

# NOWOCZESNE TECHNOLOGIE – EGZAMIN

## • Arkadiusz Klimczyk

1. Klasyfikacja procesów metalurgicznych.
2. Materiały wsadowe i paliwa w procesach metalurgicznych (rudny, odpady, paliwa, złom, etc...).
3. Technologie przygotowania materiałów wsadowych do procesów metalurgicznych.
4. Ciągi technologiczne produkcji wyrobów końcowych.
5. Technologie produkcji metali i stopów na poszczególnych etapach procesów.
6. Kierunki rozwoju procesów metalurgicznych a ekologia i ochrona środowiska.

## • Piotr Migas

1. Technologie alternatywne oraz wodorowe produkcji surowego żelaza.
  - Rodzaje nowych technologii alternatywnych, wady, zalety
  - Charakterystyki wybranych technologii np.: Corex, Hyl III, Hlsmelt, Hybrit
2. Wytwarzanie proszków metali, materiały wsadowe, typy technologii atomizacyjnych (m.in. z ciekłych stopów metali, inne)
  - Rodzaje technologii oraz metody atomizacji stopów metali
  - Cechy jakościowe, behawioralne proszków metali
3. Odpady w procesach metalurgicznych, recykling odpadów oraz możliwości ich utylizacji.
  - Rodzaje powstających odpadów, charakterystyki
  - Miejsca ich powstawania w ciągach technologicznych produkcji żelaza, stali, miedzi
  - Możliwości recyklingu oraz utylizacji

## • Beata Dubiel

1. Prasowanie, spiekanie i formowanie wtryskowe proszków metali
2. Mechaniczna synteza
3. Podstawowe procesy wytwarzania przyrostowego wyrobów metalowych
4. Metody bezwiązkowe wytwarzania przyrostowego wyrobów metalowych
5. Spiekanie, stapianie i osadzanie laserowe
6. Technologie wytwarzania przyrostowego wykorzystujące wiązkę elektronów
7. Wytwarzanie przyrostowe z wykorzystaniem łuku elektrycznego i plazmy
8. Procesy drukowania 3D z ciekłego metalu, technologie Binder jet i FDM
9. Metody wytwarzania nanomateriałów top-down i bottom-up
10. Formowanie polimerów termoplastycznych i termoutwardzalnych
11. Formowanie elastomerów
12. Kompozyty umocnione dużymi cząstkami i cząstkami dyspersyjnymi
13. Wytwarzanie i właściwości kompozytów wzmacnianych włóknami
14. Wytwarzanie wyrobów ceramicznych
15. Właściwości układów o wielkościach nanometrycznych

**1. Podział procesów metalurgicznych:**

- A. Procesy cieplne, procesy fizyczne, procesy mechaniczne
- B. Procesy piroetalurgiczne, elektrometalurgiczne, hydrometalurgiczne oraz metalurgia proszków
- C. Przeróbka plastyczna, spiekanie, spalanie, ługowanie

**2. Rodzaje surowców metalurgicznych:**

- A. Surowce metalodajne (np. rudy, namiastki rud, atom metaliczny), topniki, paliwo
- B. Rudy metaliczne, rudy niemetaliczne
- C. Rudy wielometaliczne, paliwo

**3. Składniki paliw stałych:**

- A. Składniki węglowe, domieszki substancji mineralnych
- B. Domieszki obniżające zawartość składników palnych, siarka w postaci soli
- C. Składniki palne, domieszki obojętne, domieszki szkodliwe

**4. Własności fizyko-chemiczne węgla:**

- A. Twardość węgla, spiekalność węgla, odgazowanie węgla
- B. Plastyczność węgla, wydymanie się węgla, spiekalność węgla, odgazowanie węgla
- C. Jakość węgla, twardość węgla, spiekalność węgla, odgazowanie węgla

**5. Metody otrzymywania stali dzielimy na:**

- A. Procesy konwertorowe, proces martenowski (historyczny), procesy elektrotermiczne
- B. Proces wielopieczowy, proces konwertorowy z dolnym dmuchem, procesy elektrotermiczne
- C. proces martenowski (historyczny), proces konwertorowy z górnym dmuchem, procesy w piecach indukcyjnych

**6. Ostatnim etapem technologicznym produkcji stali jest jej odlewanie:**

- A. na maszynie do ciągłego odlewania stali (COS)
- B. do form końcowych
- C. klasyczne do wlewnic bądź na maszynie do ciągłego odlewania (COS)

**7. Wskaż poprawne sformułowania:**

- A. Żadne sformułowanie nie jest poprawne
- B. Stal uspokojona - odtleniona dostateczną ilością Si, Mn, Al. Stal półuspokojona - częściowo w ogóle nie odtleniona, Stal nieuspokojona - odtleniona w niewielkim stopniu Mn
- C. Stal uspokojona - odtleniona dostateczną ilością Si, Al. Stal nieuspokojona – w ogóle nieodtleniona

**8. Stopy żelaza to:**

- A. Surówki, Stale, Żeliwa, Staliwa, Żelazostopy
- B. Stal stopowa i niestopowa
- C. Stale konstrukcyjne, narzędziowe, przemysłowe oraz o szczególnych właściwościach

**9. Czynnikiem decydującym o rodzaju przeróbki plastycznej jest tak zwana:**

- A. temperatura topnienia
- B. temperatura Curie
- C. temperatura rekrytalizacji

10. Jedną z klasyfikacji procesów przeróbki plastycznej dotyczy rodzaju ruchu względnego. Należy do niej:

- A. Kształtowanie powierzchniowe, kształtowanie jako bryły, kształtowanie powłok
- B. walcowanie, ciągnięcie, kucie, tłoczenie
- C. wgłębianie, przesuwanie, zakrzywianie

11. Rodzaje procesów kucia:

- A. Kucie swobodne, kucie półswobodne, kucie matrycowe, kucie złożone
- B. Spęczanie, wydłużanie, wyciskanie, odlewanie
- C. Proces cięcia, proces kształtowania

12. Odgazowanie ciekłej stali. Do procesów próżniowych należą:

- A. Proces wielkopiecowy i proces stalowniczy
- B. Proces konwertorowy i ciągłe odlewanie (COS)
- C. Proces odgazowania strumieniowego, proces odgazowania komorowego, proces odgazowania obiegowego

13. Wielki piec jest agregatem

- A. do produkcji stali
- B. pracy ciągłej w przeciwnym kierunku
- C. do wytwarzania spieku

14. Do paliw zastępczych stosowanych na skale przemysłową w procesie wielkopiecowym należą:

- A. Gaz ziemny, olej, pył węglowy, mieszanka oleju z węglem
- B. Drewno, papier, odpady palne, odpady komunalne, węgiel drzewny
- C. Żadne z powyższych

15. BAT (Najlepsze Dostępne Techniki - Best Available Technology) to:

- A. Najbardziej efektywny oraz zaawansowany poziom technologii czysto teoretyczny, wykorzystywany jako podstawa granicznych wielkości emisyjnych mających na celu zapobieganie emisjom i wpływu na środowisko.
- B. Instrument formalno-prawny wprowadzony do prawa unijnego Dyrektywą Unii Europejskiej nr 96/61/WE zwana Dyrektywa IPPC wydaną w 1996 roku, natomiast do prawa polskiego zostały, transponowane (dostosowane) ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawa ochrony środowiska. Techniki te wymagane są przy prowadzeniu instalacji, której funkcjonowanie może powodować znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych lub środowiska jako całości.
- C. Najbardziej efektywny oraz zaawansowany poziom technologii i metod prowadzenia danej działalności wykorzystywany jako podstawa granicznych wielkości emisyjnych mających na celu zapobieganie emisjom lub, jeżeli jest to praktycznie niemożliwe, ograniczenie emisji i wpływu na środowisko jako całość.

