illegible]

Podpis studenta wykonującego sprawozdanie:

\_\_\_\_\_

### Objaśnienia:

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykres poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.



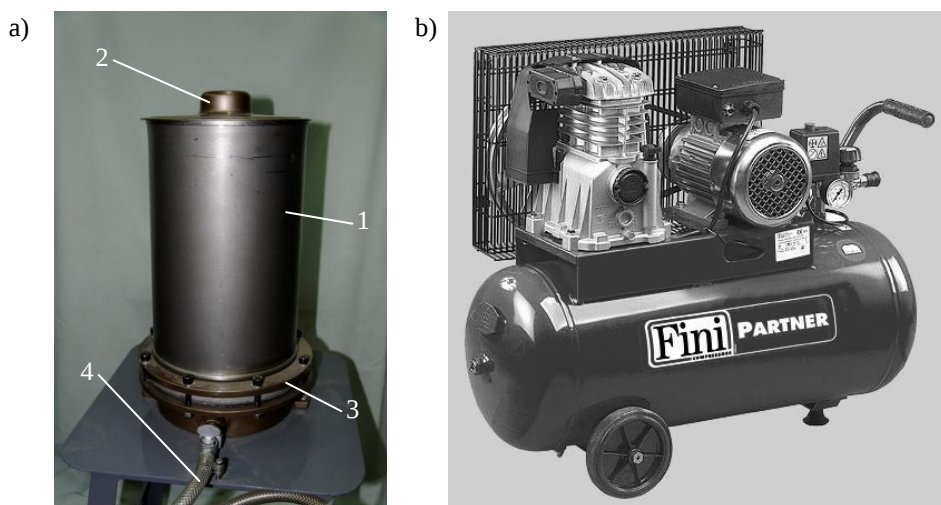
## 11. Nanoszenie fluidyzacyjne

### 11.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu technologicznego nanoszenia fluidyzacyjnego oraz ocena wpływu czasu fluidyzacji na jakość naniesionej powłoki, przeprowadzona na podstawie oględzin wizualnych oraz pomiaru jej grubości.

### 11.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi fluidyzator wraz ze sprężarką oraz dwa piece komorowe. Elementy wchodzące w skład laboratoryjnego stanowiska do nanoszenia fluidyzacyjnego zostały przedstawione na rys. 12.1.

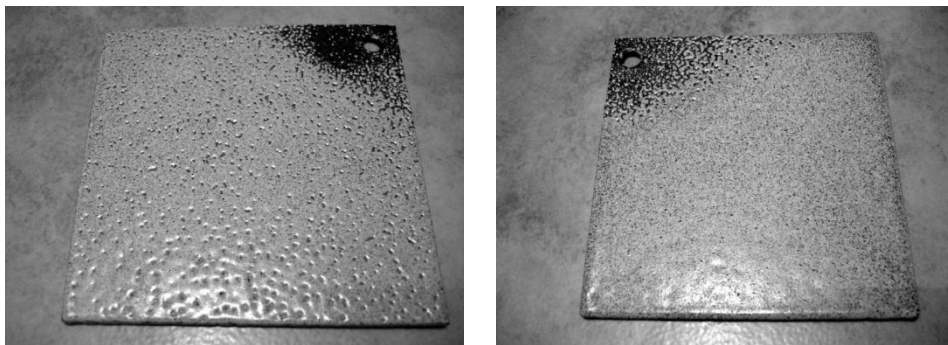


Rys. 11.1. Elementy wchodzące w skład laboratoryjnego stanowiska do nanoszenia fluidyzacyjnego: a) 1 - komora fluidyzatora, 2 - pokrywa, 3 - dno porowate, 4 - przewód doprowadzający sprężony gaz; b) widok ogólny sprężarki [3]

Fluidyzator, przedstawiony na rys. 11.1a, jest metalowym zbiornikiem z porowatym dnem, przez które przepływa sprężone powietrze. Dno fluidyzatora, posiadające strukturę porowatą, może być wykonane ze spieku ceramicznego, spieku metalowego lub porcelany filtracyjnej. Do skutecznego wytworzenia złoża fluidalnego podstawowe znaczenie mają wymiary porów w dnie fluidyzatora, wielkość ziaren proszku tworzywa oraz natężenie przepływu powietrza. Tworzywo przeznaczone do fluidyzacji powinno mieć tak dobraną wielkość ziaren, aby pory w dnie fluidyzatora nie zostały zatkane przez proszek o drobniejszych ziarnach [1, 2]. W praktyce średnica porów wynosi ok.  $50\mu\text{m}$ . Wymiary fluidyzatorów są zróżnicowane, w zależności od wymagań produkcyjnych.

Fluidyzator jest połączony ze sprężarką przewodem elastycznym, który służy do doprowadzenia sprężonego powietrza ze zbiornika sprężarki do dna fluidyzatora. Regulację natężenia przepływu powietrza przeprowadza się przy pomocy zmiany ustawień sprężarki.

