



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking **Academy** to **Industry**.

Program szkoleniowy:

Moduł 2. Ekoprojektowanie i innowacyjne procesy produkcyjne.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.
This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

SPIS TREŚCI

2.2 Formowanie rozdmuchowe

2.2.1 Opis różnych rodzajów procesu

2.2.2 Wytłaczanie z rozdmuchem i wtryskowe formowanie z rozdmuchem

2.3 Termoformowanie

2.4 Piany

2.4.1 Opis procesu spieniania materiałów polimerowych.

2.4.2 Porofofor.

2.4.3 Chemiczne i fizyczne środki porofofory.

2.4.4 Proces spieniania z procesami wytłaczania i formowania wtryskowego.

Rozdmuch

Proces produkcji pustych korpusów i butelek poprzez wtrysk powietrza, wewnątrz przedformy (z formowania wtryskowego) lub szklanej bańki (z wytłaczania).

Formowanie z rozdmuchem jest ograniczone do polimerów termoplastycznych.

Najczęściej stosowanymi polimerami są:
PET, PC, HDPE, LDPE, PP, ABS, PVC).

Dwa warianty:

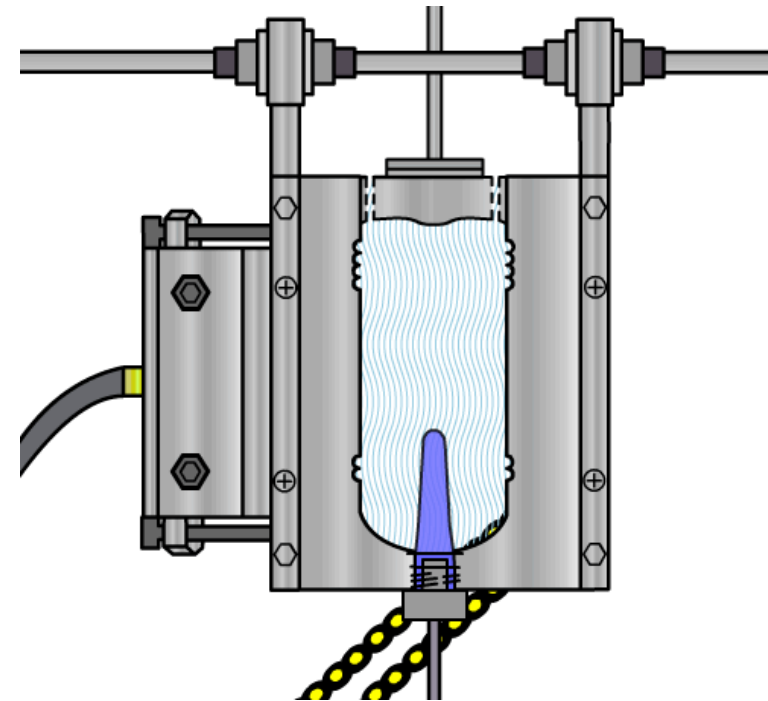
- ✓ Formowanie do formowania wtryskowego z rozdmuchiwaniami (**IBM**)
- ✓ Formowanie do wytłaczania z rozdmuchiwaniami (**EBM**)



Formowanie wtryskowe z rozdmuchem (IBM)

Formowanie wtryskowe z rozdmuchiwaniami służy do produkcji cienkościennych butelek i pustych korpusów.

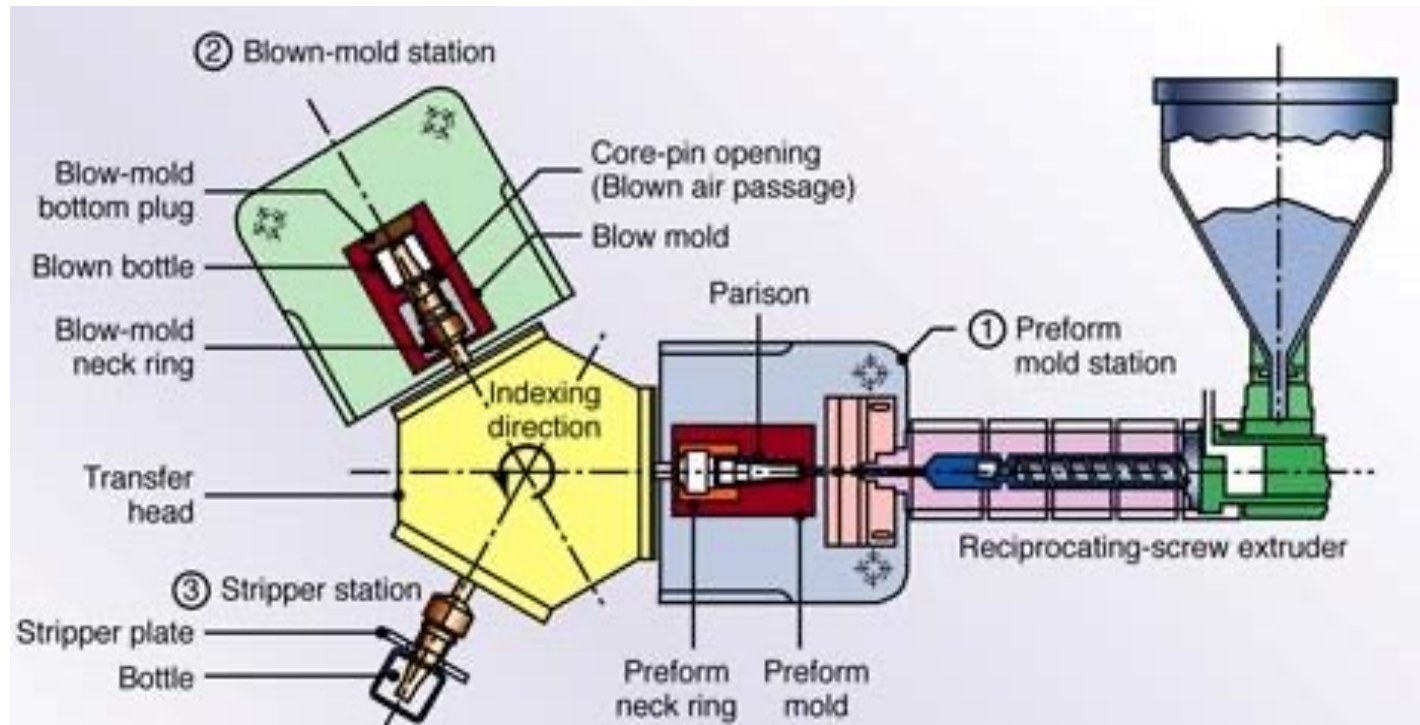
1. Formowanie wtryskowe "preformy"
2. Formowanie preformy z rozdmuchem sprężonym powietrzem
3. Chłodzenie butelki
4. Otwieranie formy i wyjście części