- **Piotr Migas**

1. Technologie alternatywne oraz wodorowe produkcji surowego żelaza.

- a. Rodzaje nowych technologii alternatywnych, wady, zalety,
- b. Charakterystyki wybranych technologii np.: Corex, Hyl III, Hlsmelt, Hybrit,

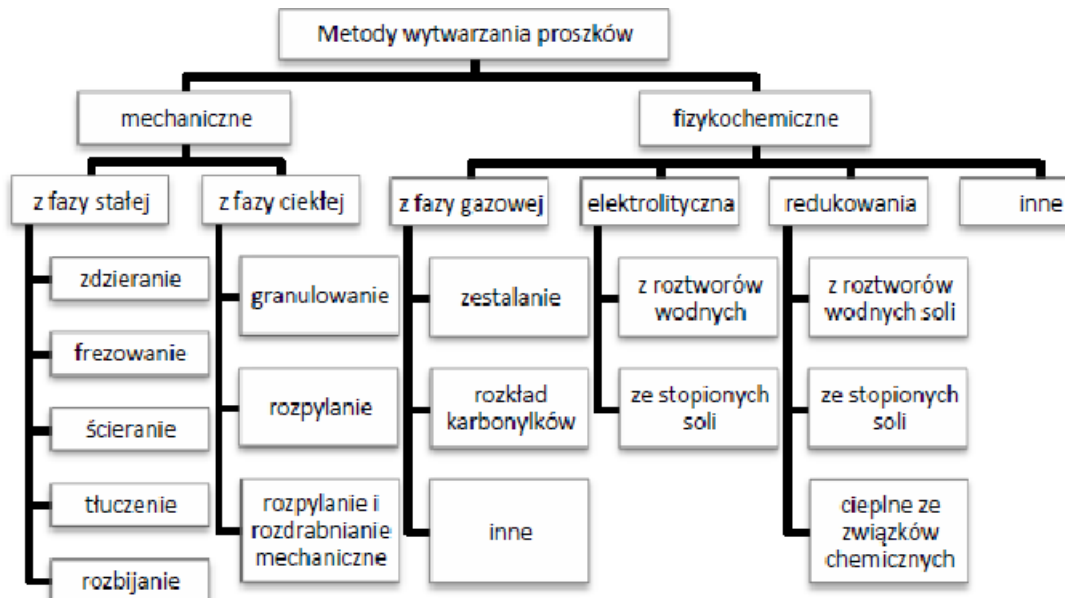
2. Wytwarzanie proszków metali, materiały wsadowe, typy technologii atomizacyjnych (m.in. z ciekłych stopów metali, inne).
  - a. Rodzaje technologii oraz metody atomizacji stopów metali,
  - b. Cechy jakościowe, behawioralne proszków metali
3. Odpady w procesach metalurgicznych, recycling odpadów oraz możliwości ich utylizacji.
  - a. Rodzaje powstających odpadów, charakterystyki,
  - b. Miejsca ich powstawania w ciągach technologicznych produkcji żelaza, stali, miedzi,
  - c. Możliwości recyklingu oraz utylizacji

- **Beata Dubiel**

1. Prasowanie, spiekanie i formowanie wtryskowe proszków metali

Etapu procesu wytwarzania wyrobów z proszków metali:

- 1) Wytwarzanie i rozdrabnianie proszku



Do rozdrabniania proszku najczęściej stosuje się młyny kulowe, wypełnione kulami stalowymi i proszkiem. W wyniku oddziaływania kul na materiał następuje rozdrobnienie proszku.

Właściwości proszku:

- Skład chemiczny – zdolność do zagęszczania i spiekania
- Kształt cząstek proszku - sypkłość proszku oraz jego podatność do formowania
  - Sferoidalny - rozpylanie gazem obojętnym, wodą, ultradźwiękami, rozkład karbonylków metali  $Me_n(CO)_m$
  - Gąbczasty, strzępiasty – redukcja
  - Dendrytyczny – elektroliza
  - Talerzykowaty, wielościenny - Rozdrabnianie mechaniczne w młynach wirowo-udarowych, wibracyjnych lub kulowych
  - Płatkowy - Rozdrabnianie mechaniczne w młynach

- Gęstość nasypowa - stosunek masy proszku zasypanego przez znormalizowany przyrząd do objętości zajmowanej przez ten proszek ( luźny układ cząstek )
- Sypkość proszku – decyduje o szybkości i jednorodności wypełnienia matrycy
- Zagęszczalność proszku - podatność do zmniejszenia objętości w wyniku prasowania w matrycy

## 2) Prasowanie proszków

- za pomocą sztywnych narzędzi (stempli)
- izostatyczne, które polega na zagęszczaniu proszku umieszczonego w formie odkształcalnej
  - na zimno
    - a) w matrycy mokrej
    - b) w matrycy suchej
  - na gorąco
    - a) napełnianie pojemnika
    - b) odpowietrzenie próżniowe
    - c) prasowanie izostatyczne na gorąco
    - d) usunięcie pojemnika

Podczas prasowania izostatycznego proszek umieszcza się w pojemniku, który po odpompowaniu powietrza szczelnie się zamyka. Pojemnik umieszcza się w komorze wysokociśnieniowej, w której w temperaturze spiekania proszku pojemnik jest ściskany przez gaz lub ciecz pod wysokim ciśnieniem.

## 3) Spiekanie proszków

Polega na wygrzewaniu proszku lub uformowanej wypraski przez określony czas w odpowiedniej temperaturze i atmosferze. W wyniku procesów fizykochemicznych zachodzących podczas spiekania otrzymuje się materiał spiekany, odznaczający się pewną spoiistością (w przypadku proszku) lub zwiększoną wytrzymałością wypraski. Wypraski (kształtki) są spiekane w celu uzyskania żądanej mikrostruktury i właściwości.

Dyfuzja atomów po powierzchni cząstek proszków do punktów, w których cząstki się stykają prowadzi w początkowym okresie spiekania do tworzenia mostków między cząstkami. Dzięki niej po powierzchniach cząstek i utworzonych granicach między cząstkami zachodzi kurczenie się porów, ich zaokrąglanie i wzrost gęstości wyrobu.

Podczas spiekania wymiary wypraski znacznie się zmniejszają. W celu ograniczenia do minimum obróbki wykańczającej należy przy opracowaniu technologii dokładnie określić zmiany wymiarów spowodowane skurczem.

Określone są przez: temperaturę, czas spiekania i skład chemiczny atmosfery pieca

Rodzaje spiekania:

- w fazie stałej - prowadzone w zakresie 0,4–0,8 temperatury topnienia metalu spiekanego
- z udziałem fazy ciekłej - w temperaturze, w której część składników mieszanki proszkowej przechodzi w stan ciekły
- z udziałem zanikającej fazy ciekłej - gdy składniki mieszanki proszkowej tworzą roztwory w stanie stałym (np. Fe-Cu, Fe-P, Cu-Sn) i zachodzi dyfuzja składnika ciekłego w głąb fazy stałej

Wyroby otrzymywane przez prasowanie i następnie spiekanie zawierają pory powodujące, że ich wytrzymałość na rozciąganie jest mała. Ilość i wielkość porów w wyrobach można znacznie zmniejszyć poprzez jednoczesne prasowanie i spiekanie (prasowanie na gorąco).