Piece komorowe, nagrzewane rezystancyjnie, służą do wstępnego nagrzewania metalowych płytek, przeznaczonych do pokrycia tworzywem oraz do ich późniejszego wygrzewania, które następuje po wyjęciu próbek z fluidyzatora.



Rys. 11.2. Próbkki do badań po zakończeniu procesu nanoszenia fluidyzacyjnego: po lewej - próbka zanurzona w złożu fluidalnym przez krótki okres czasu z widocznymi porami i nieciągłością powłoki z tworzywa, po prawej - próbka zanurzona w złożu fluidalnym przez długi okres czasu, w wyniku czego powstała jednorodna powłoka z tworzywa o lepszych właściwościach użytkowych

Próbkami do badań są płytki o wymiarach 50x50mm wykonane z blachy stalowej o grubości 2mm. Wygląd próbek po procesie fluidyzacji przedstawiono na rys. 11.2.

Do zawieszania przedmiotów w złożu fluidalnym służą haczyki druciane z metalowymi klipsami. Do pomiaru grubości płytek pomiarowych przed fluidyzacją i po fluidyzacji wykorzystuje się mikrometr, znajdujący się na wyposażeniu laboratorium.

### 11.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto:

a) jako czynniki badane bezpośrednio:

- grubość płytki  $g_0$  przed fluidyzacją,
- grubość płytki  $g_p$  po fluidyzacji,

b) jako czynniki badane pośrednio:

- grubość naniesionej powłoki z tworzywa  $g$ ,

Czynnikiem zmiennym jest czas nanoszenia fluidyzacyjnego  $t_f$ , który powinien zawierać się w zakresie od 2 do 6 sekund.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj i właściwości materiałów użytych podczas wykonywania ćwiczenia (tworzywa do fluidyzacji i stalowych płytek), w zakresie podanym przez prowadzącego zajęcia,
- temperatura nagrzewania próbek przed fluidyzacją i temperatura wygrzewania po fluidyzacji.

Czynniki zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

## 11.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych w czasie poprawnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego przedstawia się następująco:

- przygotować dziewięć sztuk płytek stalowych z blachy o grubości 2mm, przeznaczonych do powlekania, w postaci kwadratów o boku 50mm,
- oczyścić powierzchnię płytek papierem ściernym w celu usunięcia produktów korozji oraz przeprowadzenia schropowacenia powierzchni,
- zmierzyć grubość wszystkich płytek w punkcie przecięcia się ich przekątnych i wydrapać rysikiem na narożu płytki kolejny jej numer,
- odtłuścić powierzchnię płytek przy pomocy szmatki nasączonej preparatem odtłuszczającym, operację odtłuszczania przeprowadzić pod wyciągiem, podczas odtłuszczania stosować rękawice ochronne,
- odtłuszczone płytki zamocować na wieszakach tak, aby numer kolejnej płytki był zasłonięty (na przykład metalowymi klipsami udostępnionymi przez prowadzącego) i umieścić je w pierwszym piecu komorowym, nagrzanym do temperatury określonej na podstawie tabeli 5 (na stronie 59) lub podanej przez prowadzącego ćwiczenia laboratoryjne,
- nagrzewać płytki co najmniej pół godziny,
- następnie wyjmować płytki kolejno z pieca komorowego i zanurzać je w złożu fluidalnym kolejno po trzy sztuki na czas 2, 4 i 6 sekund,
- powleczone płytki umieścić w drugim piecu komorowym, nagrzanym do temperatury podanej przez prowadzącego ćwiczenia laboratoryjne,
- wygrzewać płytki przez co najmniej 15 minut,
- wyjąć wszystkie płytki z pieca komorowego i pozostawić je w celu ochłodzenia do temperatury otoczenia,
- wykonać pomiary grubości próbek pomiarowych za pomocą mikrometru w punkcie przecięcia się przekątnych.

## 11.5. Wyniki

Opracowanie wyników powinno zawierać zestawienie wyników pomiarów przedstawione w postaci tabelarycznej. Ponadto w oparciu o otrzymane wyniki należy w sposób graficzny przedstawić zależność między średnią grubością  $g_{sr}$  otrzymanej powłoki tworzywowej (wyrażoną w milimetrach), a czasem fluidyzacji  $T_f$  (wyrażonym w sekundach).

Wzór tabeli, do której należy wpisać wyniki pomiarów wykonanych podczas realizacji ćwiczenia, zamieszczono w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych. Szablon graficzny służący do wykonania wykresu ilustrującego zależność między grubością powłoki  $g_{sr}$  otrzymanej metodą nanoszenia fluidyzacyjnego a czasem fluidyzacji  $t_f$  został przedstawiony w punkcie 6 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

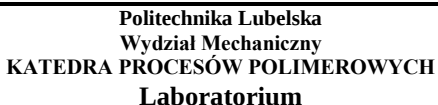
## 11.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń, zestawione tabelarycznie,
- graficzne przedstawienie zależności wpływu czasu fluidyzacji  $t_f$  na średnią grubość naniesionej powłoki z tworzywa  $g_{sr}$ ,
- wnioski dotyczące wyglądu otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą wpływu czasu fluidyzacji na grubość powłoki i ocenianą wizualnie jakość otrzymanej powłoki z tworzywa.

