



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

## NAUKA O MATERIAŁACH

**Wykład VI:  
Proszki, włókna, warstwy**

JERZY LIS  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

---

---

---


---

---

---

---

---



Nauka o Materiałach

MAKRO

**MATERIAŁY**

- MONOLITYCZNY** "trójwymiarowy"
  - właściwości,
  - struktura,
  - mikrostruktura
- WARSTWY** "dwuwymiarowy"
  - struktura,
  - tekstura,
  - powierzchnia,
  - podłoże
- WŁÓKNA** "jednowymiarowy"
  - struktura,
  - mikrostruktura,
  - (wielkość)
- ZDYSPERGOWANY** "zerowymiarowy"
  - struktura,
  - mikrostruktura

Właściwości materiałów zależą także od formy występowania tworzywa w wyrobie

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---



Treść wykładu:

1. Charakterystyka układów zdyspergowanych - proszki
2. Parametry charakteryzujące proszki
3. Zastosowanie materiałów zdyspergowanych
4. Ogólna charakterystyka włókien
5. Wybrane przykłady materiałów włóknistych
6. Budowa i charakterystyka warstw
7. Wybrane techniki otrzymywania warstw
  - a) chemiczna krystalizacja z fazy gazowej
  - b) fizyczne osadzanie z fazy gazowej
  - c) napylenie plazmowe
  - d) metody chemiczne
8. Zastosowanie warstw



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---


---

---

---

---

---



## Charakterystyka układów zdyspergowanych

- ❑ Specyficzną postacią występowania materiałów są formy zdyspergowane
- ❑ Materiały mają postać małych cząstek rozproszonych w ośrodku gazowym lub ciekłym
- ❑ Układy takie charakteryzują się specyficznymi właściwościami na które wpływa oddziaływanie środowiska na materiał
- ❑ Do opisu takich form materiałów stosujemy odrębne parametry
- ❑ Materiały w formie zdyspergowanej mogą być bezpośrednio stosowane lub służyć do otrzymywania innych postaci tworzyw

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



## Charakterystyka układów zdyspergowanych

**W zależności od wielkości cząstek i stężenia wyróżniamy**

- ❑ **w fazie gazowej:**
  - dymy - cząstki poniżej  $10^{-7}$ m, silnie rozproszone
  - pyły - cząstki  $10^{-7}$ m do  $10^{-6}$ m, silnie rozproszone
  - proszki - cząstki do rzędu  $10^{-3}$ m (mm), stężone
- ❑ **w fazie ciekłej:**
  - roztwory - cząstki rzędu nanometrów  $10^{-9}$ m
  - koloidy - cząstki  $10^{-9}$  -  $10^{-7}$ m
  - zawiesiny - cząstki powyżej  $10^{-7}$ m

W technice, w tym w technologiach materiałów stałych, podstawową formą wykorzystywanych materiałów zdyspergowanych są **proszki**, czyli stężone materiały zdyspergowane w fazie gazowej.

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



## Parametry charakteryzujące proszki

**Podstawowym parametrem geometrycznym określającym proszki jest wielkość i forma jego cząstek.**

Pojęcie cząstka nie jest jednoznaczne: proszek ma bowiem budowę niejednorodną a cząstki tworzą często trudne do rozdzielania większe elementy (agregaty, aglomeraty).

Powszechnie stosuje się także starsze bardziej ogólne pojęcie ziarno proszku, rozumiane jako najmniejszy lity element proszku możliwy do identyfikacji metodami mikroskopowymi lub mechanicznymi.

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

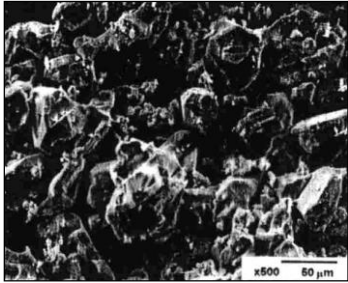
---

---

---

---

**AGH** Parametry charakteryzujące proszki



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

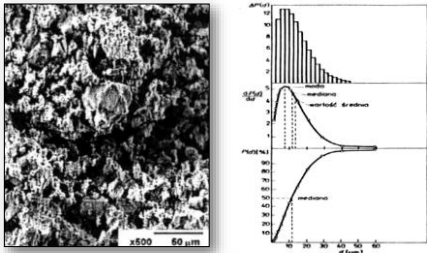
---

---

---

**AGH** Parametry charakteryzujące proszki

Proszki są populacjami złożonymi z wielkiej liczby elementów.  
Charakteryzują się one występowaniem rozkładu wielkości ziaren.