Ostatnim etapem jest OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA

### **Formowanie wtryskowe**

Ang. Metal Injection Moulding (MIM) pozwala na seryjną produkcję elementów:

- o dowolnej geometrii (zróżnicowanych kształtach i wymiarach)
- o dużej odporności na obciążenia
- z wykorzystaniem dowolnych proszków metali

Etapy wytwarzania w procesie MIM:

1. mieszanie proszku z lepiszczem termoplastycznym
2. formowanie poprzez wtryskiwanie mieszaniny do formy
3. usuwanie lepiszcza
4. spiekanie

## **2. Mechaniczna synteza**

MA to metoda otrzymywania stopów z proszków czystych metali i proszków przedstopowych w procesie mielenia w wysokoenergetycznych młynach kulowych w atmosferze gazu obojętnego, najczęściej argonu. Jest powtarzającym się procesem zgrzewania, kruszenia oraz ponownego zgrzewania cząstek proszków.

Wytwarza się tą metodą :

- stopy na osnowie faz międzymetalicznych
- stopy pierwiastków wzajemnie nierozpuszczalnych w stanie ciekłym lub stałym, a także o różniącej się znacznie temperaturze topnienia
- stopy umocnione dyspersyjnie tlenkami (ODS) na osnowie niklu, żelaza i aluminium
- materiały amorficzne
- kompozyty na osnowie metalowej
- stopy nanokrystaliczne
- wysokotopliwe azotki, węgliki, borki i tlenki

## **3. Podstawowe procesy wytwarzania przyrostowego wyrobów metalowych**

### ❖ WAM - Wire Arc Additive Manufacturing

Drut metalowy jest stopiony za pomocą łuku elektrycznego i наносzony na podłoże w celu tworzenia warstw. Jest to stosunkowo szybki i ekonomiczny proces, który umożliwia produkcję dużych, metalowych elementów.

### ❖ EBFFF - Electron Beam Freeform Fabrication

Proces, w którym wiązka elektronowa jest używana do stopienia i nanoszenia metalu w postaci drutu lub proszku. Wiązka elektronowa jest skierowana na powierzchnię podłoża, powodując topnienie metalu i tworzenie warstw.

EBFFF umożliwia produkcję trójwymiarowych, metalowych struktur o skomplikowanych kształtach.

#### ❖ DMD - Direct Metal Deposition

Metalowy proszek jest наносzony za pomocą strumienia nośnika (np. gaz lub proszek) i stopiony za pomocą wiązki laserowej lub łuku plazmowego.

Metoda ta pozwala na naprawę, naprawę awaryjną lub tworzenie struktur metalowych z użyciem różnych materiałów i wielu osi.

#### ❖ LENS - Laser Engineered Net Shaping

Wykorzystuje skierowany laser do stopienia i nanoszenia metalowego proszku na podłożu. Laser jest skanowany po powierzchni, a stopiony metal tworzy warstwy, tworząc pożądane geometryczne struktury.

LENS jest stosowany do naprawy uszkodzonych elementów, napraw awaryjnych oraz tworzenia kompleksowych części metalowych.

#### ❖ LC - Laminated Composite Manufacturing

Polega na warstwowym składaniu i łączeniu cienkich folii metalowych. Każda warstwa jest wycięta lub sfałdowana w odpowiedni kształt, a następnie łączona z poprzednimi warstwami, tworząc trójwymiarowy model.

LC może być stosowane do produkcji metalowych kompozytów, struktur złożonych i mikrosystemów.

#### ❖ SLM - Selektywne spiekanie laserowe

Polega na stopniowym topieniu i spajaniu metalowego proszku za pomocą skierowanego lasera. Laser jest skanowany po warstwie proszku, tworząc kolejne warstwy, aż do uzyskania pożądanego kształtu wyrobu. Jest to jedna z najbardziej popularnych technologii wytwarzania przyrostowego dla metali

#### ❖ EBM - Electron Beam Melting

Wykorzystuje wiązkę elektronową do stopienia i splotu metalowego proszku. Wiązka elektronowa jest skierowana na warstwę proszku, powodując stopienie i spajanie metalu.

EBM jest wykorzystywane do produkcji metalowych części o złożonych kształtach, a także do tworzenia biokompatybilnych implantów medycznych.

#### ❖ DMLS - Direct Metal Laser Sintering

Wykorzystuje laser do stopienia i splotu metalowego proszku. Laser jest skierowany na warstwę proszku, który jest lokalnie stopiony i utwardzany, tworząc kolejne warstwy materiału.

DMLS jest powszechnie stosowany w przemyśle do produkcji metalowych prototypów, narzędzi, a nawet końcowych produktów

#### 4. Metody bezzwiązkowe wytwarzania przyrostowego wyrobów metalowych

##### ❖ SIS - Selective Inhibition Sintering

Polega na bezpośrednim stopieniu metalowych cząstek proszku w odpowiednich miejscach za pomocą lasera lub wiązki elektronowej. Proces ten wykorzystuje dodatkowe inhibitory, które utrzymują określone obszary w stanie sypkim podczas spiekania. Pozostałe obszary są stopione, co pozwala na tworzenie warstw i budowanie wyrobu metalowego.

##### ❖ SDM - Sheet Lamination

Składanie cienkich arkuszy metalu lub folii w warstwy i łączeniu ich za pomocą technik spajania lub zastosowania energii termicznej. Warstwy są stopniowo nakładane na siebie, a następnie spajane lub utwalane, tworząc trójwymiarowy wyrob metalowy. Metoda ta jest często stosowana do wytwarzania prototypów i modeli metalowych

##### ❖ EFAB - Electrochemical Fabrication

Wykorzystuje procesy elektrochemiczne do stopienia i nanoszenia metalu na podłoże. Metoda ta wykorzystuje kontrolowany przepływ prądu elektrycznego, aby wydzielanie metalu w postaci jonów i ich osadzanie na podłożu. Poprzez kontrolę procesu elektrochemicznego, możliwe jest tworzenie warstw i budowanie trójwymiarowych wyrobów metalowych.

##### ❖ 3DP - 3D Printing

Ogólna nazwa dla technologii druku 3D, która obejmuje różne metody wytwarzania przyrostowego, w tym także dla metalu. W przypadku wytwarzania przyrostowego wyrobów metalowych, proces 3DP wykorzystuje metalowy proszek lub drut, który jest stopiony lub skonsolidowany za pomocą lasera lub wiązki elektronowej, aby tworzyć warstwowe struktury metalowe.

##### ❖ S3DP - Selective 3D Printing

Pozwala na selektywne nanoszenie materiałów na podłoże. Może obejmować nanoszenie proszku metalowego lub innych materiałów, takich jak ceramika czy polimer, w wybranych miejscach za pomocą drukarki 3D. Następnie materiał jest utwalany, tworząc warstwowe struktury.

##### ❖ CSAM - Cold Spray Additive Manufacturing

Natrysk cząstek metalowych w stanie sypkim na podłoże przy użyciu sprężonego gazu. W procesie CSAM cząstki metalu są przyspieszane do dużych prędkości, a następnie nanoszone na podłoże. Energia kinetyczna cząstek powoduje ich adhezję i utwardzenie, tworząc warstwowe struktury metalowe.

##### ❖ AFSD - Adaptive Freeform Solidification

Wykorzystuje energetyczną wiązkę elektronów do stopienia i spajania metalowego drutu lub proszku. W procesie AFSD, wiązka elektronów jest skanowana po powierzchni, stopiąc metal i tworząc warstwy. Metoda ta umożliwia tworzenie trójwymiarowych, metalowych struktur o złożonych kształtach.