## Literatura

1. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
3. Strona internetowa firmy Fini Compressors ([www.fini.com.cn](http://www.fini.com.cn))



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Nanoszenie fluidyzacyjne</b>                         |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, resembling notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Zestawienie wyników pomiarów grubości naniesionej powłoki

| Wyniki pomiaru grubości próbek           |          |          |          |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Czas fluidyzacji $t_f = 2s$              |          |          |          |
|                                          | Próbka 1 | Próbka 2 | Próbka 3 |
| Początkowa grubość płytki $g_0$ , mm     |          |          |          |
| Grubość płytki po fluidyzacji $g_p$ , mm |          |          |          |
| Grubość powłoki $g$ , mm                 |          |          |          |
| Średnia grubość powłoki $g_{sr}$ , mm    |          |          |          |
| Czas fluidyzacji $t_f = 4s$              |          |          |          |
|                                          | Próbka 4 | Próbka 5 | Próbka 6 |
| Początkowa grubość płytki $g_0$ , mm     |          |          |          |
| Grubość płytki po fluidyzacji $g_p$ , mm |          |          |          |
| Grubość powłoki $g$ , mm                 |          |          |          |
| Średnia grubość powłoki $g_{sr}$ , mm    |          |          |          |
| Czas fluidyzacji $t_f = 6s$              |          |          |          |
|                                          | Próbka 7 | Próbka 8 | Próbka 9 |
| Początkowa grubość płytki $g_0$ , mm     |          |          |          |
| Grubość płytki po fluidyzacji $g_p$ , mm |          |          |          |
| Grubość powłoki $g$ , mm                 |          |          |          |
| Średnia grubość powłoki $g_{sr}$ , mm    |          |          |          |

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

## 6. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

[illegible]Czas fluidyzacji  $t_f$ , sThis image shows a full page of primary-ruled paper. It features multiple sets of horizontal lines designed to guide young learners' handwriting. Each set consists of three lines: a solid top line, a dashed middle line, and a dotted bottom line. These sets are repeated vertically across the entire page, providing ample space for practicing letter formation and alignment. The paper is otherwise completely blank, with no text or other markings.

Podpis studenta wykonującego sprawozdanie:

\_\_\_\_\_

### Objaśnienia:

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetworstwa tworzyw. z próbą określenia kryteriów optymalizacji.

## 12. Metalizowanie

### 12.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami procesu metalizowania tworzyw na przykładzie naparowywania próżniowego cieplnego, określenie sprawności tej metody metalizowania na podstawie pomiaru ubytku masy metalu naniesionego na przedmiot z tworzywa, a także ocena jakości naniesionej powłoki na podstawie obserwacji wizualnej.

### 12.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowisko badawczego wchodzi napyłarka próżniowa typu NAL-301, wyprodukowana przez Zakład Techniki Próżniowej w Koszalinie oraz waga laboratoryjna, znajdujące się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych.

Napyłarka NAL-301 jest urządzeniem służącym do metalizowania próżniowego odmianą naparowywania próżniowego cieplnego. Zbudowana jest z następujących układów: komory próżniowej, układu obniżania ciśnienia, układu parowania oraz układu sterowania i regulacji [1]. Wygląd ogólny próżniowej napyłarki laboratoryjnej NAL-301 został pokazany na rys. 12.1.



Rys. 12.1. Wygląd ogólny próżniowej napyłarki laboratoryjnej NAL-301: a) 1 - wzornik do komory próżniowej, 2 - komora próżniowa, 3 - panel sterowania układu parowania, 4 - panel sterowania układu wytworzenia próżni, 5 - napęd pomp układu wytworzenia próżni

Układ obniżania ciśnienia składa się z pompy dyfuzyjnej oraz współpracującej z nią pompy próżniowej. Między pompami jest zamontowany zbiornik pośredni. Do prawidłowego działania pompy próżniowej niezbędne jest chłodzenie wodą. Ze względu na poważne następstwa braku wody chłodzącej w układzie sterowania i regulacji jest zainstalowany sygnalizator przepływu wody. Stero-

wanie układem obniżania ciśnienia może odbywać się w sposób ręczny lub automatycznie. Wskaźniki świetlne umieszczone na płycie przedniej bloku sterowania sygnalizują działanie podzespołów układu obniżania ciśnienia, a wskaźniki ciśnienia pokazują jego wartość w zbiorniku próżni wstępnej oraz w komorze próżniowej [1].

W skład układu parowania wchodzi transformator o mocy 2kW. Sterowanie układem parowania odbywa się poprzez sterownik tyrystorowy włączony w układ pierwotny transformatora.

