



# **Technologia metalurgii proszków**

# **Metalurgia proszków**

**Metalurgia proszków jest dziedziną techniki, obejmującą metody wytwarzania proszków metali i materiałów metalowych lub ich mieszanin z proszkami niemetalowymi oraz otrzymywania półproduktów i produktów z tych proszków bez konieczności roztopienia głównego składnika.**

# Metalurgia proszków

## Zalety metalurgii proszków:

- ograniczenie zużycia materiałów,
- możliwość otrzymywania materiałów, których nie da się wytworzyć innymi metodami,
- stosowanie niższej temperatury niż w metalurgii konwencjonalnej.

## Wady :

- uzyskiwanie materiałów o dużej porowatości – o małej wytrzymałości,
- trudności w uzyskiwaniu produktów o złożonym kształcie ze względu na nierównomierny rozkład ciśnienia w objętości proszku podczas prasowania.

Porowatość produktów można wykorzystać, np. w filtrach i łożyskach porowatych (samosmarujących).

| Nazwa wyrobu   | Materiał   |
|--|--|
| Włókna lamp żarowych, elementy oporowe, elektrody              | W,Mo   |
| Elementy konstrukcyjne w lampach elektronowych i kineskopach   | W, Mo,Ta,Nb  |
| Stopy ciężkie na żyroskopy i osłony radiacyjne                 | W-Ni-Cu  |
| Twarde spieki cermetalowe                                      | WC,TaC,NbC,VC,Cr   |
| Porowate katalizatory  | Pt,Ni,Fe,Cu  |
| Elementy porowate w bateriach alkalicznych                     | Ni, Fe, Co   |
| Łożyska porowate, filtry, diafragmy                            | Cu,Fe,Sn i ich stopy   |
| Szczotki kolektorowe   | Cu-C   |
| Materiały cierne hamulcowe                                     | Tlenki, krzemiany, borki w osnowie metali  |
| Rdzenie magnetyczne, ferryty                                   | Fe, złożone tlenki, Fe, Li, Ba   |
| Styki elektryczne  | W-Ag, Mo-Ag, Mo-Cu, W-Cu, W-Mo, tlenki   |
| Oslony chłodzące, osłony ablacyjne                             | W-Ag   |
| Materiały i wyroby stosowane w przemyśle kosmicznym i jądrowym | Be, Th, U, Zr  |
| Samosmarujące łożyska nieporowate                              | Fe, Cu-grafit i i ch stopy nasycane polimerami lub metalami o niskiej temperaturze topnienia |

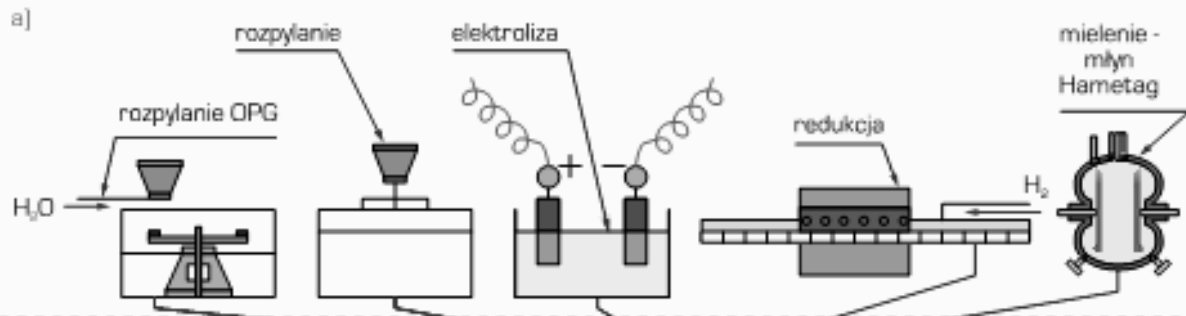


# Proces technologiczny

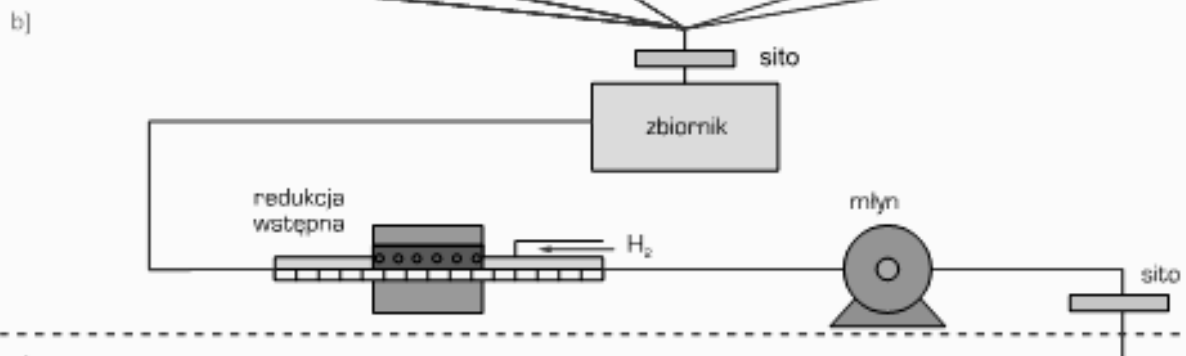
W procesie technologicznym produktów metodą metalurgii proszków można wykonać następujące operacje:

- **wytworzenie proszku metalu lub mieszaniny proszków różnych materiałów,**
- **przygotowanie proszku,**
- **formowanie proszku na zimno,**
- **spiekanie,**
- **obróbkę wykończającą.**