##### ❖ UAM - Ultrasonic Additive Manufacturing



Wykorzystuje ultradźwięki do stopienia i spajania metalowych folii. Proces UAM polega na nakładaniu cienkich warstw metalowych folii na podłoże, a następnie ich spajaniu za pomocą ultradźwięków. Powtarzając ten proces warstwowo, można tworzyć trójwymiarowe wyroby metalowe o złożonej geometrii.

❖ FSAM – Freeform Selective Area Metallurgy

Selektywne nanoszenie metalu w określonych obszarach. Proces FSAM polega na wykorzystaniu wiązki laserowej lub wiązki elektronowej, aby stopić metalowy drut lub proszek w celu naniesienia go na podłoże w wybranych miejscach.

❖ Liquid metal jetting

❖ Nanoparticle injet printing

❖ Aoerosol jest process

## 5. Spiekanie, stapianie i osadzanie laserowe

Procesy przyrostowe z wykorzystaniem lasera dzielimy na:

- Spiekanie laserowe (laser sintering) - łączy proszkowe cząstki
- Stapianie laserowe (laser melting) - topi metal w celu tworzenia pożądanych kształtów
- Osadzanie laserowe (laser deposition) - nanosi warstwami materiał na podłoże w celu budowy trójwymiarowych przedmiotów

### LPBF

Cząstki proszku materiału metalicznego w zależności od mocy lasera są topione tylko w strefie przypowierzchniowej lub ulegają w całości topieniu. Poprzez topienie w strefie przypowierzchniowej cząstki proszku ulegają połączeniu poprzez spiekanie (ang. Selective Laser Sintering, SLS). Gdy cząstki proszku są w całości topione, ich połączenie następuje wskutek ich przetapiania (ang. Selective Laser Melting, SLM)

**Oddziaływanie skupionego źródła energii z powierzchnią warstwy proszku:**

- Skupiona wiązka energii oddziałuje z warstwą proszku i tworzy się jezioro ciekłego metalu
- Efektami towarzyszącymi topieniu proszku i przemieszczaniu się wiązki, a z nią jeziora, są:
  - parowanie ciekłego metalu
  - odrywanie się od jeziora kropel ciekłego metalu
  - odrywanie się od powierzchni krystalizującej warstwy odprysków metalu w stanie stałym

## 6. Technologie wytwarzania przyrostowego wykorzystujące wiązkę elektronów

Wiązka elektronów jest używana w selektywnym spajaniu warstw proszku (**PBF - EB**), a także osadzenie z topnieniem skupioną wiązką energii (**EBDED**).

### PBF

Proces wytwarzania przyrostowego PBF (selektywne spajanie warstw proszku) stosuje się dla większości wyrobów o małych rozmiarach i małej chropowatości ich powierzchni. Materiał podawany

jest w postaci proszku warstwa po warstwie i następnie w kolejnych warstwach jest selektywnie spajany skupioną wiązką energii. Źródłem energii do spajania proszku jest wiązka lasera lub elektronów.

#### Proces EBPBF

- Źródłem energii jest wiązka elektronów emitowana z działa elektronowego i przyspieszana napięciem o wartości 30 – 60 kV o ostatecznej mocy między 50 – 1000 W
- W kolumnie elektronowej występuje obniżone ciśnienie – próżnia ma wartość co najmniej  $10^{-4}$  Pa i zapobiega rozpraszaniu się elektronów na cząstkach gazów zawartych w powietrzu
- W komorze wytwarzania wyrobów jest obniżone ciśnienie o wartości około 0,2 Pa
- Następnie wprowadza się do komory niewielką objętość helu dla ograniczenia parowania niektórych składników ciekłego metalu
- Tolerancja wymiarowa 0,06 – 0,2 mm
- Prędkość skanowania 10 – 1000 mm/s
- Materiał wsadowy to proszek

#### DED

Większe elementy o mniejszej dokładności ich wymiarów zazwyczaj wytwarza się w procesie DED (ukierunkowanego osadzania z topieniem skupioną wiązką energii) – szybszym i tańszym, zwłaszcza przy użyciu materiału wsadowego w postaci drutu. Proces DED z zastosowaniem proszku ma mniejszą wydajność w porównaniu do procesu z użyciem drutu. Zaletą procesu DED jest możliwość stosowania do osadzania warstw zarówno na powierzchni płaskiej, jak również na powierzchni o różnej krzywiznie. Stąd proces ten jest stosowany zarówno do wytwarzania nowych wyrobów, jak również do regeneracji uszkodzonych elementów maszyn.

#### Proces EBDED

- Materiał wsadowy to proszek lub drut
- Moc między 1000 – 20 000 W
- Prędkość skanowania 1 – 10 mm/s
- Tolerancja wymiarowa 1,0 – 1,5 mm

### 7. Wytwarzanie przyrostowe z wykorzystaniem łuku elektrycznego i plazmy

Oba są wykorzystywane w celu ukierunkowania osadzenia z topieniem skupioną wiązką energii (DED).

#### Łuk elektryczny to GMA DED.

Metalowy drut jest stopniowo podgrzewany za pomocą łuku elektrycznego, który topi i osadza materiał, tworząc trójwymiarowe obiekty. Proces ten jest wykorzystywany do wytwarzania dużych i wytrzymałych metalowych konstrukcji, takich jak części samolotów, narzędzia przemysłowe i formy odlewnicze.

#### Plazma to PA DED.

Wykorzystuje plazmę do topienia i osadzania materiału. Plazma to jonizowany gaz, który jest podgrzewany za pomocą elektrycznego łuku, tworząc bardzo wysoką temperaturę. Dzięki temu procesowi można tworzyć trójwymiarowe obiekty z metalu, ceramiki lub innych materiałów, które są odporne na wysokie temperatury, takie jak elementy termiczne czy części silników

Dla obu:

- Materiał wsadowy to drut

- Moc między 1000 – 3000 W
- Prędkość skanowania 5 – 15 mm/s
- Tolerancja wymiarowa 1,0 – 2,0 mm

## 8. Procesy drukowania 3D z ciekłego metalu, technologie Binder jet i FDM

### FDM

Technologia FDM nazywana potocznie „drukowaniem 3D z filamentu”. W procesie FDM materiałem wsadowym są tworzywa sztuczne termoplastyczne, które przy określonej wartości temperatury i ciśnienia mają właściwości lepkiego płynu. Wytwarzane przez nakładanie kolejnych warstw półpłynnego materiału, który jest wytłaczany („ekstrudowany”) z podgrzewanej dyszy. Materiał ma formę żyłki o stałej średnicy (1,75 mm lub 2,85 mm) nawiniętej na szpulę – jego zwyczajowa nazwa to „filament”.