W celu nagrzewania metalu naporowywanego na tworzywo w komorze próżniowej jest zainstalowany element grzewczy wykonany z drutu wolframowego, w kształcie linii śrubowej. Wnętrze komory próżniowej zostało przedstawione na rys. 12.2.



Rys. 12.2. Wnętrze komory próżniowej napyłarki NAL-301: po lewej - grzejnik wolframowy z zawieszonymi skrawkami aluminium, po prawej - sposób mocowania płytki z tworzywa nad źródłem naporowywanego metalu

Metalem używanym do wytworzenia powłoki na tworzywie jest aluminium w postaci krótkich odcinków drutu lub cienkich skrawków odcinanych z blachy, które należy zawiesić na elemencie grzewczym. Próbki pomiarowe z tworzywa, które są poddawane metalizowaniu mają zazwyczaj kształt prostokątnych płytek, o wymiarach na ogół w zakresie od 40 do 50mm. Najczęściej są to płytki wykonane z polietylenu, polistyrenu lub polimetakrylanu metylu [2].

### 12.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto:

- a) jako czynniki badane bezpośrednio:
  - masa próbki pomiarowej przed metalizowaniem  $m_0$ ,

- masa próbki po metalizowaniu  $m$ ,
- łączna masa odcinków aluminium  $m_m$ ,
- b) jako czynniki badane pośrednio:
  - ubytek masy naparowywanego metalu  $\Delta m$ ,
  - sprawność naparowywania próżniowego cieplnego, wyrażona stosunkiem  $\frac{\Delta m}{m_m}$ ,

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj i właściwości materiałów użytych podczas wykonywania ćwiczenia (tworzywa do metalizowania oraz metalu), w zakresie podanym przez prowadzącego zajęcia,
- wartość ciśnienia w komorze próżniowej napylarki próżniowej.

Czynnikami zakłócające to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa, wilgotności względnej powietrza oraz wahania napięcia w sieci zasilającej. Przyjmuje się, że wyżej wymienione czynniki zakłócające nie wpływają w znaczący sposób na wyniki badań.

## 12.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność czynności wykonywanych w czasie poprawnej realizacji ćwiczenia laboratoryjnego powinna być następująca:

- wyciąć kilka próbek pomiarowych z arkuszy tworzywa udostępnionych przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne, w kształcie prostokąta o wymiarach 40x50mm,
- przynajmniej jedna z próbek powinna mieć powierzchnię gładką, a druga powinna mieć powierzchnię schropowaconą, na przykład przy pomocy droбноziarnistego papieru ściernego,
- próbki pomiarowe należy odłuścić, korzystając z dostępnych w laboratorium substancji (np. alkoholu lub acetonu), w zależności od rodzaju zastosowanego tworzywa,
- przy pomocy wagi laboratoryjnej zważyć poszczególne próbki po odtłuszczeniu, do ich przenoszenia używać pincety,
- przygotować co najmniej trzy próbki metalu do naparowywania, odcinając kawałki drutu aluminiowego o długości w zakresie 15÷20mm lub odcinając z blachy aluminiowej paski o szerokości nie większej niż 1mm i długości w zakresie 15÷20mm, po czym określić ich masę, korzystając z wagi laboratoryjnej,
- zawiesić próbkę metalu do naparowywania na elemencie grzewczym,
- jedną z przygotowanych uprzednio próbek z tworzywa zamocować w uchwycie nad elementem grzewczym w komorze próżniowej, zwrócić uwagę na to, aby podczas mocowania nie zanieczyścić powierzchni próbki,
- założyć pokrywę komory próżniowej, włączyć zasilanie układu sterowania i doprowadzić wodę do układu chłodzenia,

- po uzyskaniu w komorze próżniowej odpowiednio obniżonego ciśnienia uruchomić układ parowania; proces naparowywania aluminium przeprowadza się przy ciśnieniu  $10^{-3}\text{Pa}$ ,
- po włączeniu układu parowania na skutek zwiększania się natężenia prądu następuje rozżarzanie się elementu grzewczego; przez wziernik w pokrywie komory można obserwować moment odparowania metalu,
- po zakończeniu naparowywania zapowietrzyć komorę próżniową przez otwarcie zaworu zapowietrzającego,
- zdjąć pokrywę komory próżniowej i wyjąć pokrytą metalem próbkę pomiarową z tworzywa,
- kilka razy powtórzyć proces naparowywania próżniowego cieplnego, otrzymując następne próbki pomiarowe,
- zważyć otrzymane próbki pomiarowe przy pomocy wagi laboratoryjnej znajdującej się na wyposażeniu laboratorium.

## 12.5. Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych prób metalizowania próżniowego należy ocenić wygląd powierzchni próbek po metalizowaniu oraz oszacować sprawność naparowywania próżniowego cieplnego, określoną na podstawie stosunku masy metalu naniesionego na powierzchnię tworzywa do początkowej masy metalu użytego do procesu metalizowania. Oceniając jakość powierzchni po metalizowaniu spróbować uzasadnić ewentualne wady wykonanych próbek wykorzystując informacje zawarte w załączonej poniżej tabeli 12.1.