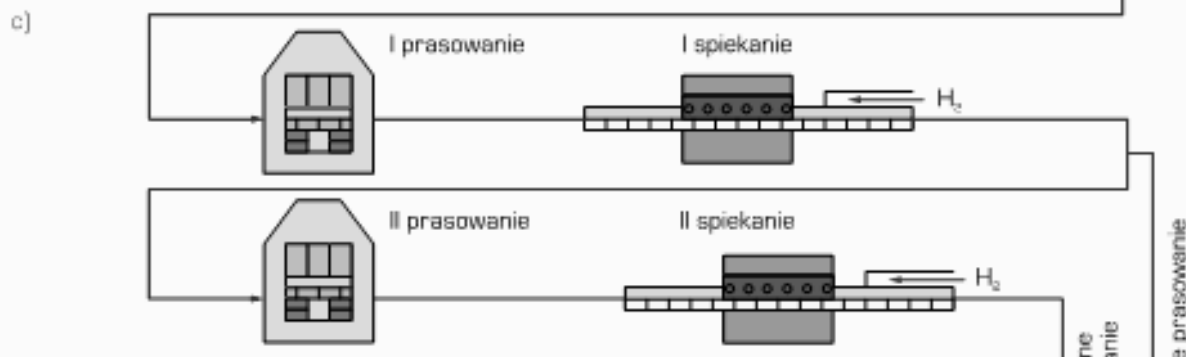
# Proces technologiczny



a) wytwarzanie proszków,



b) przygotowanie proszków,

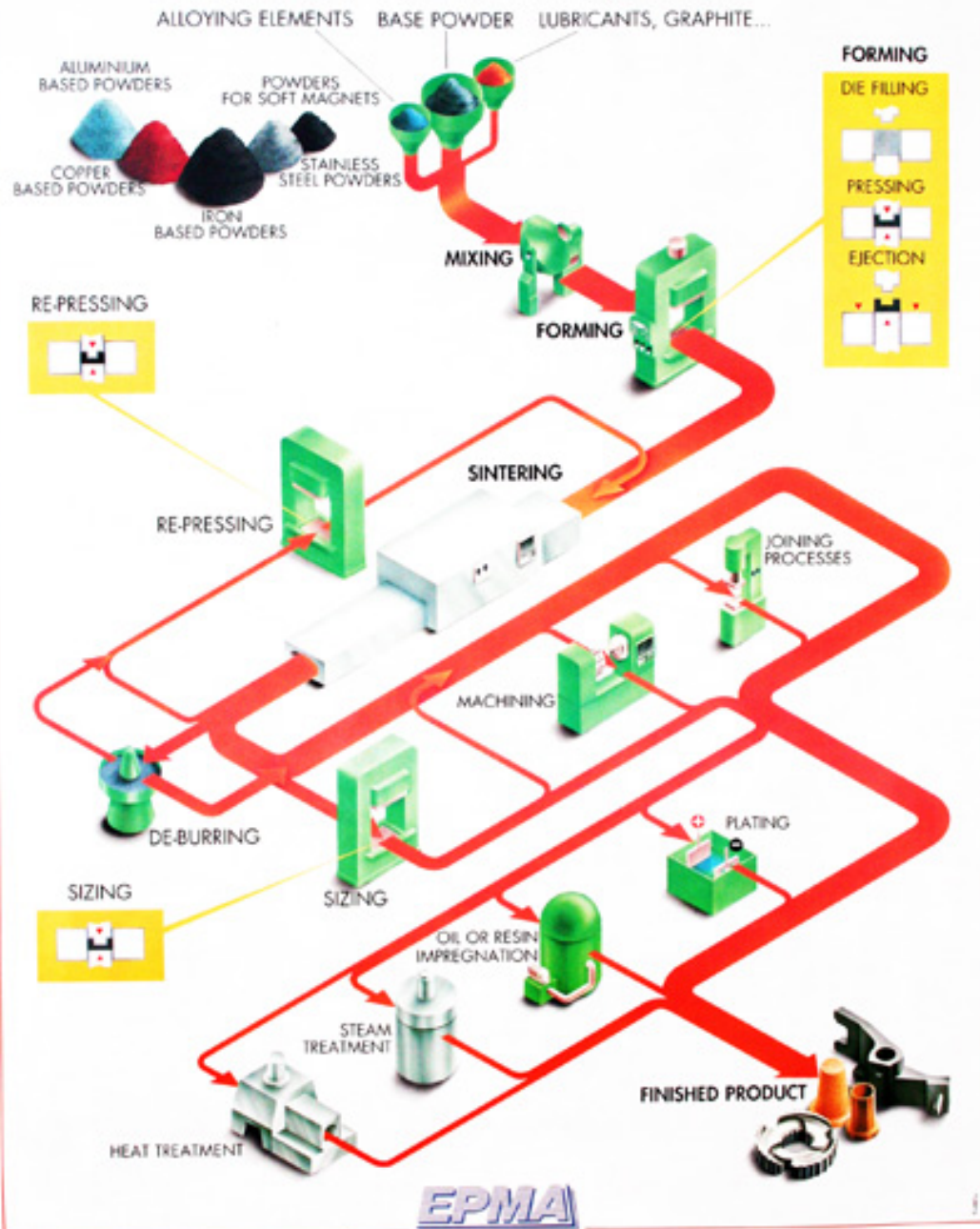


c) formowanie wstępne i spiekanie,



d) obróbka wykończająca

# POWDER METALLURGY COMPONENTS: PRODUCTION CYCLE



# Proces technologiczny



# Produkcja proszków

W zależności od przeznaczenia proszków oraz rodzaju surowców wyjściowych stosuje się dwie grupy metod wytwarzania proszków:

- **mechaniczne sposoby wytwarzania**, polegające na rozdrobnieniu materiałów przez mielenie, piłowanie, rozpylanie itp.
- **procesy chemiczne i fizykochemiczne**, jak np. kondensacja par metalu, redukcja chemiczna tlenków, elektroliza itp.



# metody wytwarzania proszków

## mechaniczne

### z fazy stałej

zdzieranie

frezowanie

ścieranie

tłuczenie

rozbijanie

### z fazy ciekłej

granulowanie

rozpylanie

rozpylanie  
i rozdrabnianie  
mechaniczne

### z fazy gazowej

zestalanie

rozkład  
karbonylków

inne

## fizykochemiczne

### elektrolityczna

z roztworów  
wodnych

ze stopionych  
soli

### redukowania

z roztworów  
wodnych soli

ze stopionych  
soli

cieplnie ze  
związków  
chemicznych

### inne

# Metody wytwarzania proszków:

## Mechaniczne:

- z fazy stałej– zdzieranie, frezowanie, ścieranie, tłuczenie, rozbijanie itd..
- Z fazy ciekłej-rozpylanie

## Fizykochemiczne:

- redukowanie związków ( np. cieplne)
- Kondensacja z wazy gazowej
- Rozkład karbonylków
- Elektroliza roztworów wodnych lub stopionych soli

# Wpływ metody wytwarzania na kształt proszku

| Kształt proszku                        | Metoda wytwarzania proszku  |
|--|---|
| Sferoidalny, globularny                | Rozpylanie, rozkład karbonylków   |
| Gąbczasty, strzępiasty                 | Redukcja  |
| Dendrytyczny                           | Elektroliza   |
| Talerzykowaty, wielościenny, odłamkowy | Rozdrabnianie mechaniczne w młynach wirowo-udarowych, wibracyjnych lub kulowych |
| Płatkowy                               | Rozdrabnianie mechaniczne w młynach   |

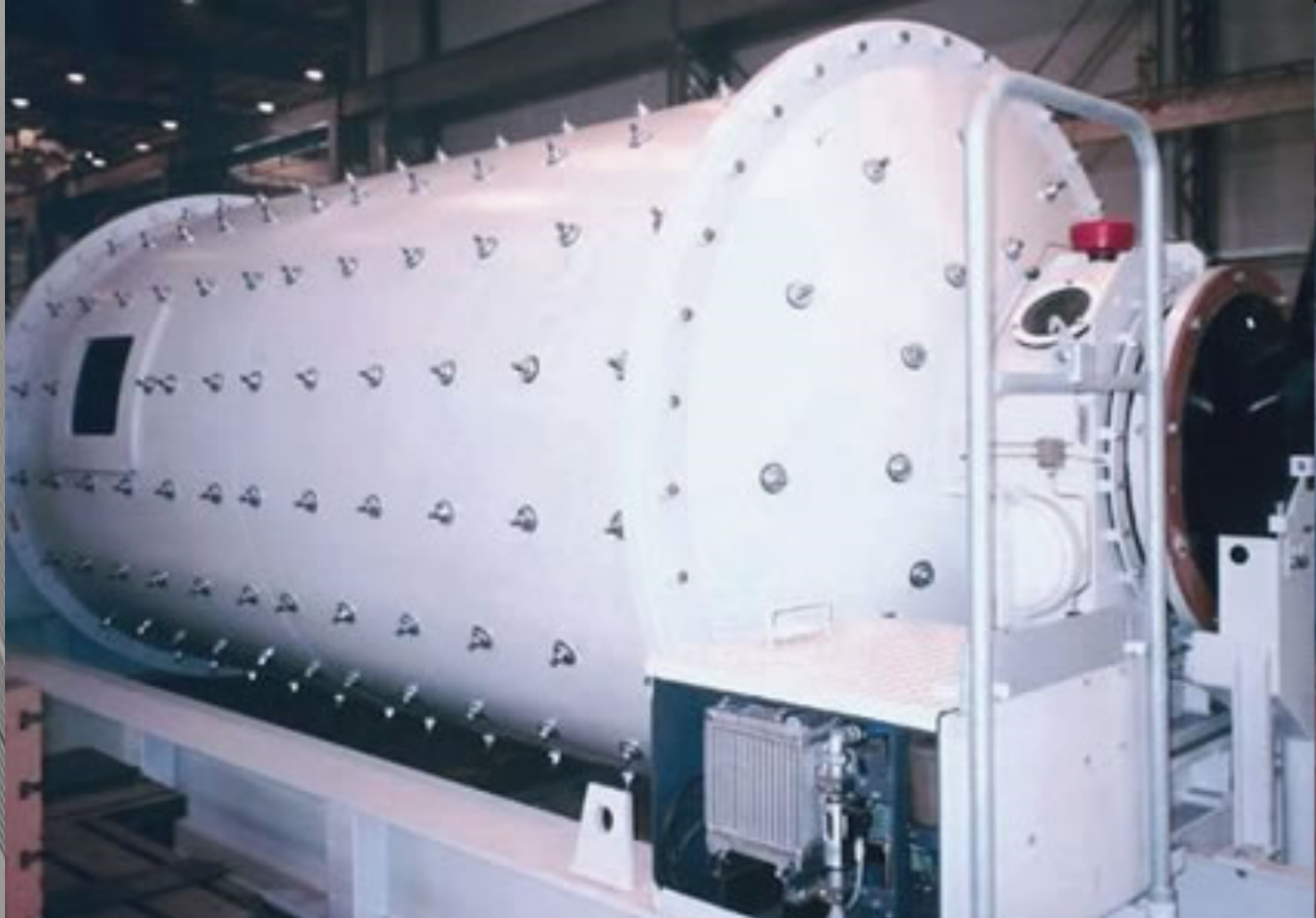
# Produkcja proszków

Często stosuje się metody obu grup, np. proszki uzyskane w drodze chemicznej mogą być jeszcze rozdrobnione mechanicznie lub proszki wykonane mechanicznie mogą w dalszym procesie podlegać oczyszczaniu chemicznemu (redukcji).