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** Parametry charakteryzujące proszki

**Kształt cząstek**



kuliste      płatkowe      włókniste

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Parametry charakteryzujące proszki**

**Rozwinięcie powierzchni**

Parametrem charakteryzującym proszek jest jego rozwinięcie powierzchni właściwej.

Powierzchnia właściwa:

$$S_w = S/m \quad [m^2/g]$$

Parametr ten w sposób generalny określa stopień dyspersji proszku - im większa powierzchnia właściwa tym drobniejszy proszek.

Powierzchnię właściwą mierzymy m.in. metodami sorpcyjnymi (np. BET)

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Parametry charakteryzujące proszki**

**Powierzchnia właściwa proszku**

Material	Wielkość ziarna [ $\mu m$ ]	Powierzchnia właściwa [ $m^2/g$ ]
Tlenek glinu (spiekalny)	2	8
Węgiel krzemowy (spiekalny)	0,2	20
Kaolin (ziarna płytkowe)	0,5x200	100
Cement portlandzki	0,2 - 10	do 100

Powierzchnia właściwa jest miarą reaktywności proszku w reakcjach chemicznych w tym w spiekaniu, hydratacji i in.

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

 **Zastosowanie materiałów zdyspergowanych**

**Przykłady zastosowania proszków w materiałach inżynierskich**

- Proszki jako surowiec do wytwarzania wyrobów litych**
  - Proszki do spiekania (ceramiczne i metaliczne)
  - Proszki polimerowe do formowania termoplastycznego i chemicznego
  - Materiały wiążące i betony
  - Pasty dla elektroniki
- Proszki jako wypełniacze tworzyw**
  - Farby
  - Wypełniacze w polimerach
  - Faza rozproszona w kompozytach
- Proszki jako materiały**
  - Proszki izolacyjne
  - Proszki polerskie



Sadza

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---


---

---

---

---

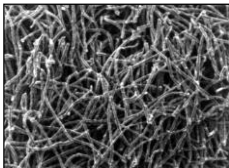
---

 **Ogólna charakterystyka włókien**

Specyficzną formą budowy materiałów w skali makroskopowej są włókna.

**Włókno** - elementy o wydłużonych kształcie w których stosunek wymiaru podłużnego do poprzecznego (długość do średnicy) jest większy od 10.

Włókna mogą być ciągłe lub nieciągłe (krótkie).



Włókna węglowe

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Ogólna charakterystyka włókien**

**Niektóre cechy specyficzne dla materiałów w postaci włókien**

- Elastyczność postaci i „nieskończony” wymiar - możliwość gięcia, nawijania na szpule, tkania
- Duże rozwinięcie powierzchni - właściwości sorpcyjne i katalityczne
- Zdyspergowany charakter i mały wymiar poprzeczny - właściwości izolacyjne, możliwość rozproszczenia w ciągłym medium
- Mało zdefektowana budowa - podwyższone właściwości mechaniczne - zastosowanie do kompozytów
- Specyficzne właściwości optyczne - wewnętrzne odbicie - światłowody

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

---


---

---

 **Ogólna charakterystyka włókien**

**Parametry makroskopowe charakteryzujące włókna:**

- średnica**  
(od mikrometra do kilkuset mikrometrów)
- długość**  
(od kilkudziesięciu mikrometrów do włókien ciągłych)
- gęstość** (monolitu) - jak materiału litego (małe zdefektowanie)
- gęstość nasypowa**
- powierzchnia właściwa**



www.bbc.co.uk/news/science-environment-16709045

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** Wybrane przykłady materiałów włóknistych

**Przykład I: Włókna naturalne - wełna owcza**

- Zbudowane z substancji organicznej keratyny powstałej w wyniku biosyntezy aminokwasów w komórkach skóry zwierzęcia
- Polimer o budowie łańcuchowej





en.wikipedia.org/wiki/Sheep

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** Wybrane przykłady materiałów włóknistych

**Przykład I: Włókna naturalne - wełna owcza**

toellebd-yam.blogspot.com/2012/02/macro-and-micro-structure-of-wool-fiber.html



Image Courtesy of SmartWool

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

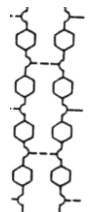
**AGH** Wybrane przykłady materiałów włóknistych

**Przykład II: Włókna organiczne sztuczne - włókna aramidowe Kewlar 49**

$$\left[ \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NH} - \text{C}(=\text{O}) - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}(=\text{O}) \right]_n$$

monomer

→



łańcuch usieciowany

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---



 **Wybrane przykłady materiałów włóknistych**

**Inne przykłady**

**Włókna naturalne**  
 azbest - chryzotol -  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ , krycydolit, amozyt, - (uwaga rakotwórcze)  
 wollastonit - metakrzemian wapnia  $CaSiO_3$   
 zastosowanie w wyrobach izolacyjnych