Tabela 12.1. Źródła występowania wad przy metalizowaniu próżniowym

| Rodzaj wady                 | Przyczyna                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tworzenie się plam          | Dyfuzja na powierzchnię tworzyw monomerów lub składników dodatkowych tworzywa, niewystarczająco obniżone ciśnienie w komorze próżniowej.                    |
| Niebiesko-biały nalot       | Zbyt gruba warstwa aluminium, niewystarczająco obniżone ciśnienie w komorze próżniowej.                                                                     |
| Ziarnista powierzchnia      | Chropowata powierzchnia tworzywa, wadliwie naniesiony lakier.                                                                                               |
| Występowanie rys            | Niedostateczne wysuszenie lakieru podkładowego, wady materiałowe widoczne po nałożeniu powłoki metalowej.                                                   |
| Zmatowienie powierzchni     | Dyfuzja plastyfikatora do warstwy lakieru podkładowego.                                                                                                     |
| Niedostateczna przyczepność | Obecność środka antyadhezyjnego na powierzchni tworzywa, zbyt gruba warstwa lakieru podkładowego, niewystarczająco obniżone ciśnienie w komorze próżniowej. |

Wyniki pomiarów masy próbek metalizowanych należy zamieścić w tabeli, której wzór został przedstawiony w punkcie 5 sprawozdania z ćwiczeń laboratoryjnych.

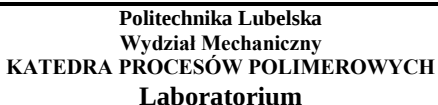
## **12.6. Sprawozdanie**

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru znajdującego się na końcu ćwiczenia, powinno zawierać:

- cel ćwiczenia,
- charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego,
- krótki opis przebiegu ćwiczenia,
- charakterystykę programu badań, zawierającą charakterystykę tworzywa oraz parametry technologiczne realizowanego procesu przetwórstwa, z wyszczególnieniem czynników stałych i czynników zmiennych, wielkości mierzonych bezpośrednio oraz wielkości wyznaczanych z zależności matematycznych, z niezbędnymi wzorami matematycznymi (jeśli takie występują),
- wyniki pomiarów i obliczeń,
- wnioski dotyczące oceny jakości powierzchni elementów metalizowanych oraz wartości sprawności procesu naparowywania próżniowego cieplnego, z punktu widzenia ilości metalu traconego podczas parowania w komorze próżniowej.

## **Literatura**

1. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa urządzenia do metalizowania próżniowego NAL-301.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Metalizowanie tworzyw</b>                            |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

## This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAŃ

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, typical of notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

## 5. WYNIKI POMIARÓW

Tabela 5.1. Zestawienie wyników pomiaru ubytku masy metalu podczas metalizowania próżniowego metodą naparowywania próżniowego cieplnego

| Wyznaczana wielkość                                                                             | Próba 1 | Próba 2 | Próba 3 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Masa próbki przed metalizowaniem $m_0$ , g                                                      |         |         |         |
| Łączna masa odcinków aluminium $m_m$ , g                                                        |         |         |         |
| Masa próbki po metalizowaniu $m$ , g                                                            |         |         |         |
| Ubytek masy naparowywanego metalu $\Delta m$ , g                                                |         |         |         |
| Skuteczność naparowywania próżniowego cieplnego, wyrażona stosunkiem $\frac{\Delta m}{m_m}$ , % |         |         |         |

[illegible]

[illegible]

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

## 191



## 13. Wulkanizacja gumy

### 13.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z przebiegiem procesu wulkanizacji gumy oraz oznaczenie wskaźników przetwarzalności mieszanek gumowych za pomocą plastografometru Mooney'a.