Najczęściej wykorzystywaną metodą jest **mechaniczne mielenie w młynach kulowych**, w których to rozdrabnianiu poddaje się materiał złożony z cząstek o wielkości nie przekraczającej 2 mm. Czas mielenia jednej partii wsadu, w zależności od potrzeb, to okres kilkudziesięciu do stukilkudziesięciu godzin, kiedy to cząstki rozdrabniane są do wielkości ok. 1 - 5 $\mu$ m.



# Młyn kulowy



# Wytwarzanie proszków metali z fazy stałej

Wytwarzanie proszków z fazy stałej metodami mechanicznymi jest jedną z najstarszych metod.

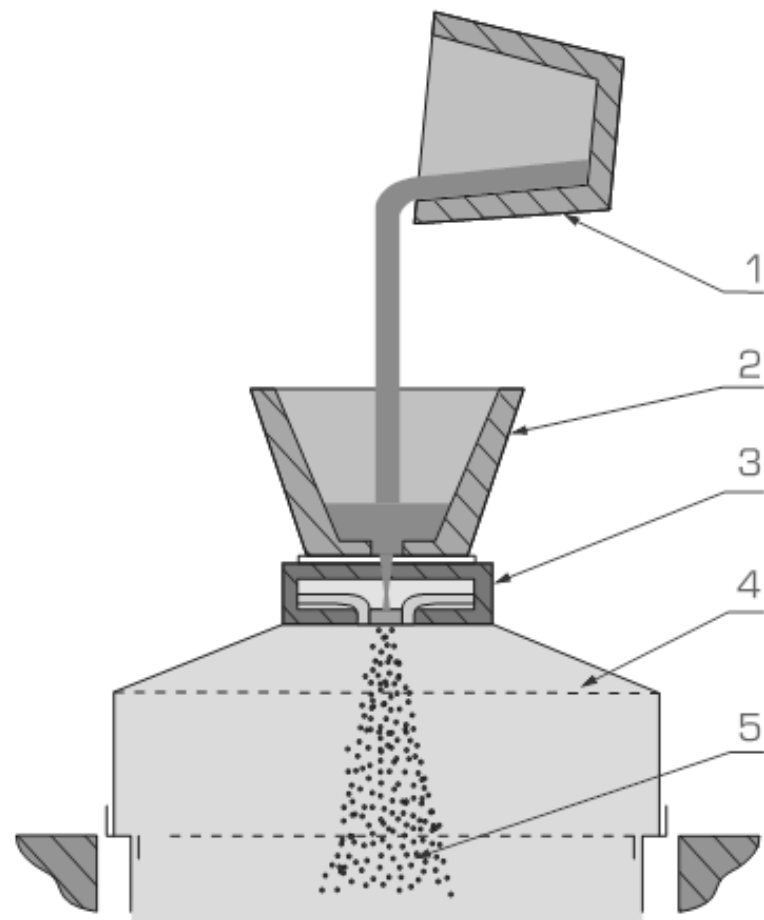
Metoda **wirowo-udarowa, Hammetag** polega na rozdrabnianiu pociętego drutu, wiórów, drobnego złomu metali w wyniku uderzeń śmigieł znajdujących się wewnątrz bębna oraz wzajemnego ścierania się wirujących cząstek wsadu. Talerzykowaty kształt proszku i mała sypkość utrudniają proces prasowania.

Inna metoda polega na rozdrabnianiu metali w młódkach lub obrotowych młynach kulowych. Wewnętrzna powierzchnia bębna młyna jest wyposażona w półki, które unoszą znajdujące się w nim kule, które spadając, powodują rozdrobnienie metalu.

# Wytwarzanie proszków metali z fazy ciekłej

- Do najbardziej rozpowszechnionych metod w tej grupie należą:
- rozpylanie powietrzem metodą RZ
- Rozpylanie gazem obojętnym metodą VIGA
- Rozpylanie wodą





*Schemat urządzenia do rozpylania metali;  
1 - kadź, 2 - tygiel, 3 - dysza,  
4 - komora rozpylania, 5 - proszek*



# Metoda RZ

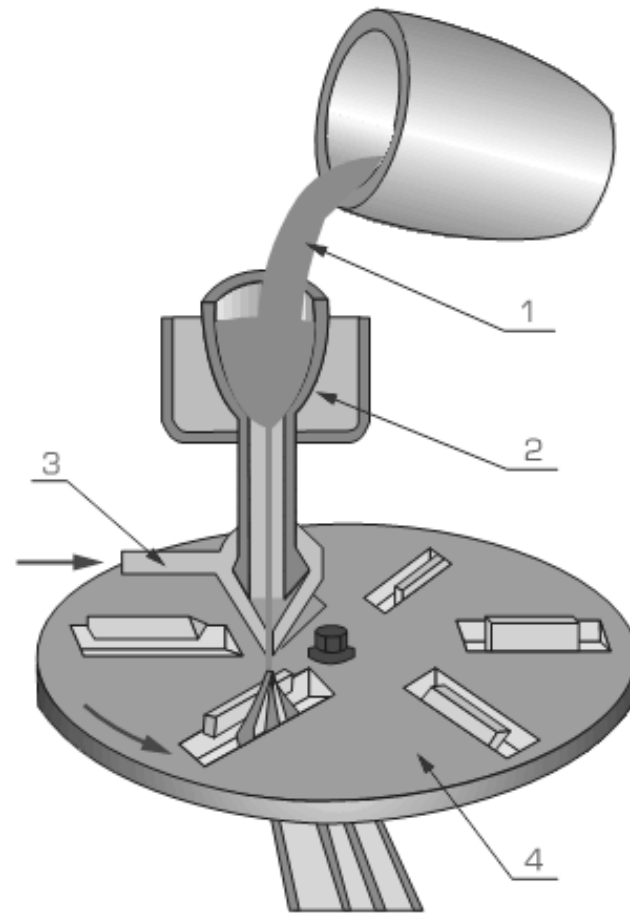
- W metodzie tej proszek powstaje w wyniku rozpylania powietrzem roztopionego żeliwa. Na skutek utlenienia na powierzchni proszku o strukturze żeliwa białego powstaje warstwa węgla a wewnątrz cząstki pęcherz tlenku węgla, powstały w wyniku reakcji tlenu z węglem. W celu jego usunięcia prowadzi się wyżarzanie żelaza w temp. 950-1050oC oraz wstępne utlenianie. Metodą tą wytwarzane są również proszki cyny, ołowiu, aluminium

# Metoda Viga

Polega na rozpylaniu gazem obojętnym i stosowana jest do wytwarzania proszków dużej czystości np. Ni, Fe, Co, Cu, Ag i ich stopów. W metodzie tej metal topiony w piecu próżniowym cienką strugą przedostaje się do rozpylacza

# Metoda DPG

- metodzie znanej jako DPG poza rozpylaniem stosuje się również mechaniczne rozbijanie strumienia ciekłego metalu za pomocą łopatek – klinów, zamocowanych na wirującej tarczy



*Schemat urządzenia do otrzymywania proszków metalu przez rozpylanie metodą DPG;*

*1 - ciekły metal, 2 - lejek z dyszą, 3 - woda,  
4 - wirująca tarcza z łopatkami-klinami*



# Rozpylanie wodą

- W metodzie tej ciekły metal rozpylany jest w strumieniu wody o prędkości 100 m/s. Uzyskany proszek charakteryzuje się mniejszym stopniem utlenienia niż w metodzie RZ. Poza żelazem z użyciem tej metody wytwarza się m.in. proszki miedzi



# Wytwarzanie proszków metodą redukcji

- W procesie redukcji z użyciem węgla lub wodoru uzyskuje się drobną, porowatą gąbkę metaliczną którą następnie poddaje się mechanicznemu rozdrobnieniu. Proszki charakteryzują się drobnoziarnistością i wysoką czystością

# Kondensacja z fazy gazowej i karbonylkowa

- **Kondensacja z fazy gazowej** polega na wprowadzaniu par metali niskotopliwych np. Zn do osadnika w którym poniżej temp. topnienia następuje ich kondensacja.
- **Metoda karbonylkowa** wykorzystywana jest do wytwarzania proszków kulistych o wysokiej czystości. Mają one budowę warstwową. Metodą tą , poprzez redukcję karbonylków wytwarza się proszki Fe, Ni i Co przeznaczone na materiały magnetyczne