Kroki składające się na FDM:

- Szpula z filamentem jest zawieszana na ramieniu drukarki 3D
- Prowadzony przez rurkę filament
- Ekstruder - mechanizm złożony z koła zębatego i łożyska, pomiędzy które wprowadzana jest żyłka filamentu
- Łożysko jest dociskane do koła zębatego za pomocą sprężyny. Koło zębate jest poruszane przez silnik krokowy, który wprowadza filament do głowicy drukującej drukarki 3D
- Głowica drukująca jest rozgrzewana do temperatury potrzebnej przetopić dany filament (w większości 190 - 260°C), porusza się nad stołem roboczym w osiach XY
- filament jest przekształcany do stanu półpłynnego – wystarczającego by móc „rysować” kształt na stole roboczym drukarki 3D
- Filament który zostaje wyekstrudowany na stół roboczy – praktycznie od razu zastyga (na podgrzany stole zostaje plastyczny)
- Gdy nałożona jest pierwsza warstwa, w zależności od konstrukcji drukarki 3D stół roboczy opuszcza się lub głowica podnosi się, w osi Z i nakładana jest kolejna warstwa modelu 3D

### **FDMet**

Wykorzystany proces FDM w celu wydruku wyrobów metalowych. Dla zapewnienia odpowiedniej spójności i kształtu wyrobów wytwarzanych metodą FDM konieczne jest odpowiednie przygotowanie materiału wsadowego oraz dobranie parametrów drukowania. Pojęcie „extrudability” = wytłaczalność odnosi się do filamentów z proszkami metali. Obecnie dostępne są filamety zawierające proszki różnych metali i stopów z lepiszczem PLA oraz ABS, które można stosować w każdej drukarce 3D FDM. Koszt wydruku FDMet jest mniejszy niż w przypadku PBF i DED, ale mają gorsze właściwości, zwłaszcza mechaniczne.

Do procesu FDMet nie jest potrzebna forma, tylko filament będący mieszaniną proszku metalu z lepiszczem. Po wydrukowaniu wyrób poddaje się wygrzewaniu w celu usunięcia lepiszcza, a następnie spiekaniu.

Lepiszczka używane w filamentach z metalem:

#### ➤ **PLA poliaktyd, kwas polimlekowy**

Jest w pełni biodegradowalnym termoplastycznym poliestrem. Otrzymywany z odnawialnych surowców naturalnych jak np.: mączka kukurydziana. Jako filament ma mniejszą temperaturę

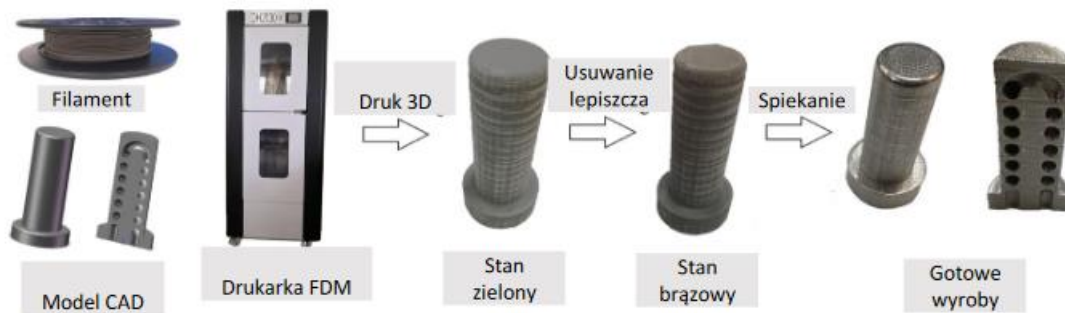
topnienia (150-180°C) niż ABS i jest od niego bardziej kruchy, przy tym nie wymaga podgrzewanego stołu w procesie wydruku

#### ➤ **ABS akrylonitrylo-butadieno-styren**

Tworzywo amorficzne służące między innymi jako filament. Materiał posiada dużą twardość, jest odporny na zarysowania, bardzo dobre właściwości izolacyjne. Materiał jest mniej kruchy niż PLA, jednakże potrzebuje wyższej temperatury między 215-250 °C do roztopienia

Kroki składające się na FDMet:

- Drukowanie z filamentu (stan „zielony”). Podczas drukowania lepiszcze jest w stanie ciekłym, a cząstki proszku metalowego pozostają w stanie stałym
- Usuwanie lepiszcza (stan „brązowy”). Podczas wygrzewania usuwana jest tylko część lepiszcza. Pozostałe lepiszcze jest niezbędne do utrzymania kształtu wyrobu i zespojenia cząstek proszku
- Spiekanie w wysokiej temperaturze prowadzi do koalescencji cząstek proszku i uzyskania wymaganej gęstości wyrobu



#### **Zalety procesu FDMet**

- ✓ wyroby w stanie „zielonym” mogą być wytwarzane w temperaturze nieco wyższej od temperatury topnienia polimerowego lepiszcza (zazwyczaj poniżej 300°C)
- ✓ Usuwanie lepiszcza i spiekanie w wysokiej temperaturze można przeprowadzać dla wielu wyrobów na raz, co umożliwia obniżenie kosztów zużycia energii

#### **MagnetoJet**

Pierwszym systemem druku 3D z ciekłego metalu oparty na magnetohydrodynamicznym (MHD) wyrzucaniu kropeł na ruchome podłoże.

#### **Proces:**

- Materiał wsadowy jest podawany w postaci drutu topiony indukcyjnie. Pulsujące pole magnetyczne generuje w ciekłym metalu zmienne pole elektryczne, które z kolei generuje magnetohydrodynamiczną siłę Lorentza. Składowa siły działająca wzdłuż promienia komory z ciekłą wytwarza ciśnienie, które wyrzuca krople ciekłego metalu przez otwór
- Wyrzucane krople osadzają się na podłożu, gdzie łączą się i krzepną
- Przy użyciu ruchomego podłoża można tą metodą wytwarzać trójwymiarowe wyroby warstwa po warstwie

## Binder jet

Połączenie technologii formowania w złożu proszkowym (PBF) i natryskiwania.

### Proces:

- Na platformę roboczą nakładana jest warstwa proszku, która jest wyrównywana za pomocą rolki.
- Głowica drukująca z jedną lub kilkoma dyszami, podobna do tej, jaka jest używana w drukarkach atramentowych, porusza się na określonej wysokości nad warstwą proszku wzdłuż ścieżki zadanej dla wykonywanego przekroju budowanego wyrobu w płaszczyźnie X-Y i dozuje krople materiału spoiwa, który wiąże cząstki proszku.
- Platforma robocza obniża się w płaszczyźnie Z, nakładana jest kolejna warstwa proszku, głowica nanosi kolejną ścieżkę spoiwa i proces powtarza się aż do wybudowania gotowego wyrobu.
- Po wydrukowaniu wyrób pozostaje w maszynie do czasu utwardzenia spoiwa. Następnie wydrukowany produkt jest wyjmowany i czyszczony z nadmiaru niezwiązanego proszku za pomocą sprężonego powietrza
- Po wydrukowaniu przeprowadza się obróbkę wykańczającą
- W przypadku wyrobów metalowych po wydrukowaniu przeprowadza się obróbkę wykańczającą obejmującą spiekanie lub infiltrację stopem niskiej temperaturze topnienia.
- Stosowane materiały: stal austenityczna odporna na korozję, nadstopy niklu

### Zalety

- Jest około 10 razy tańszy niż L-DED i L-PBF
- Rozmiary wyrobów mogą być większe niż w przypadku ww. technologii
- Szybkość drukowania jest większa
- Zazwyczaj nie są konieczne struktury podporowe
- Naprężenia własne w wyrobach są dużo mniejsze niż przy użyciu innych technologii
- Technologia jest odpowiednia do produkowania wyrobów metalowych o małej i średniej masie.

### Wady

- Mała wytrzymałość wyrobów, porównywalna z wytrzymałością odlewów ciśnieniowych

## 9. Metody wytwarzania nanomateriałów top-down i bottom-up

### Top – down

Z litego materiału do nanocząsteczek.