### 13.2. Stanowisko badawcze

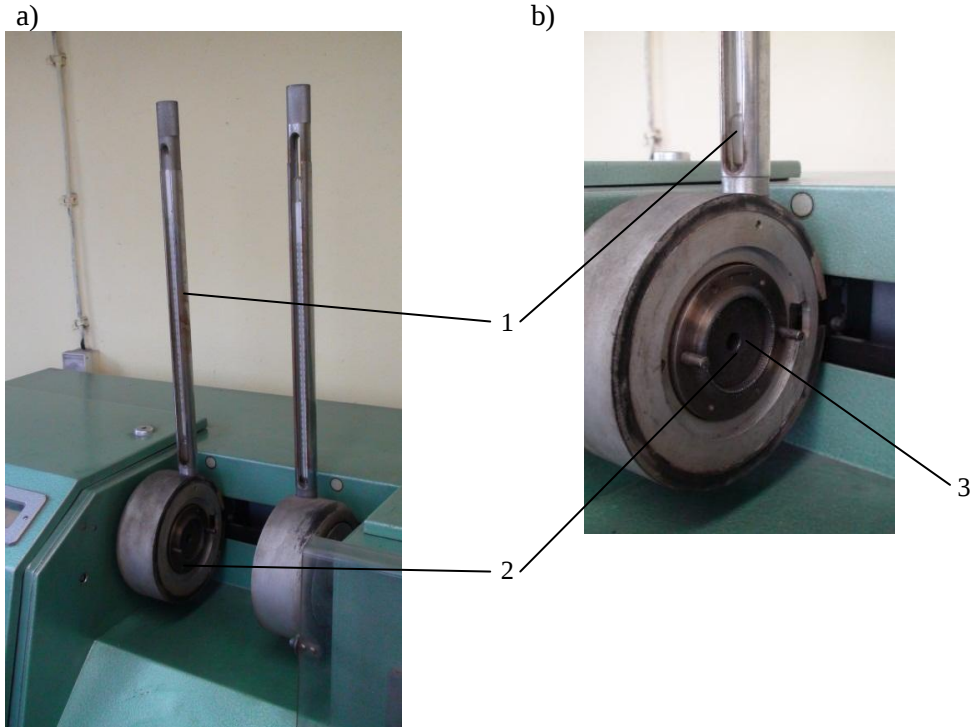
Plastografometr Mooney'a używany do ćwiczenia jest odmianą reometru wirnikowego (rys. 13.1). Składa się z układu napędowego, komory pomiarowej, układu zamykającego i układu rejestrującego. Napęd z silnika elektrycznego jest przenoszony przez przekładnię pasową i zębatą na wał napędowy, połączony z komorą pomiarową. Komora pomiarowa (rys. 13.2) składa się z dwóch części, które są zamykane za pomocą siłownika pneumatycznego. Obie części komory nagrzewane są elektrycznie. Utrzymanie stałej temperatury zapewnia regulator, który jest kontrolowany przez termometry oporowe, zamontowane w obu częściach komory pomiarowej.



Rys. 13.1. Wygląd plastografometru Mooney'a do wulkanizacji gumy: 1- komora pomiarowa, 2 - układ pomiaru momentu obrotowego i rejestracji, 3 - układ regulacji temperatury

Wirnik z próbkami jest mocowany w lewej części komory. Obrót komory wywołuje na wirniku moment obrotowy. Wartość tego momentu, wycechowana w jednostkach Mooney'a, jest rejestrowana w funkcji czasu na taśmie rejestratora. Układ zamykający komorę pomiarową podłącza się do sieci sprężonego po-

wietrza o ciśnieniu 0,6 MPa. Lepkość wyznaczona za pomocą plastografometru Mooney'a, zwana lepkością według Mooney'a, jest to wielkość naprężeń ścinających powstających podczas względnego ruchu obrotowego między badanym tworzywem, a umieszczonym w jego wnętrzu wirnikiem z metalu o określonym kształcie i wymiarach.



Rys. 13.2. Fragment plastografometru Mooney'a: 1 - termometry pomiarowe, 2 - komora wulkanizacyjna do umieszczania próbek gumy, 3 - wirnik pomiarowy podłączony do momentomierza

### 13.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1. Bezpośrednio:

- wartość momentu obrotowego wysyłanego oporem mieszanki gumowej podczas jej wulkanizowania, wyrażonego w jednostkach Mooney'a (w funkcji czasu pomiaru).

2. Pośrednio:

- wskaźniki przetwarzalności (odczytane z wykresu: czas podwulkanizowania,
- wskaźnik szybkości podwulkanizowania i inne).

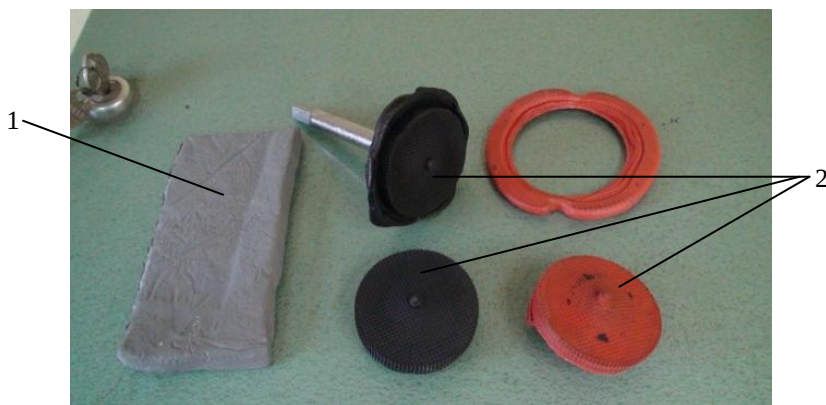
Czynnikami zmiennymi są:

- rodzaj i skład mieszanki gumowej
- czas odczytu momentu obrotowego,
- temperatura wulkanizowania.

Czynnikami stałymi są:

- warunki wulkanizowania (dla określonych próbek)
- wymiary próbek, rodzaj i kształt wirnika.

Wygląd próbek mieszanki gumowej przed oraz po wulkanizowaniu przedstawiono na rys. 13.3.