# Proszki wytwarzane metodą elektrolizy

- Na katodzie osadzają się jony metalu przechodzące z roztworu lub rozpuszczonej anody z metalu poddawanego elektrolizie. Najczęściej stosowanym proszkiem jest frakcja miedzi 0,063 mm. W wyniku elektrolizy osadza się metal o strukturze gąbczastej, który jest następnie rozdrabniany i segregowany



# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Większość aktualnie spiekanych elementów maszyn wytwarzane jest z proszków na osnowie żelaza
- Właściwości spieków żelaznych kształtuje się poprzez obróbkę cieplno-chemiczną wyrobów lub poprzez wprowadzenie do proszku żelaza dodatków stopowych: węgla, miedzi, cyny, niklu, cyny, manganu, chromu, molibdenu oraz fosforu i siarki



# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- **Węgiel** wprowadza się do proszku żelaza w formie grafitu
- Jest podstawowym dodatkiem stopowym w spiekach żelaza mającym znaczny wpływ na ich właściwości mechaniczne i technologiczne
- Wodór i atmosfery kontrolowane stosowane do spiekania mają charakter odwęglający
- Dlatego grafit wprowadzany jest do proszku żelaza z nadwyżką

# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- **Miedź** jest często występującym dodatkiem stopowym w spiekach żelaza.
- Zawartość miedzi w spiekach żelaza dochodzi do kilku procent – co jest rzadkie w konwencjonalnych gatunkach stali
- Jest wprowadzana do proszku żelaza w postaci czystego proszku metalu

# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Oddziaływanie **miedzi** na proces spiekania polega na:
  - Obniżeniu temperatury spiekania
  - Możliwości spiekania w obecności fazy ciekłej
  - Kompensacji skurczu w wyniku zwiększenia się rozmiarów spieku wywołanego utworzeniem się roztworu stałego Fe-Cu



# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- **Nikiel** poprawia ciągliwość spieków zwłaszcza zawierających dodatek miedzi
- Zwiększa wytrzymałość na rozciąganie i twardość spieków żelaza
- Produkowane są proszki stopowe zawierające nikiel, miedź, molibden



# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Cyna tworzy w spiekach żelaza zanikającą fazę ciekłą
- Intensyfikuje to proces spiekania i umożliwia obniżenie temperatury spiekania do 1000°C
- Dodatek cyny do spieków Fe-Cu zmniejsza przyrost ich wymiarów w trakcie spiekania i nieco zwiększa wytrzymałość spieków żelaza na rozciąganie
- Rzadko stosowana w spiekach żelaza

# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Pierwiastki węglilotwórcze najczęściej występują w proszkach stopowych zawierających 0.5% Mo
- Bezpośrednie wprowadzenie proszków manganu i chromu do proszku żelaza powoduje utlenianie się ich w czasie podgrzewania na skutek oddziaływania powietrza znajdującego się w porach spieku albo atmosferach stosowanych w trakcie spiekania

# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Proszki żelaza z dodatkami **pierwiastków węglotwórczych albo węglkami stopowymi** charakteryzują się złą prasowalnością i wymagają wysokich temperatur spiekania, które umożliwią rozpuszczanie się węglików w żelazie



# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- **Siarka i fosfor** uznawane są w stali za szkodliwe domieszki – powodują kruchość
- W spiekach problem kruchości spowodowanej obecnością siarki i fosforu ma mniejsze znaczenie
- O kruchości spieków silniej decyduje np. porowatość.

# Wpływ składu chemicznego na mikrostrukturę i właściwości spieków

- Ujawnia się korzystny wpływ siarki i fosforu na wzrost wytrzymałości na rozciąganie, który stanowi efekt intensyfikacji procesu spiekania
- Siarka i fosfor tworzą fazę ciekłą w stopach z żelazem w zakresie temperatury spiekania
- Siarka zwiększa ciągliwość spieków na skutek intensywnej koagulacji porów
- Fosfor zwiększa silnie intensyfikację procesu spiekania-intensyfikuje procesy dyfuzyjne
- Obecność fosforu w warstwie przypowierzchniowej spieków poprawia ich właściwości trybologiczne

# Spieki miedzi

- **Spieki miedzi** stosowane są głównie w elektrotechnice: styki, elementy komutatorów itp..
- Spiekanie czystej miedzi jest trudne technologicznie – podatność metalu na chorobę wodorową wywołująca mikropeknięcia i spęczenia w czasie spiekania w atmosferach zawierających wodór



# Spieki miedzi

- Chorobie wodorowej zapobiega się przez wprowadzenie 1% grafitu.
- Grafit zastępuje też środki poślizgowe
- Stearynian cynku w temperaturze spiekania tworzy związki rozpuszczające się w miedzi - pogarszają przewodność elektryczną
- Zapobieganie- nie stosuje się środków poślizgowych albo stosuje stearynian litu

- Ciśnienie prasowania proszków miedzi 400-600 MPa
- Wypraski z miedzi są spiekane w atmosferze wodoru w temp. 850-1100°C przez kilkakilkadziesiąt minut
- Wytrzymałość spieków miedzi o gęstości 8g/cm<sup>3</sup> 110-180 MPa

# Spieki miedzi

- Spiekane brązy cynowe zawierające 9-11% cyny znalazły zastosowanie jako elementy maszyn – głównie łożysk ślizgowych
- Są wykonywane z mieszaniny proszków miedzi i cyny albo proszku stopowego
- Ciśnienie spiekania 300-600 MPa
- Temp. spiekania 750-850°C
- Czas spiekania kilka kilkanaście minut w atmosferze redukującej
- Wytrzymałość na rozciąganie przy gęstości 7.5 g/cm<sup>3</sup> -160-200MPa



# Spieki miedzi

- Spiekane mosiądze wytwarza się wyłącznie z proszków stopowych – cynk intensywnie paruje w temperaturze spiekania
- Spieki zawierają 10,18 i 28% Zn
- Proszki stopowe o dużej zawartości cynku spieka się w specjalnych łódkach zabezpieczającymi przed stratami tego metalu przez parowanie
- Ciśnienie prasowania 400-600MPa, temperatura spiekania 850-900oC
- Czas spiekania – poniżej 1 godziny

# Spieki miedzi

- Wytwarzane są także spieki z mosiądzów niklowych zawierających np. 18%Ni, 18% Zn
- Spieki te, poza dostatecznej wytrzymałości na rozciąganie do 300 MPa charakteryzują się dobrą odpornością korozyjną m.in. W wodzie morskie
- Proszek mosiądzu niklowego prasuje się pod ciśnienie 500 MPa
- Spiekanie w temperaturze 900-950oC przez 1 godzinę

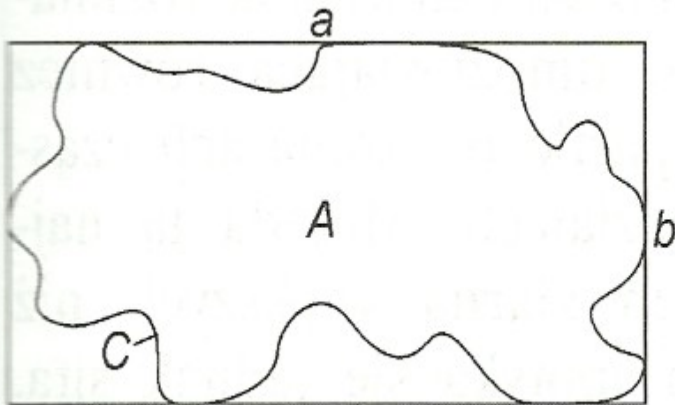
# Właściwości proszków

- Kontrola składu chemicznego odbywa się takimi samymi metodami jak materiałów litych
- Podstawowym rodzajem badań jest określenie ilości tlenu w proszku
- Badanie to polega na analizie straty wodorowej – porównanie masy proszku przed i po wygrzewaniu w atmosferze wodoru



# Kształt cząstek

- Jest oceniany metodą obserwacji na mikroskopie optycznym
- W metodzie Hausnera ocenia się
- Wymiar najmniejszego prostokąta opisanego na rzucie cząstki w stabilnym położeniu –  $a, b$
- Pole powierzchni rzutu  $A$  i obwód  $C$



Rysunek 3.3. Kontur rzutu ziarna na płaszczyznę, w jego najbardziej stabilnym położeniu, wpisany w prostokąt o najmniejszej powierzchni [43]

# Kształt cząstek

- Ze względu na kształt cząstek wyróżnia się następujące rodzaje proszku:
- Sferoidalny – kulisty lub prawie kulisty
- Globularny – nieregularny zaokrąglony
- Wielościenny – ostre krawędzie lub płaskie powierzchnie
- Iglasty
- Gąbczasty – nieregularny porowaty
- Granulkowy – nieregularne bryły w przybliżeniu o jednakowych wymiarach
- Dendrytyczny
- płatkowy