Polega na zmniejszeniu wymiarów makroskopowych klasycznego materiału objętościowego w wyniku powszechnie stosowanych mechanicznych metod przetwarzania ciał stałych

### Metody:

- Mielenie
  - Gruboziarnisty materiał w formie proszku jest rozdrabniany między dwoma obracającymi się żarnami ze stali lub węgla wolframu
  - Odbywa się bez dostępu powietrza
  - Duże odkształcenie plastyczne prowadzi do powstania nanostruktury
  - Wykorzystywana na dużą skalę
- Cięcie
- Skrawanie
- Walcowanie na zimno

- Skręcanie pod wysokim ciśnieniem
- Cykliczne wyciskanie ściskujące
- Wyciskanie hydrostatyczne

### **Bottom - up**

Z cząsteczek prekursora do nanocząsteczek (proces agregacji).

Budowanie od podstaw (atom po atomie) - opiera się na budowaniu nanostruktur z atomów lub cząsteczek, wytwarzanie nanomateriałów metalicznych, ceramicznych i polimerowych.

### **Metody:**

- Osadzanie z fazy gazowej
  - Fizyczne (PVD)
    - ✚ Poprzez kondensację par związków na powierzchni substratu
    - ✚ materiał stały przechodzi w gaz, następuje jego chłodzenie i osadzanie na podłożu
  - Chemiczne (CVD)
    - ✚ Otrzymywanie materiałów stałych o dużej czystości
    - ✚ Wykorzystywany do wytwarzania cienkich filmów półprzewodników
    - ✚ Substrat jest eksponowany na działanie jednego lub więcej lotnych prekursorów, które reagują i/lub ulegają dekompozycji na powierzchni substratu powodując powstawanie odpowiednich produktów
    - ✚ Osadzanie na podłożu produktów reakcji w temperaturze od 500-1000°C substancji będących w fazie gazowej
- Metoda zol-żel
- Osadzanie elektrochemiczne
- Strącanie z roztworów
  - Proste i niedrogie
  - Wykorzystywane do produkcji nanokryształów metali i półprzewodników
- Chemiczna redukcja
- Metoda mikroemulsyjna
  - każda kropla stanowi nanoreaktor, w którym mogą zachodzić reakcje w fazie wodnej, w odpowiednim dla kontrolowanego procesu nukleacji i wzrostu cząstek środowisku
- Metoda hydrotermalna

## **10. Formowanie polimerów termoplastycznych i termoutwardzalnych**

### **Polimery termoplastyczne (termoplasty)**

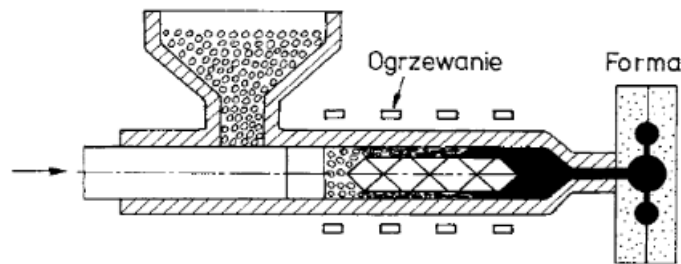
*O budowie liniowej mięknią ze wzrostem temperatury, a po ostudzeniu powtórnie twardnieją. Jest to proces odwracalny i powtarzalny.*

- Formowanie odbywa się zwykle w temperaturze nieco niższej lub wyższej od temperatury topnienia, dlatego ich zachowanie jest zbliżone do gumy lub cieczy
- Jeżeli formowanie odbywa się pod ciśnieniem, to podwyższone ciśnienie musi być utrzymywane do czasu obniżenia temperatury w celu usztywnienia polimeru, aby formowany element nie zmienił kształtu, gdy polimer jest miękki
- Odpady mogą być użyte ponownie do formowania wyrobów -straty surowca są niewielkie
- Techniki formowania:

➤ Przez wtrysk

Proces:

- I. Odpowiednia ilość surowca jest dostarczana w postaci granulek z lejka zasypowego do cylindra. Ładunek jest podgrzewany w komorze grzewczej, gdzie zmienia się w lepłą ciecz
- II. Stopiony polimer zostaje wtłoczony przez dyszę do zimnej formy, w której w miarę stygnięcia staje się coraz bardziej sztywny. Po uzyskaniu odpowiedniej sztywności, wyrób jest wyjmowany z formy

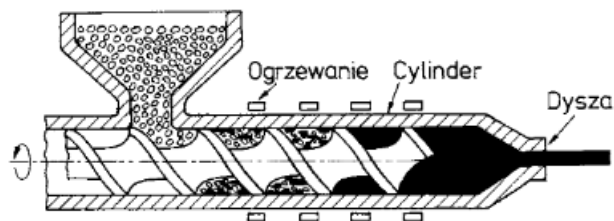


Bardzo powszechny proces wytwarzania termoplastów (analogiczny do odlewania metali pod ciśnieniem do form metalowych). Sieniowanie odbywa się pod ciśnieniem w podgrzewanej formie, co powoduje, że czas formowania jest dłuższy niż czas formowania polimerów termoplastycznych.

➤ Przez wytłaczanie (wyciskanie)

Proces:

- I. Polega na wypychaniu przez dyszę lepkiego polimeru termoplastycznego (podobny do formowania metali przez wyciskanie)
- II. Ślimak przepycha przez komorę grzewczą materiał w postaci granulek, gdzie zachodzi mieszanie, zagęszczanie i topienie, a w dyszy – formowanie lepkiej cieczy
- III. Twardnienie wyciskanego materiału zachodzi pod wpływem nadmuchu powietrza lub strumienia wody tuż za dyszą



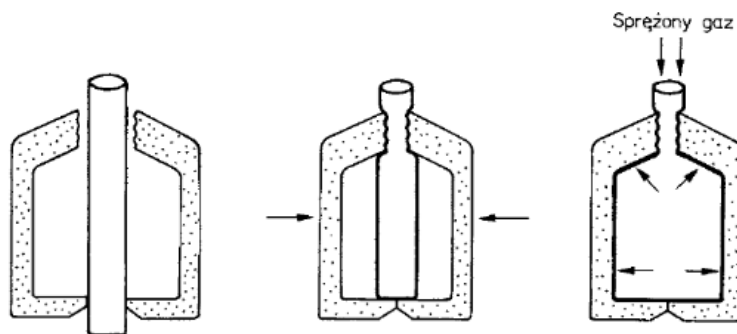
Nadaje się szczególnie do wytwarzania długich wyrobów o stałych przekrojach poprzecznych, np. prętów, rur, taśm, arkuszy lub włókien. może być stosowane do wytwarzania powłok izolacyjnych na drutach i kablach. Cienkie włókna lub folie formuje

się wytłaczając ciekły polimer przez dyszę z bardzo dużą ilością małych otworów lub przez wąskie szczeliny. Ze względu na kształt wyrobu jego chłodzenie i twerdnienie po wytłoczeniu zachodzi bardzo szybko.