<http://www.bpf.co.uk/data/iframe/injectionstretchblowmoulding.html>

Nadmuch jednostopniowy

Proces jednostopniowy zyskuje swoją nazwę od tego, że tworzy preformy, rozciąga i wydmuchuje je na tej samej maszynie przed schłodzeniem.

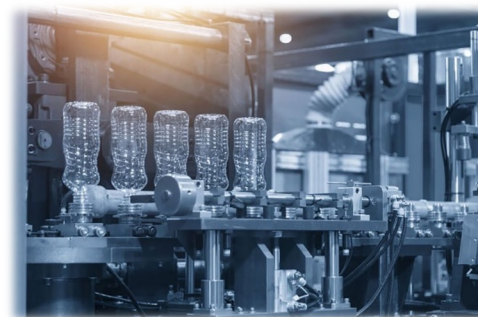
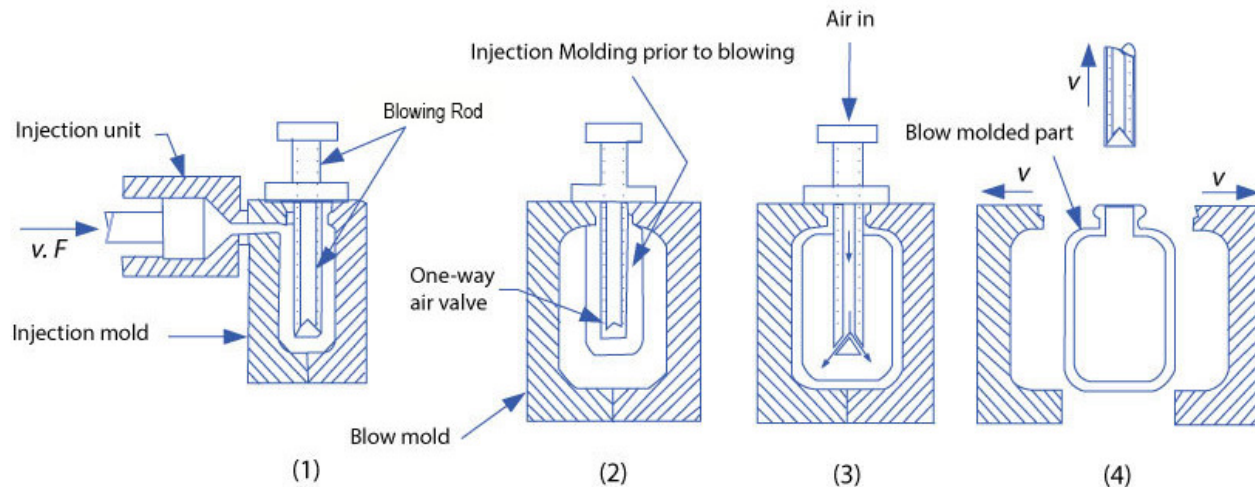


https://www.youtube.com/watch?v=eDoVB4u_syo

Nadmuch dwustopniowy

Technika stosowana w dwustopniowych wtryskarkach rozdmuchowych obejmuje dwie maszyny. Są to system formowania wtryskowego i rozciągająca maszyna do rozdmuchiwania.