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- **Analiza sitowa** – umożliwia oznaczanie wielkości ziaren proszku i podział na tzw. frakcje – partie o rozmiarach cząstek mieszczących się w określonych przedziałach
- Metodę tą stosuje się najczęściej do analizy proszków o wielkości ziarna  $>0.04$  mm



# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- W celu określenia składu ziarnowego metodą analizy sitowej próbkę proszku przesiewa na sucho lub na mokro
- Po określeniu masy każdej frakcji z poszczególnych sit oblicza się ich zawartość w każdej próbce
- Przesiewanie prowadzi się na sitach ułożonych jedno na drugi od sita o największych oczkach do najmniejszych

**Tabela 3.2.** Porównanie rodzajów sit stosowanych w metalurgii proszków wg wybranych norm

| PN-EN 24491-2:1996<br>Szereg podstawowy<br>[mm] | ISO 565 R20/3<br>Szereg główny<br>[mm] | DIN 4188<br>[mm] | ASTM E-11-1970 |       | BS 410 1969 |       |
|---|--|------------------|----------------|-------|-------------|-------|
|   |  |                  | nr             | [mm]  | mesh*       | [mm]  |
| 0,355   | 0,355                                  | 0,45             |                |       | 36          | 0,425 |
|   |  | 0,4              | 40             | 0,425 |             |       |
|   |  | 0,355            | 45             | 0,355 | 44          | 0,355 |
|   |  | 0,315            | 50             | 0,3   | 52          | 0,3   |
| 0,25  | 0,25                                   | 0,28             |                |       |             |       |
|   |  | 0,25             | 60             | 0,25  | 60          | 0,25  |
|   |  | 0,224            |                |       | 72          | 0,212 |
| 0,18  | 0,18                                   | 0,2              | 70             | 0,212 |             |       |
|   |  | 0,18             | 80             | 0,18  | 85          | 0,18  |
|   |  | 0,16             | 100            | 0,15  | 100         | 0,15  |
| 0,125   | 0,125                                  | 0,14             |                |       |             |       |
|   |  | 0,125            | 120            | 0,125 | 120         | 0,125 |
|   |  | 0,112            |                |       | 150         | 0,106 |
| 0,09  | 0,09                                   | 0,1              | 140            | 0,106 |             |       |
|   |  | 0,09             | 170            | 0,09  | 170         | 0,09  |
|   |  | 0,08             |                |       |             |       |
| 0,063   | 0,063                                  | 0,071            | 200            | 0,075 | 200         | 0,075 |
|   |  | 0,063            | 230            | 0,063 | 240         | 0,063 |
|   |  | 0,056            | 270            | 0,053 | 300         | 0,053 |
| 0,045   | 0,045                                  | 0,05             |                |       |             |       |
|   |  | 0,045            | 325            | 0,045 | 350         | 0,045 |
|   |  | 0,04             |                |       |             |       |
|   |  | 0,036            | 400            | 0,038 | 400         | 0,038 |
|   |  | 0,032            |                |       |             |       |
|   |  | 0,025            |                |       |             |       |
|   |  | 0,02             |                |       |             |       |

\* mesh – liczba oczek przypadająca na długość 1 cala sita

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- **Mikroskopowa analiza wielkości cząstek proszku**
- Preparat suchego proszku lub jego zawiesiny umieszczany jest na szkiełku przedmiotowym i obserwowany na obiektywie mikroskopu wyposażonym w siatkę mikrometryczną albo wzorce



# Oznaczanie wielkości cząstek proszku



# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- Wyznaczenie rozkładu ilościowego rozmiarów cząstek proszku polega na
- Pomiarze maksymalnej cięciwy cząstek, równoległej do jednego z boków mikrofotografii ich obrazu
- Porównaniu ze wzorcami
- Pomiarze za pomocą podziałki mikrometrycznej w okularze mikroskopu
- Komputerowej analizie obrazu

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- W wyniku analizy mikroskopowej i analizy statystycznej jest określony procentowy udział poszczególnych frakcji cząstek w badanej próbce proszku
- Metoda mikroskopowa umożliwia pomiar rozmiarów cząstek proszków frakcji mniejszej niż 0.18 mm



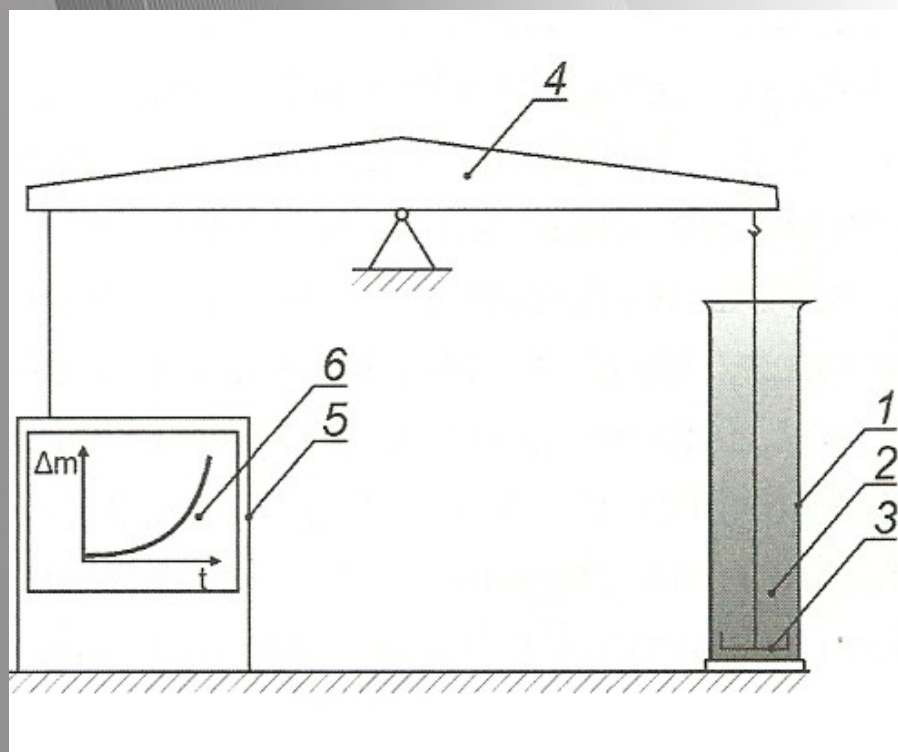
# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- Analiza sedymentacyjna umożliwia pomiar rozmiarów cząstek proszków frakcji mniejszej niż 0.09 mm
- Pomiar rozmiarów cząstek proszku tą metodą polega na określeniu zmiany masy osadu powstałego z zawiesiny proszku w cieczy lub w gazie albo zmiany strumienia świetlnego przechodzącego przez zawiesinę w funkcji czasu

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

- Oznaczenie zmiany masy osadu powstałego z zawiesiny proszku z wykorzystaniem wagi sedymentacyjnej
- Rozkład rozmiaru badanego proszku oblicza się na podstawie zależności między zmianą masy osadzającego się proszku na płytce umieszczonej w cylindrze z zawiesina a czasem
- W metodzie zastosowano prawo Strokesa określające prędkość opadania cząstek od lepkości ośrodka i wielkości ziarna

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku



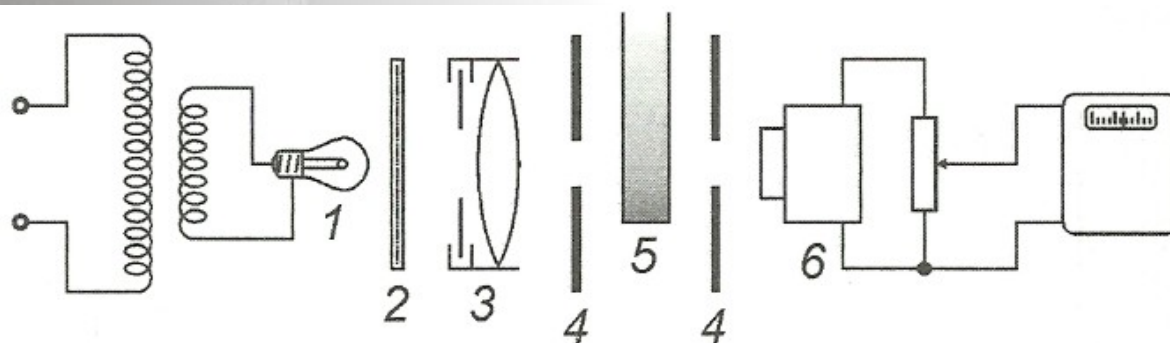
Rysunek 3.8. Schemat oznaczenia rozmiarów cząstek proszku za pomocą wagi sedymentacyjnej Sartoriusa. *Oznaczenia:* 1 – cylinder, 2 – zawieszina, 3 – szalka wagi z płytką pomiarową, 4 – ramię wagi, 5 – układ analizujący, 6 – monitor układu analizującego z wykresem zależności  $\Delta m = f(t)$