➤ Przez rozdmuchiwanie

Proces:

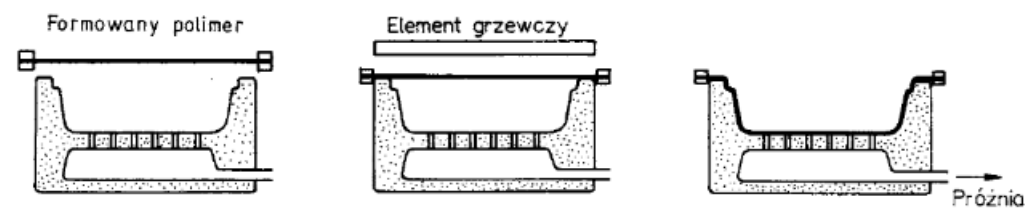
- I. Materiał wyjściowy do produkcji pojemników (butelek) ma kształt rury, którą umieszcza się w dwuczęściowej formie, a następnie wdmuchuje się do niej gaz
- II. Wywierane ciśnienie wymusza odwzorowanie powierzchni formy przez ścianki rury



➤ Przez odkształcenie plastyczne (za pomocą próżni)

Proces:

- I. Arkusz jest zamocowany nad formą, a po nagraniu arkusza włącza się układ próżniowy, który usuwając powietrze z wykroju powoduje formowanie wyrobu



Mogą być również formowane podobnie jak metale. Do formowania wyrobów z arkuszy stosuje się zwykle proces próżniowy.

Formowanie ze wzrostem wytrzymałości polimerów termoplastycznych

Znaczny wzrost wytrzymałości wyrobów z polimerów termoplastycznych jest możliwy dzięki wyciągnięciu makrocząsteczek w kierunku działania sił rozciągających. Podczas eksploatacji włókna i pręty są obciążane siłami rozciągającymi równoległymi do osi włókien czy prętów, dlatego jest korzystnie, jeżeli makrocząsteczki są wyciągnięte równoległe do osi. Folie i arkusze są obciążane siłami rozciągającymi działającymi w ich płaszczyźnie, dlatego korzystnie jest, gdy



makrocząsteczki są rozciągnięte równoległe do płaszczyzny folii. Podczas wytwarzania włókien, prętów, arkuszy i folii należy dążyć do takiego przebiegu procesu formowania, aby w ukształtowanych wyrobach makrocząsteczki miały korzystną orientację.

## Polimery termoutwardzalne (duroplasty)

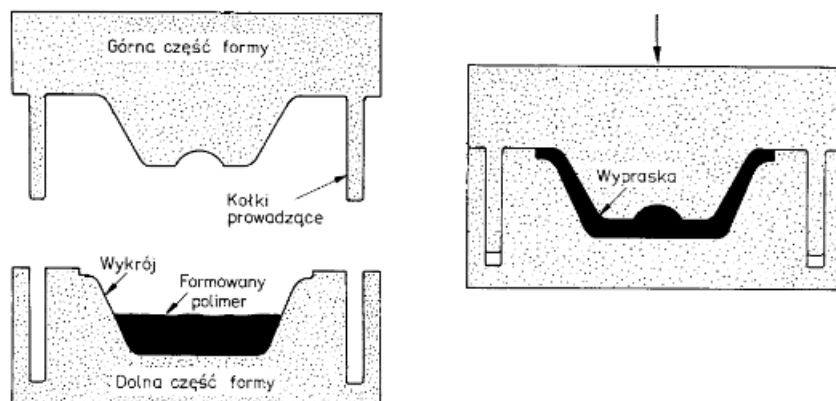
O usieciowanej strukturze cząstek są amorficzne i kruche. Dzielą się na polimery termoutwardzalne i chemoutwardzalne. Poddane odkształceniu zachowują nieodwracalnie swój kształt.

- Utwardzenie w procesie formowania zachodzi dzięki tworzeniu się wiązań poprzecznych (ogranicza możliwości formowania)
- Techniki formowania:

### ➤ Prasowanie

Proces:

- I. Ściśle odmierzona ilość polimeru lub żywicy i utwardzacza, dokładnie wymieszanych z dodatkami, zostaje umieszczona w formie między jej górną a dolną częścią
- II. Obie części formy są podgrzewane
- III. Pod wpływem wywieranego ciśnienia podgrzany polimer płynie, wypełniając wykrój w matrycy



Nie jest odpowiednie do formowania wyrobów o dużych przekrojach lub z dużymi zmianami tych przekrojów, ponieważ żywice charakteryzują się małą przewodnością cieplną (gruby przekrój – ciepło nie dociera, brak pełnego sieciowania). Problem nie występuje przy formowaniu przez wyciskanie do formy (proszek żywicy jest podgrzewany aż do uzyskania plastyczności, potem wyciskany do wykroju, w którym zachodzi sieciowanie). Techniki mogą być stosowane dla termoplastów, ale są bardziej kosztowne i czasochłonne.

### ➤ Wytłaczanie do formy (odlewanie)

Mogą być formowane przez odlewanie do formy (termoplasty też), ale nie jest to specjalnie stosowane. Odlewa się je, gdy istnieje potrzeba wytworzenia niewielkiej liczby

części o takim samym kształcie, a nieopłacalne jest wykonanie drogiego oprzyrządowania koniecznego do użycia przy innych technikach formowania

## 11. Formowanie elastomerów

### Właściwości elastomerów

- po znacznych odkształceniach wracają do swej pierwotnej postaci lub bardzo do niej zbliżonej
- wysoko elastyczne, sprężyste, które dodatkowo charakteryzuje wysoka odporność termiczna (od -40°C do 100°C) i chemiczna
- temperatura mięknienia elastomerów jest niższa od temperatury pokojowej
- termoplastyczne elastomery = termoplastycznymi kauczukami (skrót TPE)
- dzielą się na wulkanizujące i niewulkanizujące
- odpady nie mogą być użyte ponownie do wytwarzania wyrobów
- są formowane poprzez prasowanie z jednoczesnym ogrzewaniem mieszanki elastomeru ze środkiem wulkanizującym
- mieszanki kauczuku i twardych materiałów termoplastycznych, np. poliamidu, polipropylenu, z dodatkiem odpowiednich modyfikatorów i wypełniaczy

### Proces Wulkanizacji

W podwyższonej temperaturze, polega na kowalencyjnym wiązaniu sąsiednich makrocząsteczek, w miejscach nienasyconych wiązań, za pomocą siarki, tlenu, selenu lub telluru

- Prawie każdy gatunek gumy otrzymuje się z kauczuku poprzez wulkanizację. Kauczuk składa się z ułożonych obok siebie bardzo długich łańcuchów - poliolefin
- powoduje tworzenie się stosunkowo niewielkiej liczby mostków chemicznych między tymi łańcuchami, na skutek czego powstaje przestrzenna sieć

### Zastosowanie:

- budownictwo – uszczelki do drzwi i okien, różnego rodzaju podkładki i membrany
- motoryzacja – uszczelki do szyb samochodowych, osłony i pokrywy, maty wewnątrz aut
- sport – akcesoria sportowe, elementy do sprzętu sportowego
- opakowania – trwałe i elastyczne pojemniki na różne produkty
- zabawki

## 12. Kompozyty umocnione dużymi cząstkami i cząstkami dyspersyjnymi

### Kompozyt

Materiał utworzony z co najmniej dwóch komponentów (faz) o różnych właściwościach w taki sposób, że ma właściwości lepsze od możliwych do uzyskania w każdym z komponentów osobno i lepsze od wynikających z prostego sumowania tych właściwości.