Rys. 13.3. Wygląd próbek przed oraz po wulkanizowaniu: 1 - mieszanka gumowa, 2 - otrzymane krążki po wulkanizowaniu z wykorzystaniem palstografometru

### 13.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

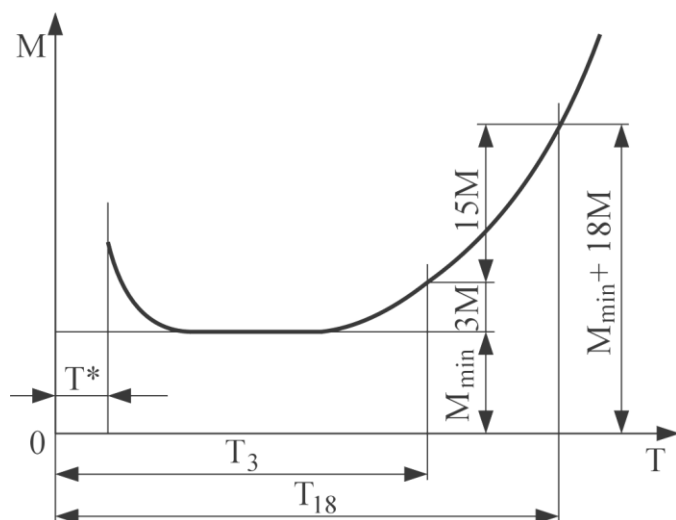
W celu poprawnego przeprowadzenia ćwiczenia należy:

1. Włączyć ogrzewanie komory pomiarowej za pomocą włącznika głównego (rys. 13.1).
2. Ustawić temperaturę pomiaru potencjometrami. Odpowiednią wartość temperatury należy dobrać w zależności od rodzaju mieszanki gumowej lub rodzaju kauczuku ( tabela 13.1)
3. Po osiągnięciu żądanej temperatury, do lewej części komory założyć wirnik z umocowanymi próbkami mieszanki gumowej.
4. Przed zamknięciem komory sprawdzić, czy kołek zabierakowy lewej części zajmuje położenie naprzeciw wgłębienia w prawej części komory oraz zamknąć komorę.
5. Zmierzyć czas  $T^*$  od zamknięcia komory pomiarowej do uruchomienia jej obrotu i przełącznikiem włączyć przesuw taśmy rejestratora.

6. Uruchomić silnik obracający wirnik w komorze. Na wirnik, znajdujący się w komorze wypełnionej tworzywem, działa moment obrotowy wywołany oporem tworzywa.
7. Wykonać wykres zmian wartości momentu obrotowego podczas wulkanizowania w funkcji czasu pomiaru.
8. Określić poszukiwane wskaźniki przetwarzalności:
  - czas podwulkanizowania według Mooney'a ( $T_3$ ), wyznaczony od początku pomiaru potrzebny do zwiększenia lepkości mieszanki gumowej o trzy jednostki Mooney'a powyżej lepkości minimalnej  $L_{\min}$  (rys. 13.4.)
  - wskaźnik szybkości podwulkanizowania ( $\Delta T$ ), obliczony według wzoru:

$$\Delta T = T_{18} - T_3 \quad (13.1)$$

gdzie:  $T_{18}$  - czas od początku pomiaru, potrzebny do zwiększenia lepkości o 18 jednostek Mooney'a powyżej lepkości minimalnej,  $T_3$  - czas podwulkanizowania według Mooney'a.



Rys. 13.4. Przykładowy wykres zmian lepkości mieszanki gumowej w funkcji czasu;  $T^*$  - czas od zamknięcia komory pomiarowej do uruchomienia obrotu wirnika,  $T_3$  - czas podwulkanizowania według Mooney'a,  $T_{18}$  - czas potrzebny do wzrostu lepkości o 3 jednostki Mooney'a powyżej lepkości minimalnej  $L_{\min}$  (dane dotyczą wirnika ML)

Tabela 13.1. Wartości temperatury prowadzenia pomiaru wskaźników przetwarzalności dla wybranych kauczuków

| Lp. | Rodzaj kauczuku                       | Temperatura badania, °C |
|-----|---------------------------------------|-------------------------|
| 1   | Kauczuk butadienowy                   | 120                     |
| 2   | Kauczuk izoprenowo-izobutylenowy      | 145                     |
| 3   | Kauczuk chloroprenowy                 | 120                     |
| 4   | Kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy   | 130                     |
| 5   | Kauczuk etylenowo-propylenowo-dienowy | 140                     |
| 6   | Kauczuk etylenowo-propylenowy         | 125                     |
| 7   | Kauczuk butylowy, chlorobutyłowy      | 100                     |
| 8   | Kauczuk naturalny                     | 100                     |

Do przeprowadzenia jednego pomiaru przygotowuje się co najmniej dwie próbki mieszanki gumowej, w kształcie krążków o średnicy od 45 do 50 mm i grubości od 6 do 8 mm. Jedna z próbek powinna mieć otwór o średnicy 13 mm aby można je było założyć na trzpień, który mocuje się w uchwycie wirnika.