# Oznaczanie wielkości cząstek proszku

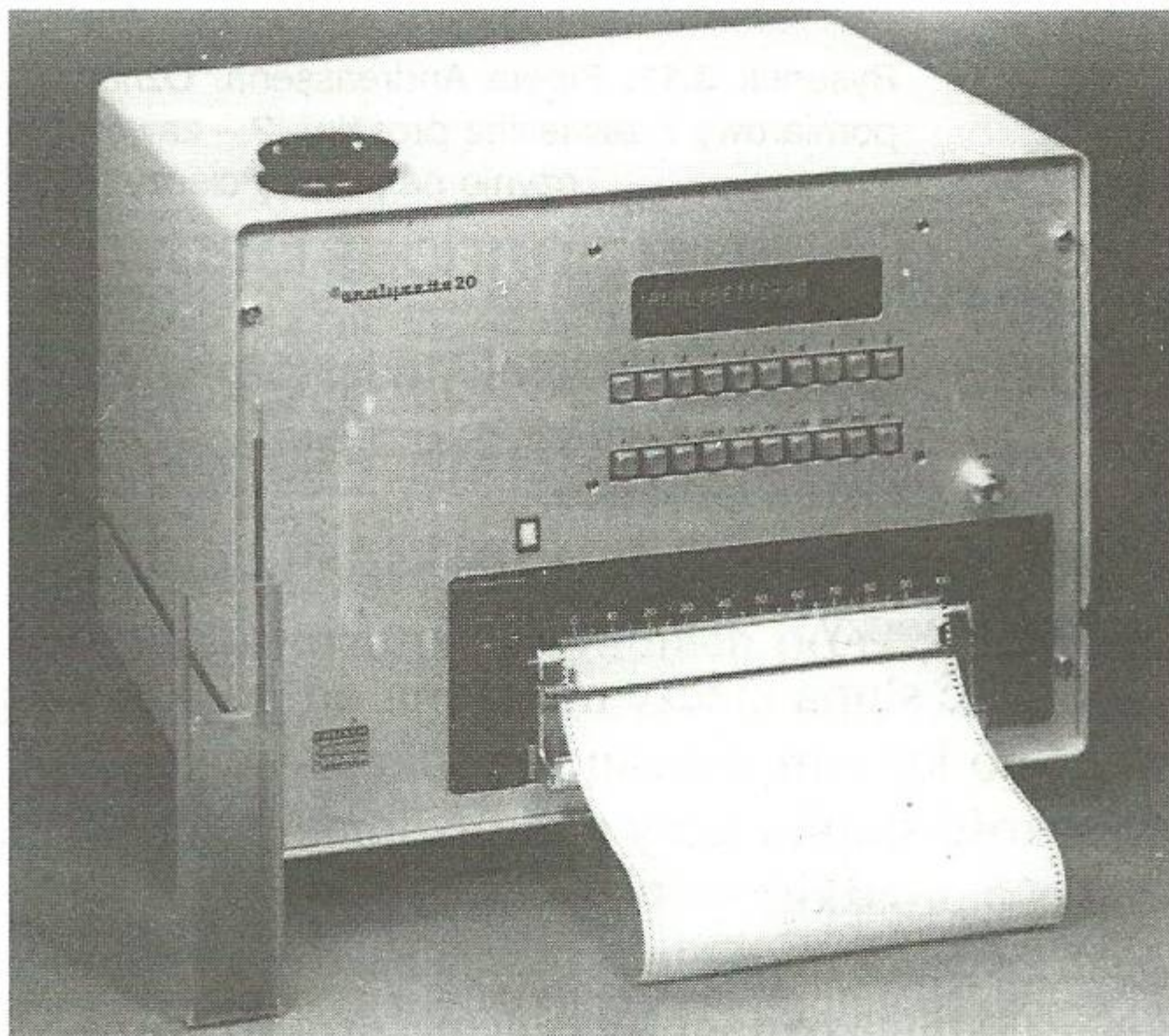
- Oznaczenie zmiany strumienia świetlnego przechodzącego przez zawiesinę dokonuje się na podstawie pomiarów fotometrycznych metodą pomiaru zmian natężenia światła przechodzącego przez zawiesinę proszku. Wskutek osadzania się proszku strumień świetlny przechodzący przez zawiesinę zmienia się w funkcji czasu

# Oznaczanie wielkości cząstek proszku



Rysunek 3.9. Schemat fotosedymentatora. Oznaczenia: 1 – źródło światła, 2 – filtr, 3 – układ optyczny, 4 – przysłony, 5 – zawiesina proszku, 6 – fotokomórka [82]

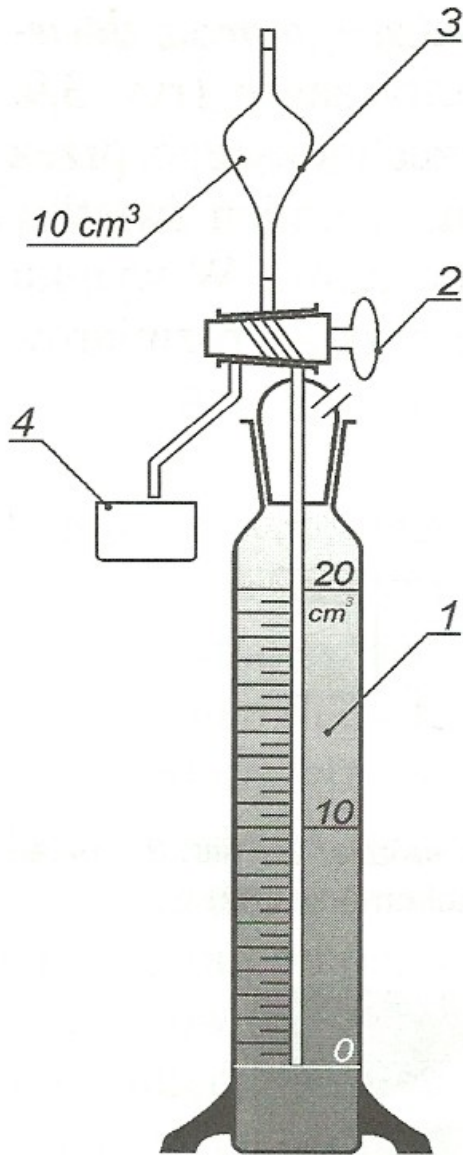




Rysunek 3.10. Ogólny widok fotosedymentatora [22]



# Oznaczanie wielkości cząstek proszku



- Inne metody:
- Pipeta Andreassena- pomiar zmian masy proszku znajdującej się w kolejnych porcjach zawiesiny o objętości 10 cm<sup>3</sup>. Pomiar co określony odstęp czasu

Rysunek 3.11. Pipeta Andreassena. Oznaczenia: 1 – cylinder pomiarowy z zawiesiną proszku, 2 – zawór, 3 – pipeta, 4 – naczynie na próbkę cieczy [86]

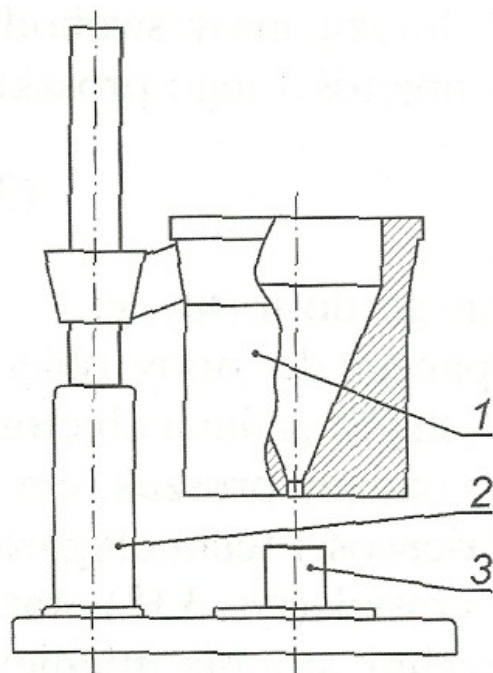
# Właściwości technologiczne proszku

- Gęstość teoretyczna
- Gęstość nasypowa
- Gęstość nasypowa z usadem
- Sypkość
- Zagęszczalność
- formowalność