Właściwości kompozytów zależą od rodzaju faz składowych, ich udziału i rozmieszczenia oraz sił wiązań na granicy cząstka-osnowa

**Osnowa** – faza ciągła. Odpowiedzialna za przenoszenie naprężeń do fazy wzmacniającej, ochronę przed szkodliwym działaniem otoczenia

Podział od skrótów: **MMC** (metal), **CMC** (ceramika) **PMC** (polimer)

**Faza wzmacniająca** - polepszenie właściwości osnowy

W zależności od rodzaju osnowy powoduje wzrost:

- MMC – wytrzymałości
- CMC – odporności na pękanie
- PMC – modułu Younga i wytrzymałości

#### **Podział kompozytów:**

##### ➤ **Ze względu na pochodzenie**

- Naturalne  
np. drewno, kość
- Zaprojektowane wytwarzane przez człowieka

##### ➤ **Ze względu na osnowę**

- *O osnowie metalowej*

Osnowę stanowią: żelazo i jego stopy, stopy niklu, metale nieżelazne i ich stopy, fazy międzymetaliczne.

Powszechnie stosowane stopy, zapewniające odpowiednie właściwości wytrzymałościowe, technologiczne i eksploatacyjne.

- *O osnowie ceramicznej*

Do osnowy ceramicznej w materiałach kompozytowych możemy zaliczyć ceramikę techniczną – głównie  $Al_2O_3$  i azotek krzemu  $Si_3N_4$ , szkła i tworzywa szklano-ceramiczne oraz węgiel

- *O osnowie polimerowej*

- żywice termoutwardzalne: fenoplasty i aminoplasty
- żywice chemoutwardzalne: poliestrowe, epoksydowe i silikonowe
- tworzywa termoplastyczne: poliamidy, polipropylen, poliestry termoplastyczne, poliwęglan oraz w mniejszych ilościach polimery styrenowe

#### **Podział ze względu na materiał wzmacniający:**

- **Cząsteczkami**

- **Dyspersyjnie**
- Włóknami
- Wzmacniane konstrukcyjnie

### **Umacnianie dużymi cząsteczkami**

Inaczej kompozyty agregatowe. Cząstki umacniające mają wielkość powyżej  $1\mu\text{m}$ , a ich udział objętościowy może dochodzić do 90%. Różnicą w stosunku do kompozytów umacnianych dyspersyjnie jest fakt, że w tych kompozytach obciążenia przenoszone są przez osnowę i cząstki, w związku z tym ulega także zmianie mechanizm oddziaływania cząstek z osnową.

Dodaje się duże cząstki o znacznym rozmiarze do macierzy. Te cząstki mogą być wykonane z różnych materiałów, takich jak metal, ceramika lub inne polimery. Duże cząstki są równomiernie rozłożone w macierzy, a ich obecność prowadzi do zwiększenia wytrzymałości i innych właściwości mechanicznych kompozytu. Przykłady to kompozyty metaliczne wzmacnione włóknami, w których włókna metalowe pełnią rolę agregatów.

Umocnienie wynika z:

- A. Oddziaływania sprężystego cząstek z osnową
- B. Ograniczenia ruchu dyslokacji
- C. utworzenia ciągłego szkieletu cząstek fazy umacniającej

W zależności od kompozytu mogą ograniczać odkształcenia. W przypadku kompozytów ceramicznych są one wprowadzane w celu zwiększenia odporności

### **Umacnianie cząsteczkami dyspersyjnymi**

Stosuje się małe cząstki, nazywane również cząstkami dyspersyjnymi, które są równomiernie rozproszone w macierzy. Cząstki dyspersyjne mogą być nanocząstkami, mikrocząstkami lub cząstkami o innych rozmiarach i wykonane z różnych materiałów, takich jak nanorurki węglowe, włókna ceramiczne lub polimerowe. Obecność tych cząstek w kompozycie prowadzi do poprawy właściwości, takich jak twardość, wytrzymałość, odporność na korozję lub stabilność termiczna.

### **13. Wytwarzanie i właściwości kompozytów wzmacnianych włóknami**

Dominują obecnie na rynku materiałów kompozytowych. Włókna stosowane do ich produkcji mogą być ciągłe lub nieciągłe, czyli krótkie lub cięte. Ich udział objętościowy może dochodzić do 90%. Obciążenia przenoszone są przez włókna. Wytrzymałość kompozytu umacnianego włóknami rośnie w miarę wzrostu udziału objętościowego włókien. Aby osiągnąć efekt umocnienia, udział objętościowy włókien musi przekroczyć tzw. objętość krytyczną. Długość włókna, powyżej której następuje wzmocnienie kompozytu nazywana jest długością krytyczną. Określa się ją w zależności o rodzaju osnowy – plastycznej lub sprężystej.

### Proces:

- I. Wybór włókien wzmacniających np. węglowych, szklanych, aramidowych, czy ceramiki, ze względu na właściwości, które chcemy umocnić
- II. Włókna muszą zostać odpowiednio przygotowane przed połączeniem z matrycą. Etapy przygotowania mogą obejmować czyszczenie, pokrycie powłoką lub impregnację
- III. Włókna są następnie łączone z matrycą, tworząc kompozyt wzmacniany włóknami
  - Formowanie na gorąco – układane w odpowiedniej konfiguracji, następnie matryca jest topiona i przelewana do formy, gdzie zostaje utwardzona
  - Przepływ matrycy – włókna są przepływane przez matryce metalową lub polimerową tworząc kompozyt o pożądanym kształcie i strukturze
  - Nakładanie warstw – włókna i matryca są układane na przemian, a następnie poddawane presji i utwardzane

### Właściwości:

- Wytrzymałość i sztywność
- Odporność na korozję
- Są znacznie lżejsze niż tradycyjne materiały konstrukcyjne
- Przewodnictwo cieplne i elektryczne
- Bardziej trwałe w przypadku cyklicznego obciążenia mechanicznego

## 14. Wytwarzanie wyrobów ceramicznych

### Etapy:

1. Wytwarzanie proszków i mas
  2. Formowanie
  3. Suszenie
  4. Kształtowanie półfabrykatów w stanie niewypalonym
  5. Wypalanie
  6. Nanoszenie pokryć ceramicznych
  7. Kształująca obróbka końcowa
- ❖ Ceramiki i szkła to materiały inżynierskie najwcześniej stosowane przez człowieka, odporne na działanie środowiska
  - ❖ Materiały ceramiczne stosowane są w przemyśle lotniczym, kosmicznym i elektronicznym
  - ❖ Materiały ceramiczne i szkła posiadają wysoką odporność na korozję i na ścieranie, są twarde, kruche, o wysokiej temperaturze topnienia, małej przewodności cieplnej i elektrycznej
  - ❖ Kompozyty o osnowie ceramicznej mogą być odporne na pękanie

### Rodzaje:

- **Ceramiki krystaliczne** – krzemiany, tlenki, związki nie zawierające tlenu
- **Szkła** – niekrystaliczne ciała stałe o składzie zbliżonym do ceramiki krystalicznych

- **Tworzywa szklano-ceramiczne** – kształtowane w stanie szklistym, a następnie poddawane obróbce mającej na celu spowodowanie krystalizacji

#### 15. Właściwości układów o wielkościach nanometrycznych

- Układy o skali nanometrycznej mają dużą powierzchnię w stosunku do objętości; umożliwia to interakcje z innymi cząstkami
- Mogą wykazywać efekty kwantowe, takie jak tunelowanie kwantowe, efekt plazmoniczny czy efekt kwantowego punktu zerowego – wpływające na ich zachowanie elektronowe i optyczne
- Wysoka reaktywność chemiczna - większa zdolność do adsorpcji cząsteczek, interakcji z innymi substancjami i zmiany swoich właściwości w obecności środowiska
- Właściwości mechaniczne mogą być kontrolowane przez manipulację ich strukturą i kompozycją
- Właściwości optyczne - efekt plazmoniczny, fluorescencję, absorpcję światła
- Mogą mieć lepszą przewodność cieplną lub elektryczną