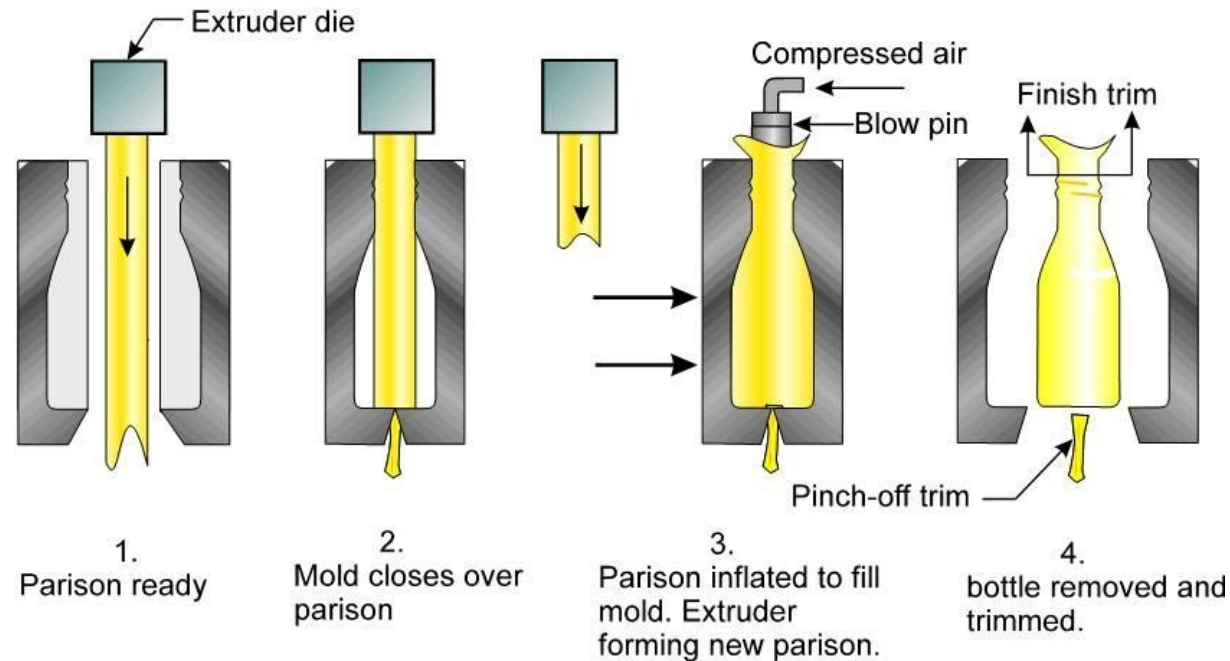
Tutaj tworzywo sztuczne jest formowane w całkowicie chłodzoną preformę w pierwszej maszynie przed wystąpieniem do drugiej maszyny.



<https://www.youtube.com/watch?v=so9OyGGICv4>

Formowanie z rozdmuchem wytłaczanym (EBM)

W formowaniu z rozdmuchem wytłaczającym (EBM) tworzywo sztuczne jest topione i wytłaczane do pustej rury. Ta pusta rura jest następnie przechwytywana przez zamknięcie go w schłodzonej metalowej formie. Powietrze jest następnie wdmuchiwane do niego, nadmuchiwając je do kształtu pustej butelki, pojemnika lub części. Po wystarczającym ochłodzeniu tworzywa sztucznego forma jest otwierana, a część wysuwana.



The **Blow molding** process

Combining continuous extrusion and molding



Nadmuch

- W formowaniu wtryskowym i rozdmuchowym najpierw uzyskuje się kawałek kształtu rurowego (preforma) przez formowanie wtryskowe.
- W porównaniu do wytłaczania z rozdmuchem, wtrysk przedmuchowy umożliwia lepszą kontrolę nad ciężarem części i grubością ścianki. Pozwala również na większą precyzję w obszarach niepodlegających nadmuchowi (formowane wtryskowo obszary szyjki, z możliwością wkręcania nakrętek i wszelkich zamknięć).
- W procesie, w którym spodziewane jest rozciąganie podczas, temperatura robocza jest odpowiednio dobrana, aby umożliwić orientację makrocząsteczek, a tym samym poprawę właściwości.
- Pozwala uzyskać szeroką gamę pustych kształtów o cienkich grubościach, wyposażonych w odpowiednie kanały do wnikania gazu lub cieczy. Koszty są bardzo wysokie i ograniczają proces do masowej produkcji. Wśród produktów typowo wytwarzanych, plastikowe butelki i puste pojemniki, zwłaszcza te z gwintowanymi zamknięciami
-
- Wielowarstwowy wtrysk z rozdmuchiowaniem jest zwykle stosowany do komponentów, które muszą być zarówno gazoszczelne, jak i odporne. Warstwy barierowe będą zatem dostarczane od wewnątrz, podczas gdy warstwa zewnętrzna będzie miała cechy wytrzymałości, odporności na uderzenia i kompatybilności z kolejnymi procesami drukowania tekstu lub obrazu.

Formowanie z rozdmuchem wytłaczanym



https://www.youtube.com/watch?v=8Ql4H40TX_c

Formowanie wtryskowe z rozdmuchem



<https://www.youtube.com/watch?v=NE4c1gwzPb4>

Termoformowanie

Termoformowanie jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych i najstarszych metod przekształcania materiałów z tworzyw sztucznych i jest szeroko rozpowszechnione w opakowaniach żywności.

Polimery najczęściej stosowane w tym procesie to wyłącznie tworzywa termoplastyczne, a w szczególności: PP, PE i PS.

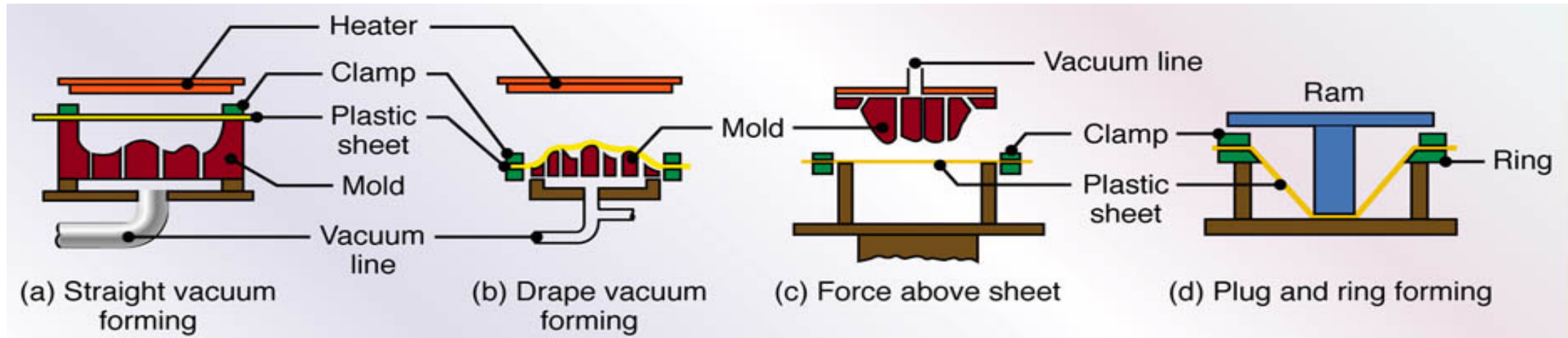


http://www.bpf.co.uk/data/iframe/Thermoforming_RPC_BPF.html

Termoformowanie

Jest to proces deformacji na gorąco dla folii lub arkuszy, wcześniej przekształconych przez wytłaczanie. Przechodzą "modelowanie".