### 13.5. Wyniki

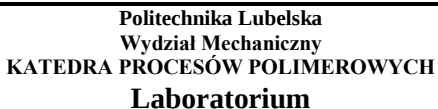
Odczytać wartość momentu w jednostkach Mooney'a otrzymany z rejestratora. Pomiar prowadzić do chwili, gdy lepkość mieszanki gumowej wzrośnie o 40% powyżej lepkości minimalnej ( $L_{min}$ ). Badania należy przeprowadzić co najmniej trzykrotnie. Na podstawie otrzymanych wykresów obliczyć: czas podwulkanizowania według Mooney'a oraz wskaźnik szybkości powulkanizowania  $\Delta T$ . Opracować wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek związane z analizą wpływu warunków wulkanizowania na właściwości wytworu.

### 13.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, przygotowane według wzoru, powinno zawierać: cel ćwiczenia, charakterystykę stanowiska badawczego, zawierającą zwięzły opis maszyn, narzędzi i przyrządów pomiarowych, wykorzystywanych podczas wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego, krótki opis przebiegu ćwiczenia, charakterystykę programu badań, zawierającą opis tworzywa oraz warunki technologiczne realizowanego wulkanizowania, wyniki pomiarów i obliczeń, wykres oraz wnioski dotyczące oceny otrzymanych próbek oraz wnioski związane z analizą warunków procesu na stopień wulkanizacji.

## **Literatura**

1. Praca zbiorowa pod red. R. Sikory: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
2. Saechtling. Tworzywa sztuczne. Poradnik. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
3. Sikora R.: Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje właściwości i struktura. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
4. White J.,R., De S.,K: Poradnik Technologa Gumy, Wydawnictwo Rapra Technology Limited, Shropshire 2001.



|                                                         |                |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Temat ćwiczenia                                         | Nr ćwiczenia   | Grupa          |
| <b>Wulkanizacja gumy</b>                                |                |                |
| Nazwisko i imię osoby (osób) wykonujących sprawozdanie: | Data wykonania | Semestr        |
|                                                         | Ocena          | Rok akademicki |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |
|                                                         |                |                |

.....

.....

.....

.....

.....

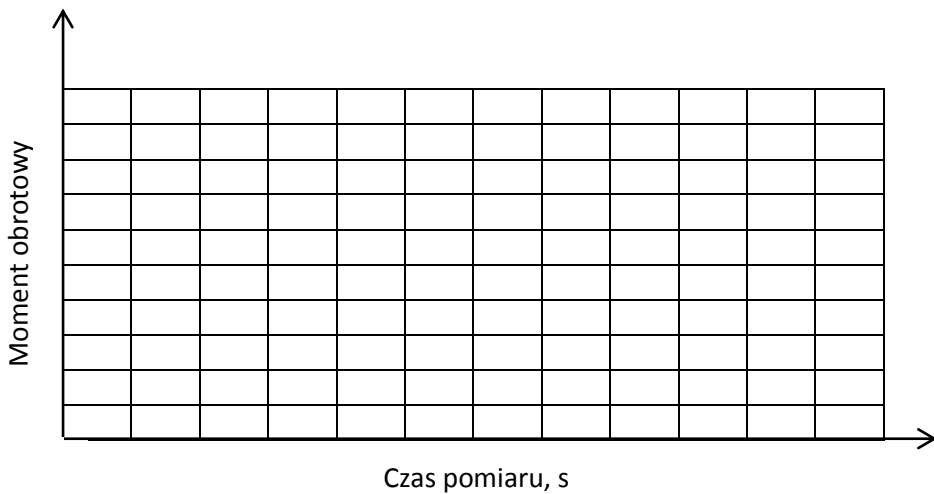
[illegible][illegible]

[illegible]

#### 4. PROGRAM BADAÑ

[illegible]

## 5. WYNIKI POMIARÓW

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting or typing. There are no margins, text, or other markings on the page.

[illegible]

|  |
|--|
|  |
|--|

Punkty 1, 2 i 3 wypełnić na podstawie informacji zawartych w skrypcie laboratoryjnym. W p. 4 podać czynniki badawcze stałe, zmienne i zakłócające (na przykład rodzaj tworzywa, temperaturę, ciśnienie, czas, siłę, obroty i inne czynniki, właściwe dla wykonywanego ćwiczenia laboratoryjnego), z podziałem na wielkości pomiarowe i wielkości obliczeniowe. W p. 5 podać wzory do wykonania obliczeń oraz wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli. W p. 6 zamieścić wykresy poszukiwanych zależności oraz podać wnioski podsumowujące wykonane ćwiczenie laboratoryjne. Wnioski powinny zawierać informację o tym, czy otrzymane wyniki są zgodne z zależnościami teoretycznymi, określać charakter zależności (rosnąca, malejąca, z ekstremum), w przypadku ekstremum scharakteryzować je z punktu widzenia wartości optymalnych dla badanej metody przetwórstwa tworzyw, z próbą określenia kryteriów optymalizacji.