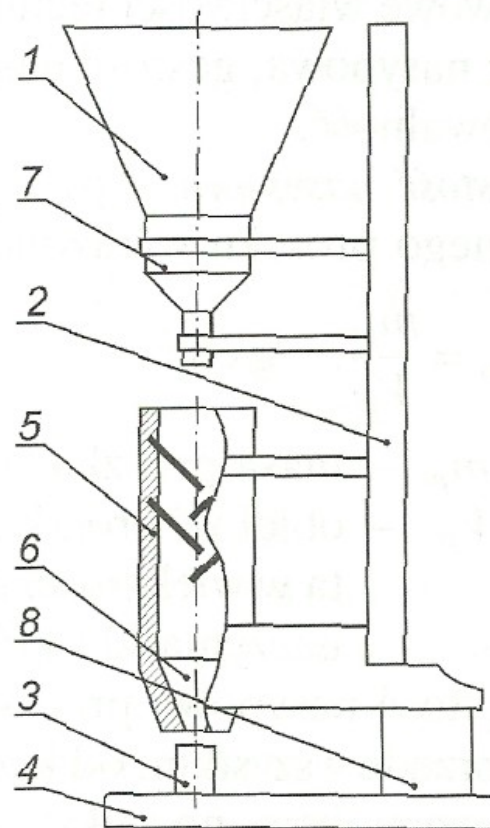
# Właściwości technologiczne proszku

- **Gęstość nasypowa**  $-\rho_{nas}$  g/cm<sup>3</sup> – wartość ilorazu masy swobodnie zasypanego proszku wyrażonej w gramach do objętości tego proszku
- Metody pomiaru:
- Met. Halla
- Metoda Scotta





Rysunek 3.13. Przyrząd do określania gęstości nasypowej proszku **metodą Halla**. Oznaczenia: 1 – lejek zasypowy, 2 – stojak, 3 – naczynie pomiarowe [86]

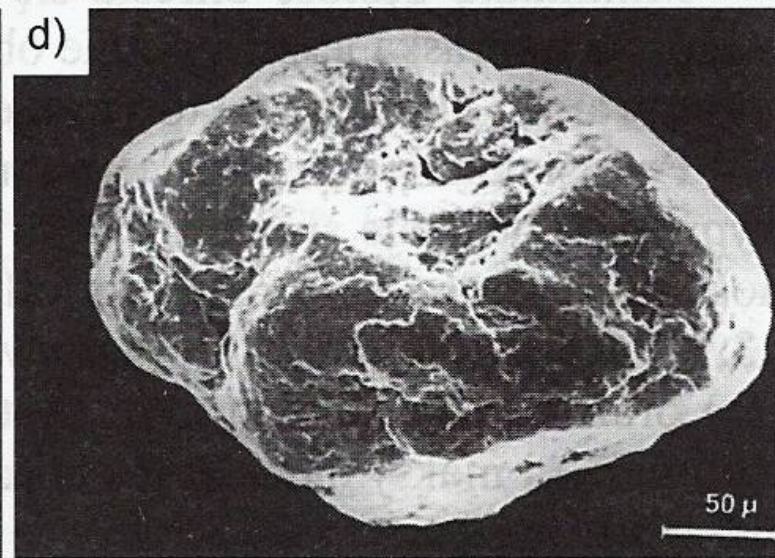
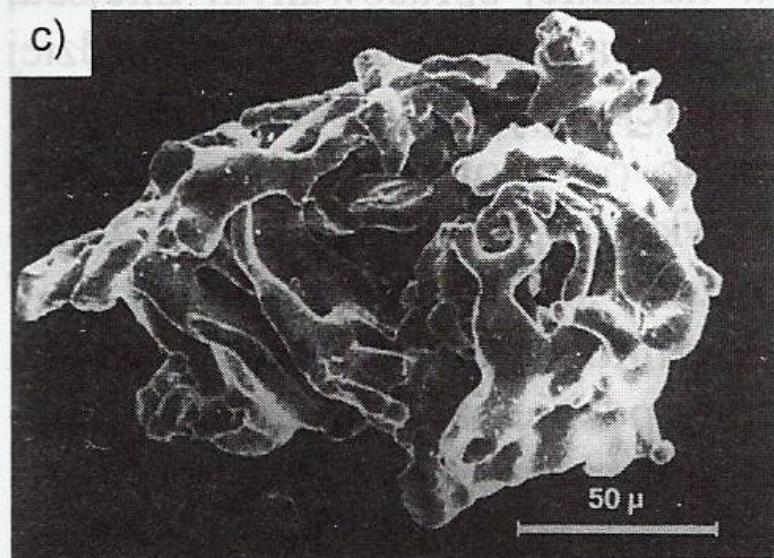
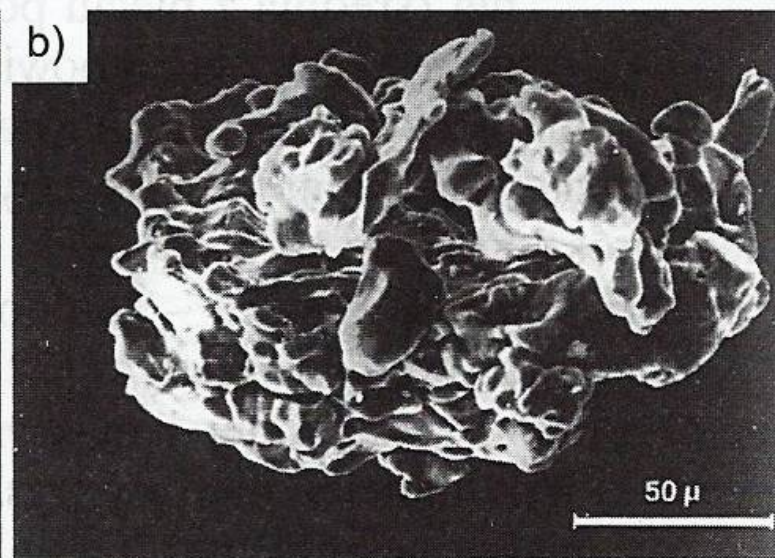
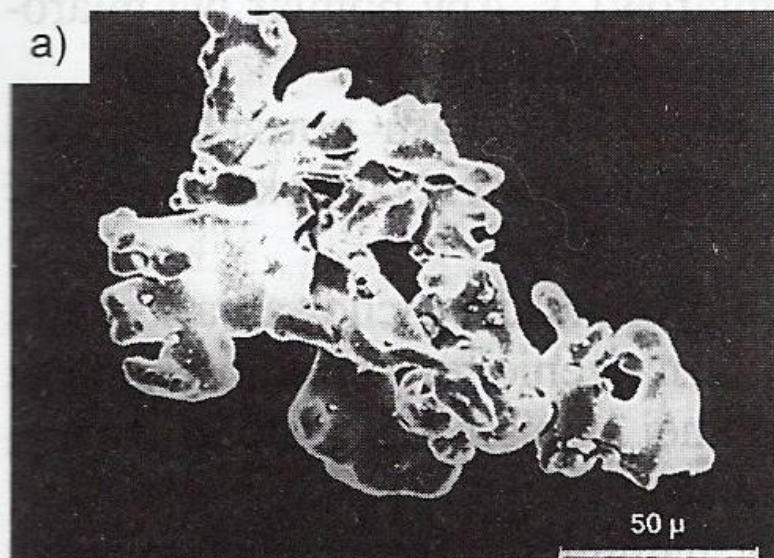


Rysunek 3.14. Przyrząd do określania gęstości nasypowej proszku **metodą Scotta**. Oznaczenia: 1 – lejek zasypowy, 2 – stojak, 3 – naczynie pomiarowe, 4 – podstawa, 5 – kolumna, 6 – lejek prowadzący, 7 – lejek górny, 8 – łącznik [86]

# Właściwości technologiczne proszku

- **Gęstość nasypowa z usadem** – wartość ilorazu objętości proszku do najmniejszej jego objętości uzyskanej w wyniku wstrząsania
- Oznaczanie gęstości nasypowej polega na zagęszczeniu określonej ilości proszku (zwykle 50 albo 100g) za pomocą urządzenia wstrząsającego albo ręcznie





Rysunek 3.15. Cząstki proszku żelaza o różnej gęstości nasypowej w  $[g/cm^3]$ : a) 1,7; b) 2,6; c) 2,4; d) 3,7 [30]