W szczególności materiały te są umieszczane w piecu, w którym polimer osiąga temperaturę zmiękczenia, a tym samym są formowane za pomocą formy, która je kształtuje, nadając im pożądany kształt.

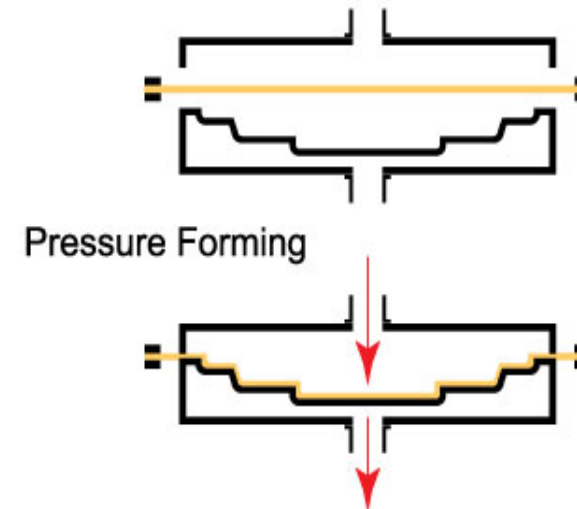
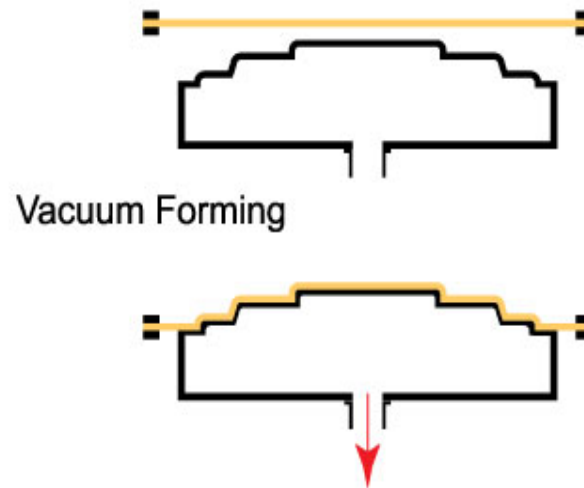


<http://www.bpf.co.uk/data/iframe/vacuumform1.html>

Termoformowanie

Możesz użyć:

1. **PUSTKA** → poprzez zasysanie powietrza, które pozostaje między folią a powierzchnią formy do niskich poziomów próżni (~ 0,5 mbar ciśnienia końcowego) w celu uzyskania dokładnych kształtów;
2. **CISNIENIE** → co pozwala na dodanie sprężonego powietrza (do 10 bar). Pozwala to na uzyskanie większej dokładności detali.



Pianka polimerowa

Materiały zawierające gazowe puste przestrzenie otoczone gęstszą matrycą.

Pianki są szeroko stosowane w różnych zastosowaniach: izolacja, poduszka, absorbenty itp.

Do zastosowań piankowych zastosowano różne polimery: poliuretan (PU), polistyren (PS), polietylen (PE), polipropylen (PP), poli(chlorek winylu) (PVC), poliwęglan (PC) itp.

Poliuretan zajmuje największy udział w rynku (53%) pod względem ilości zużywanej, natomiast polistyren jest drugim (26%).



Pianka polimerowa - korzystna / niekorzystna



- ✓ Mają niską gęstość, więc są lekkimi materiałami.
- ✓ Niektóre pianki polimerowe mają niski transfer ciepła lub dźwięku, co czyni je optymalnymi izolatorami.
- ✓ Wiele z nich jest elastycznych i miękkich, co oznacza, że zapewniają większy komfort jako poduszka.



- ✓ Gorsza wytrzymałość mechaniczna.
- ✓ Niska stabilność termiczna i wymiarowa.

Pianka polimerowa - Klasyfikacja pianek polimerowych

Pianki polimerowe można również zdefiniować jako pianki zamkniętokomórkowe lub otwarte.

W piankach o zamkniętych komórkach piankowych komórki piankowe są izolowane od siebie, a wnętrza otoczone są kompletnymi ścianami komórkowymi.

Ogólnie rzecz biorąc, pianki zamkniętokomórkowe mają niższą przepuszczalność, co prowadzi do lepszych właściwości izolacyjnych, pochłaniają dźwięk, zwłaszcza tony basowe.