**Włókna mineralne**  
 rozwłókniane stopione surowce naturalne (krzemionka, bazalt) lub syntetyczne (żużle wielkopiecowe), krótkie włókna do celów izolacyjnych - wata mineralna

**Włókna tlenkowe**  
 $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , mulitowe - wysoka ogniotrwałość, odporność chemiczna, formowane z roztworów i spiekane zastosowanie, właściwości izolacyjne w wysokich temperaturach, także zastosowanie konstrukcyjne

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

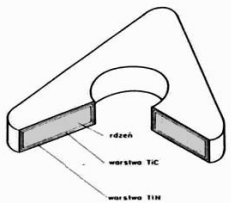
---

---

---

 **Budowa i charakterystyka warstw**

Właściwości materiałów występujących na powierzchni w postaci warstw są zależne od właściwości materiału warstwy (struktura i mikrostruktura), charakteru oddziaływania z podłożem a także często od właściwości samego podłoża.



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---

 **Budowa i charakterystyka warstw**

Podstawowym zadaniem warstw była (i jest):

- ochrona materiału przed środowiskiem,
- zwiększenie wytrzymałości materiału,
- dekoracja materiału.

Stopniowo wykorzystując specyficzne właściwości materiałów w postaci warstw zaczęto stosować warstwy jako wyroby techniczne (elektronika).

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



**AGH** **Budowa i charakterystyka warstw**

Wśród materiałów występujących w postaci warstw można wyróżnić m. in.:

- ❑ **Powłoki** - emalie, farby itp. spełniające rolę tylko ochronną i dekoracyjną
- ❑ **Warstwy** - które w sposób istotny zmieniają właściwości podłoża lub pełnią samodzielną funkcję jako wyrób:
  - cienkie warstwy:  $10^{-10}$  -  $10^{-5}$  m ( $10^{-8}$  -  $10^{-5}$  m)
  - grube warstwy: powyżej  $10^{-5}$  m
- ❑ **Połączenia warstwowe** np. ceramika-metal

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Wybrane techniki otrzymywania warstw**

**Przykład I: Chemiczna krystalizacja z fazy gazowej CVD**

Warstwy osadzone są w wyniku reakcji chemicznej gazowych reagentów na ogrzanym podłożu



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

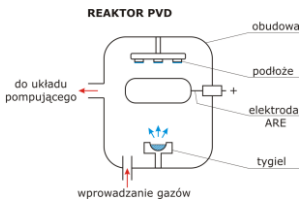
---

---

**AGH** **Wybrane techniki otrzymywania warstw**

**Przykład II: Fizyczna krystalizacja z fazy gazowej PVD**

Warstwy osadzone są w wyniku osadzania reagentów na podłożu w toku przemian fizycznych: parowania, sublimacji, itp.



Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** Wybrane techniki otrzymywania warstw

**Przykład III: Warstwy grube nanoszone plazmowo**

- Technologie wykorzystują gorącą plazmę (temperatura 2500-3000°C)
- Ziarna proszku wprowadzanego do płomienia *plazmotronu* ulegają częściowemu nadtopieniu i osadzając się na podłożu krzepną tworząc warstwę
- Wykorzystane do nanoszenia warstw ochronnych na narzędzia

Wykład VII: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

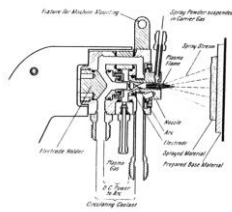
---

---


---

**AGH** Wybrane techniki otrzymywania warstw

**Przykład III: Warstwy grube nanoszone plazmowo**



Schemat plazmotronu



Przekrój warstwy ceramicznej na stali

Wykład VII: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** Wybrane techniki otrzymywania warstw

**Warstwy grube nanoszone innymi metodami**

- Szkliva
- Emalie
- Warstwy nanoszone metodami chemicznymi
- Złącza ceramika –metal



Warstwa szkliva na płycie ściennej

Wykład VI: Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **Zastosowanie warstw**

**Przykłady zastosowania cienkich warstw:**

- elektronika - warstwy czynne (Si, Ge) i bierne (SiO<sub>2</sub>, azotki, tlenki)
- optoelektronika - światłowodowy
- warstwy antyrefleksyjne - szyby okienne
- warstwy ochronne - narzędzia skrawające, szkło

Wykład VII. Proszki, włókna, warstwy

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**AGH** **AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

**NAUKA O MATERIAŁACH**

**Dziękuję.  
Do zobaczenia**

JERZY LIS  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---