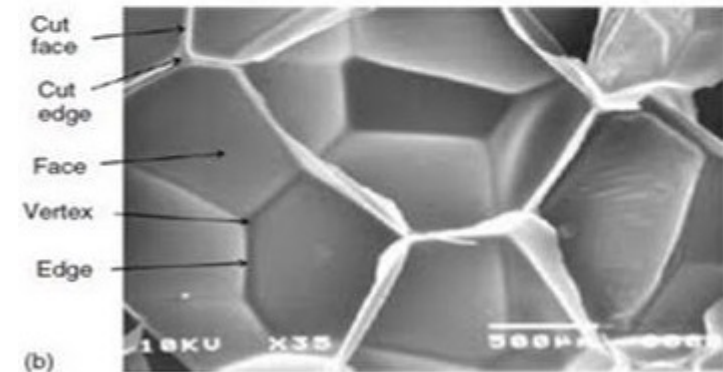
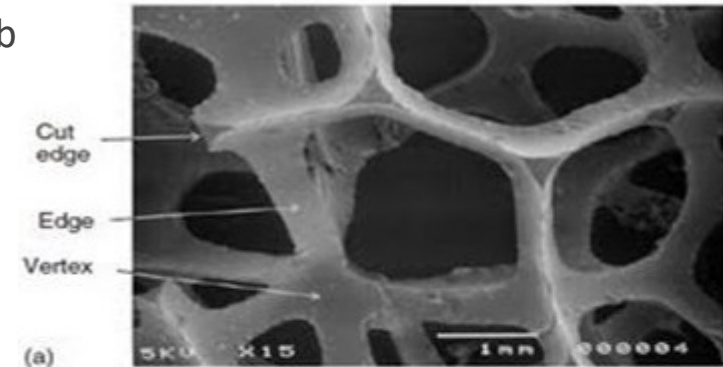
Pianki zamkniętokomórkowe charakteryzują się zazwyczaj sztywnością i wytrzymałością

W piankach otwartokomórkowych komórki są ze sobą połączone. Mają bardziej miękki wygląd.

Pianki otwartokomórkowe są niezwykle skuteczne jako bariera dźwiękowa w normalnych zakresach częstotliwości hałasu i zapewniają lepszą zdolność absorpcyjną.

Zalety pianki zamkniętokomórkowej w porównaniu do pianki otwartokomórkowej obejmują jej wytrzymałość i większą odporność na wyciek powietrza lub pary wodnej.

Wadą pianki zamkniętokomórkowej jest to, że jest gęstsza, wymaga więcej materiału, a zatem jest droższa.



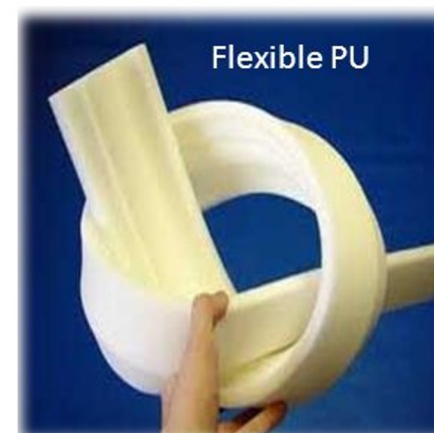
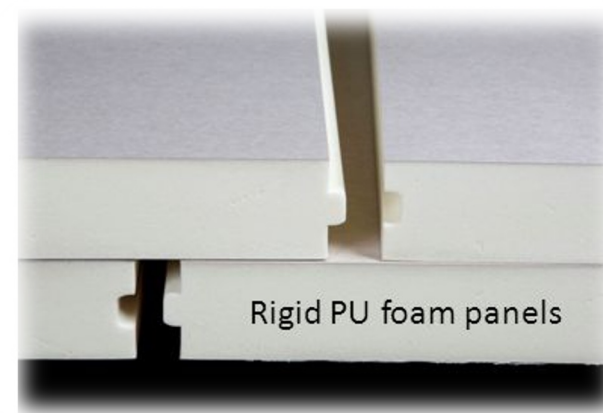
SEM photograph of (a) PU open-cell foam of density 28 kg m^{-3} ; and (b) closed-cell low density polyethylene (LDPE) foam of density 24 kg m^{-3} .

Pianka polimerowa - Klasyfikacja pianek polimerowych

Pianki polimerowe można sklasyfikować jako pianki sztywne lub elastyczne.

Pianki sztywne są szeroko stosowane w zastosowaniach takich jak izolacja budynków, urządzenia, transport, opakowania, meble, pojemniki na żywność i napoje.

Pianki elastyczne są stosowane jako meble, transport, pościel, podkład dywanowy, tekstylia, aplikacje sportowe, tłumienie wstrząsów i dźwięku.



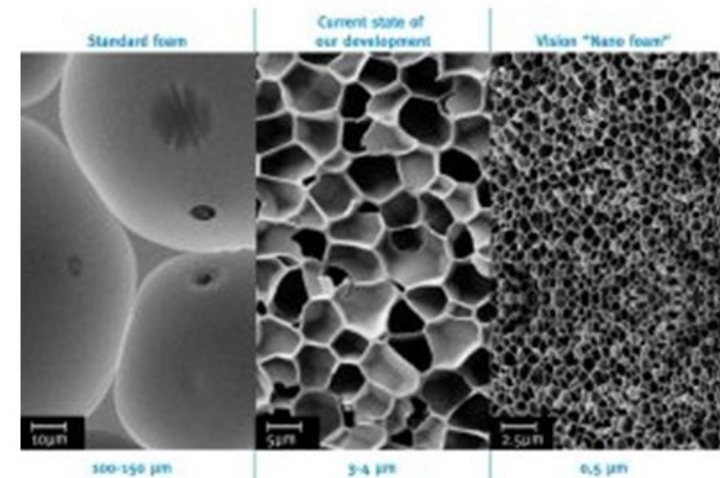
Pianka polimerowa - Klasyfikacja pianek polimerowych

W zależności od wielkości komórek piankowych pianki polimerowe można sklasyfikować jako:

- ✓ Makrokomórkowe ($>100 \mu\text{m}$),
- ✓ Mikrokomórkowe ($1\text{--}100 \mu\text{m}$),
- ✓ Ultramikrokomórkowe ($0.1\text{--}1 \mu\text{m}$)
- ✓ Nanokomórkowe ($0.1\text{--}100 \text{nm}$).

Izolacyjność termiczna sztywnej pianki poliuretanowej zależy głównie od wielkości porów pianki. Im mniejsza średnica, tym niższa przewodność cieplna i tym lepszy efekt izolacyjny.

Dzisiejsze sztywne pianki poliuretanowe mają zazwyczaj rozmiary porów około 150 mikrometrów, co przekracza wielkość porów nanopianek planowanych na przyszłość o współczynnik około 1000.



Proces spieniania

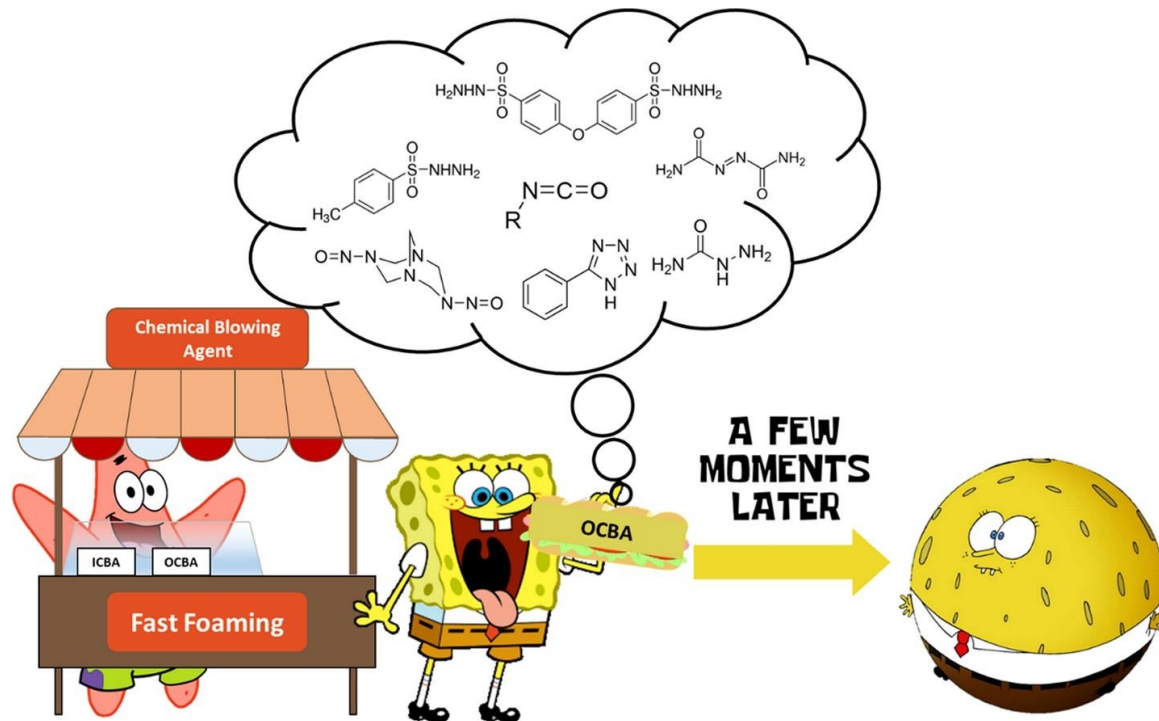
Zasada procesów spieniania obejmuje etapy nasycenia polimeru lub impregnacji środkiem spieniającym, zapewniając super nasyconą mieszaninę polimerowo-gazową poprzez nagły wzrost temperatury lub spadek ciśnienia, wzrost komórek i stabilizację. W procesach spieniania termoplastycznego ważne jest uzyskanie pian o zamkniętej strukturze komórkowej z cienkimi polimerowymi ściankami komórkowymi pokrywającymi każdą komórkę.

Aby zapewnić tę strukturę, wzrost komórek musi być kontrolowany przez proces. Granica temperatury ma kluczowe znaczenie dla uzyskania struktury mikrokomórkowej. Jeśli temperatura jest nadmiernie wyższa, wówczas wytrzymałość na stopienie polimeru może być niskoindukującym pęknięciem komórki. Z drugiej strony, jeśli temperatura jest zbyt niska, spowoduje to dłuższy czas spieniania i wzrost lepkości polimeru. W konsekwencji wzrost komórek zostanie ograniczony, a niedostatecznie spienione produkty zostaną uzyskane. Dlatego warunki procesu mają poważne znaczenie dla morfologii komórek pian polimerowych. Najbardziej znanymi procesami spieniania termoplastycznego są spienianie wytłaczane i formowanie wtryskowe piany.

Porofor (substancja gazotwórcza lub pianotwórcza)

Środek porotwórczy jest substancją, która jest zdolna do wytwarzania struktury komórkowej w procesie spieniania w różnych materiałach, które ulegają utwardzaniu lub przemianie fazowej, takich jak polimery, tworzywa sztuczne i metale.

Są one zwykle stosowane, gdy dmuchany materiał znajduje się w fazie ciekłej. Struktura komórkowa w matrycy zmniejsza gęstość, zwiększając izolację termiczną i akustyczną, jednocześnie zwiększając względną sztywność oryginalnego polimeru.



Blowing agent

<https://www.youtube.com/watch?v=ldlu4uRhuBY>

Piany

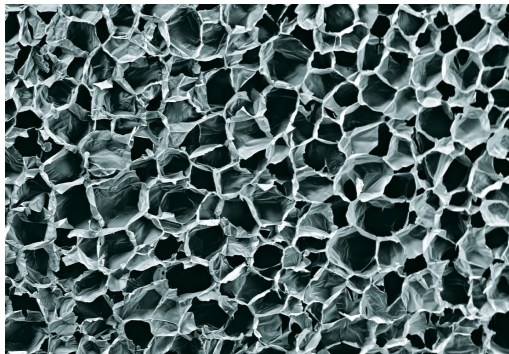
Chemiczny środek porotwórczy

(Chemical Foaming Agent, CFA)

Struktura komórkowa powstała w wyniku reakcji chemicznej i ciepła podczas procesu uplastyczniania.

Gaz wytwarzany to zwykle CO₂, N₂ lub kombinacja dla pian o wysokiej i średniej gęstości.

N₂ i/lub CO₂



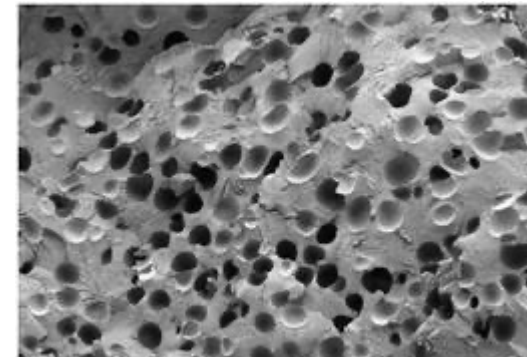
Fizyczny środek porotwórczy

(Gas Injection)

Struktura komórkowa tworzona przez wtryskiwanie gazu w stanie superkrytycznym bezpośrednio do beczki poprzez modyfikacje sprzętu.

W przypadku pian o wysokiej i średniej gęstości stosowane gazy to zwykle N₂ lub CO₂.

N₂ lub CO₂



Pienienie - Reakcja chemiczna

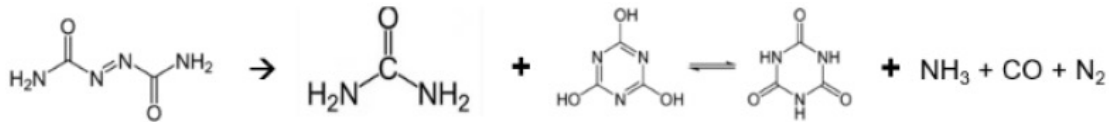


Egzotermika

Azodikarbonamid (ADC) : Tworzy azot i amoniak, wytwarza ciepło podczas rozkładu.

Zazwyczaj najlepszy dla związków PVC lub ABS. Rozgrzej system.

Zrób większe komórki w olefinach, styrenach itp. Najlepiej nadaje się do wytłaczanej tarcicy z tworzywa sztucznego.



- ✓ 50 lat stosowania w kauczuku i tworzywach sztucznych
- ✓ Powolna szybkość dyfuzji gazu
- ✓ Pozytywne dla niektórych zastosowań i negatywne dla innych
- ✓ Szybka i solidna ekspansja gazu
- ✓ N₂ nie jest tak rozpuszczalny w olefinach i styrenach jak CO₂



Endotermika

Mieszanki węglanowo-kwasowe (SAFOAM® Endothermic):
Tworzy CO₂ i wodę, pochłania ciepło.

Większość z nich to FDA, zwykle tworzą najlepszą strukturę (małe obfite komórki, białe).



(sodium bicarbonate) + (citric acid) → (sodium citrate) + (carbon dioxide) + (water)

- ✓ 30 lat stosowania w tworzywach termoplastycznych
- ✓ Samojedrowanie
- ✓ Szybkie tempo dyfuzji gazu
- ✓ Szybszy czas krystalizacji dzięki CO₂ będącym plastyfikatorem
- ✓ Powolne, kontrolowane uwalnianie gazu (mniejsze ciśnienie)
- ✓ CO₂ jest lepiej rozpuszczalny w stopionym polimerze niż N₂

Ciągłe wytłaczanie pianki

Jest to najczęściej stosowana technologia w przemyśle piankowym. Zarówno wytłaczarki jedno- jak i dwuślimakowe mogą być stosowane do spieniania tworzyw sztucznych.

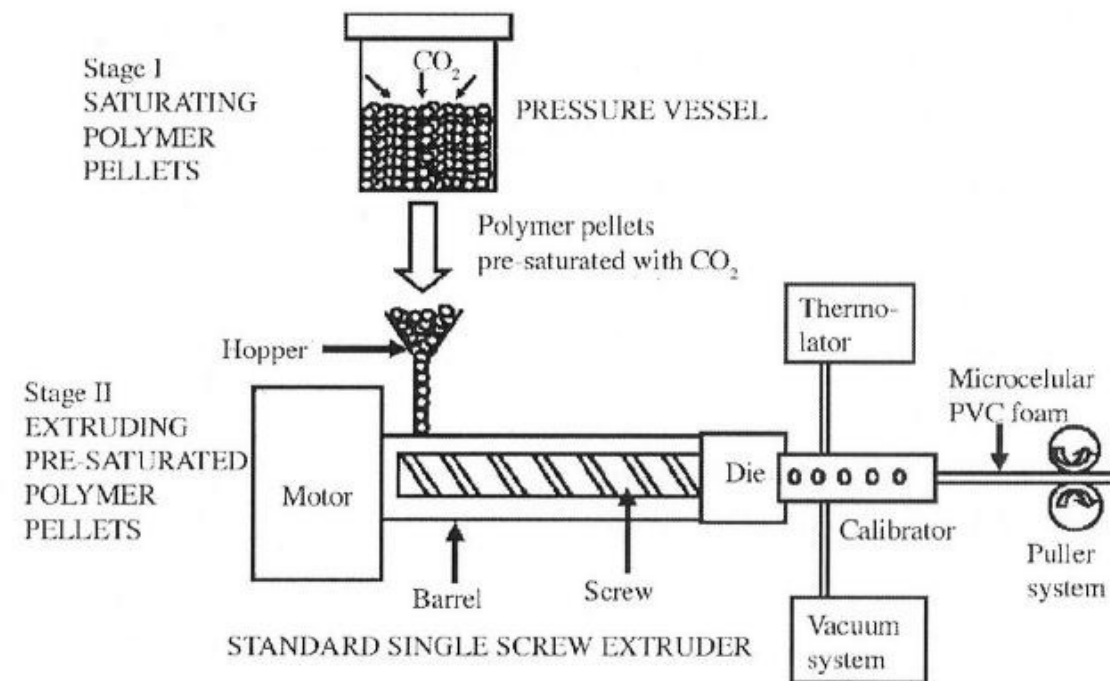
W typowym procesie spieniania wytłaczanego gaz spieniający jest najpierw wtryskiwany do beczki i mieszany z polimerem w celu utworzenia jednorodnego roztworu.

Kiedy jednorodna mieszanina polimerowo-gazowa przechodzi przez matrycę, szybki spadek ciśnienia indukuje separację faz i zarodkowanie komórek.

Spadek ciśnienia, a zwłaszcza szybkość spadku ciśnienia, jest główną siłą napędową zarodkowania komórek.

Dodatkowa matryca kształtująca służy do kontrolowania kształtu produktu i rozszerzania piany.

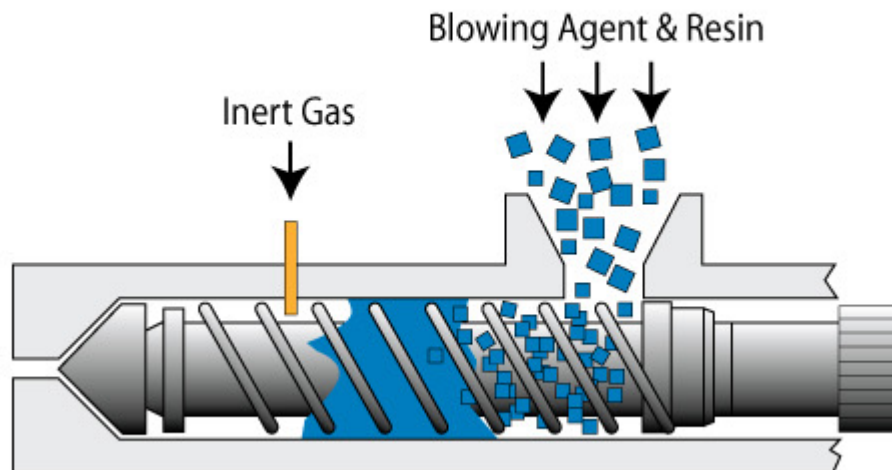
Spienione materiały nadal się rozszerzają, aż temperatura wytłaczania będzie niższa niż T_g , a produkt piankowy zostanie zeszlony.



Spienianie - Technologia formowania

Można zastosować dwa rodzaje technologii formowania:

1. W procesie niskociśnieniowym forma jest wypełniona 80 do 95 % stopionym gazem polimerowym. Poprzez nieobjawowe wypełnienie wnęki (80 – 95 %) i spadek ciśnienia w formie stop może się rozszerzyć i wypełnić pozostałą objętość formy. Nazywa się to procesem niskiego ciśnienia, ponieważ ciśnienie wnęki pozostaje stosunkowo niskie. Stopień spienienia mieści się w zakresie od 5 do 20 %.
2. W procesie wysokociśnieniowym (znanym również jako "precyzyjne otwieranie formy" lub "technologia form oddechowych") pianki strukturalne o niższej gęstości mogą być wytwarzane przez formy o zmiennej wnęcie (pionowa powierzchnia błysku). Wnętka formy jest całkowicie wypełniona stopionym polimerem, a następnie natychmiast otwierana o kilka milimetrów. Przez ten otwór wnęki następuje spadek ciśnienia, a stop jest w stanie się pnieć. Otwarcie odbywa się poprzez odciążenie zespołu zaciskowego ("Core Back").



Core Back

<https://www.youtube.com/watch?v=rnQHbBle6AE>

Pienienie - dlaczego warto używać pianki chemicznej

- Obniża koszty
- Mniejsze zużycie materiału
- Zmniejsza wagę
- Eliminuje pochłaniacz
- Ulepszone drukowanie na płaskich powierzchniach
- Wyższa wydajność produkcji
- Niższe temperatury przetwarzania
- Krótszy czas cyklu
- Zmniejsza zużycie energii przez maszynę
- Poprawia izolację termiczną
- Poprawia izolację akustyczną
- Łatwa skalowalność
- Stabilny i powtarzalny
- Prosty proces, łatwy do karmienia
- Łatwy koszt uruchomienia
- Łatwy w użyciu dodatek
- Nie są wymagane żadne modyfikacje sprzętu
- Dysze odcinające są zaletą w formowaniu wtryskowym

Wady

Są nietożnymi produktami ubocznymi polimeru nośnikowego (przedmieszki), które pozostają w urządzeniu. Dlatego opór mechaniczny może zostać obniżony i może wystąpić przedwczesna awaria elementu.



PACKALL

PackAlliance:
European alliance for innovation training
& collaboration towards future packaging

Linking Academy to Industry.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



Copyright: CC BY-NC-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

With this license, you are free to share the copy and redistribute the material in any medium or format. You can also adapt remix, transform and build upon the material.

However only under the following terms:

Attribution — you must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

NonCommercial — you may not use the material for commercial purposes.

ShareAlike — if you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

No additional restrictions — you may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

This project has been funded with support from the European Commission.

This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