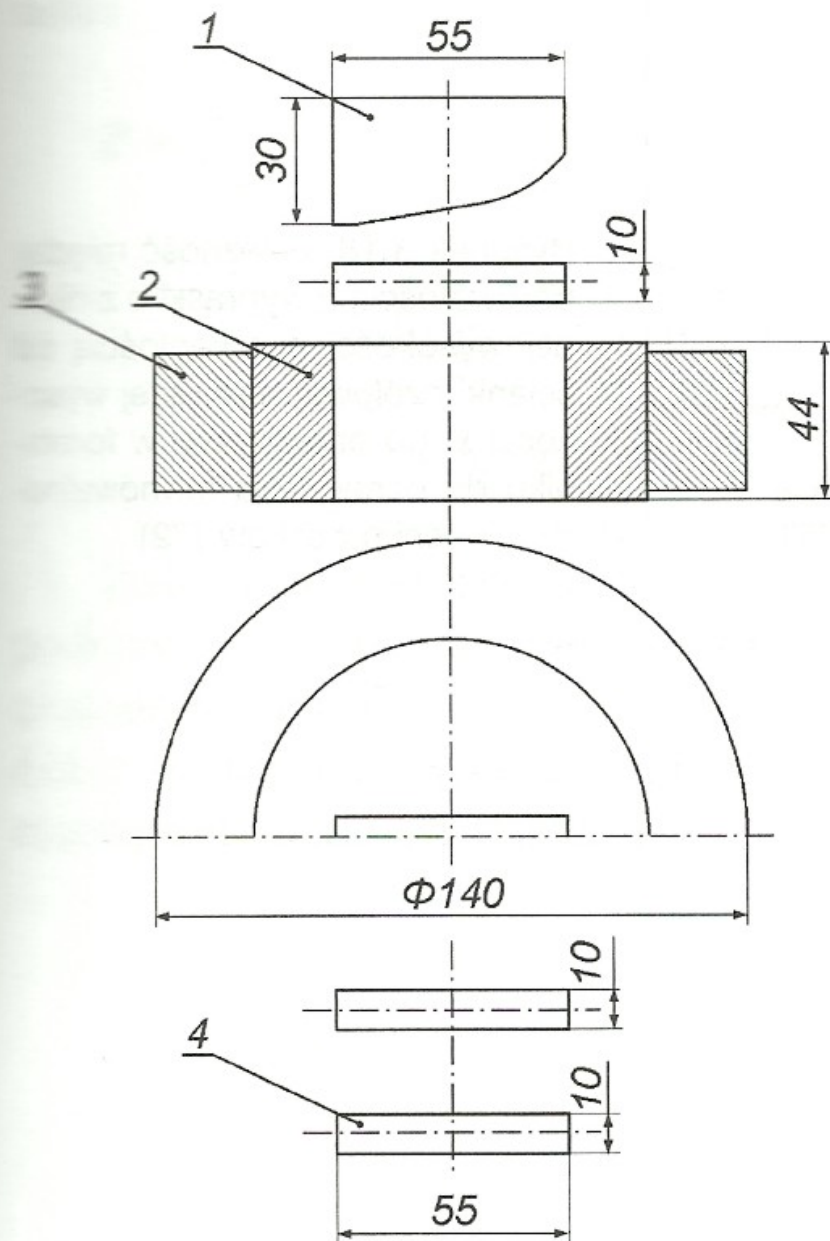


# Właściwości technologiczne proszku

- Gęstość teoretyczna proszku  $-\rho_{\text{teor}}$  g/cm<sup>3</sup> – określana jest piknometrycznie i w praktyce jest taka sama jak gęstość materiału, z którego wytworzono proszek
- Sypkość proszku – czas przesypywania masy próbki proszku przez lejek o określonym kształcie. Zwykle jest to lejek Halla

## Właściwości technologiczne proszku

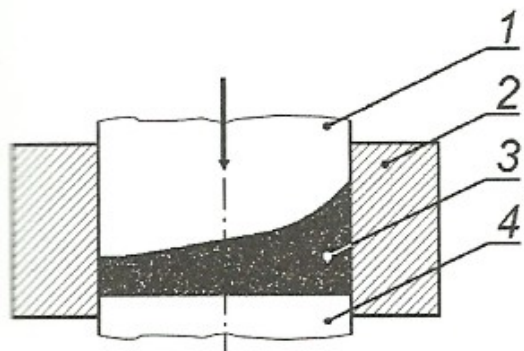
- **Formowalność proszku** – zdolność proszku do zachowania kształtu w wyniku prasowania w matrycy
- Oznaczenie formowalności polega na określeniu minimalnej i maksymalnej miejscowej gęstości  $r_1$  i  $r_2$  wypraski wykonanej w matrycy



Rysunek 3.16. Foremnik do prasowania wyprasek stosowany do oznaczania formowalności proszków. Oznaczenia: 1 – stempel górny umożliwiający uzyskanie wypraski o zmiennej wysokości, 2 – matryca, 3 – oprawa matrycy, 4 – stempel dolny [72]



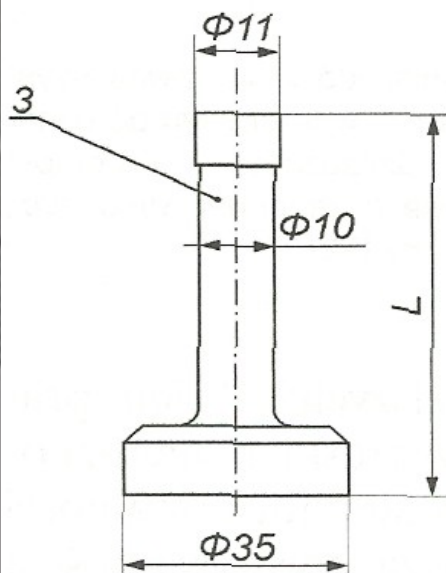
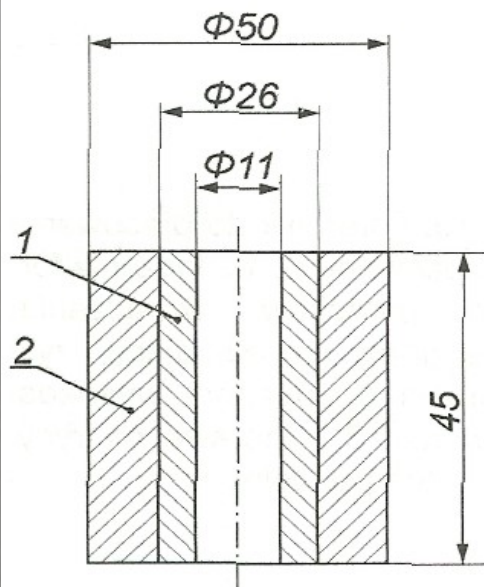
# Właściwości technologiczne proszku



Rysunek 3.17. Sposób prasowania, który umożliwia uzyskanie wypraski o zmiennej wysokości w foremniku do oznaczania formowalności proszków. *Oznaczenia:* 1 – stempel górny, 2 – matryca, 3 – wypraska o zmiennej wysokości, 4 – stempel dolny [72]

# Właściwości technologiczne proszku

- **Zagęszczalność proszku** – podatność proszku do zmniejszania objętości w wyniku prasowania w matrycy
- **Pomiar zagęszczalności** polega na określaniu zmian gęstości wyprasek tworzonych w matrycy cylindrycznej w zależności od ciśnienia prasowania
- **Najlepszą zagęszczalność** posiadają proszki z materiałów o małej twardości, dużej gęstości nasypowej, frakcji 0.063-0.125 mm oraz dużym zróżnicowaniu wielkości cząstek



Górny stempel  
 $L = 40 \text{ mm}$   
 Dolny stempel  
 $L = 70 \text{ mm}$

Rysunek 3.19. Matryca do prasowania wyprasek stosowana do określania zagęszczalności. Oznaczenia: 1 – wkładka matrycowa, 2 – korpus, 3 – stempel,  $L$  – długość stempla górnego i dolnego [70]



# Przygotowanie proszków

- Spiekane elementy maszyn są często wytwarzane z mieszanin proszków kilku metali lub metali i niemetalu np..
- Fe-Cu
- Fe-Cu-Ni
- Fe-Mo
- Fe-C
- Cu-C
- Cu-Sn-C

# Przygotowanie proszków

- Właściwości fizyczne i chemiczne użytych proszków oraz właściwości wytworzonych z nich spieków zależą w dużym stopniu od dokładności wymieszania proszków metalu podstawowego, pierwiastków stopowych, dodatków poślizgowych oraz czystości chemicznej i rozmiarów cząstek poszczególnych składników proszków

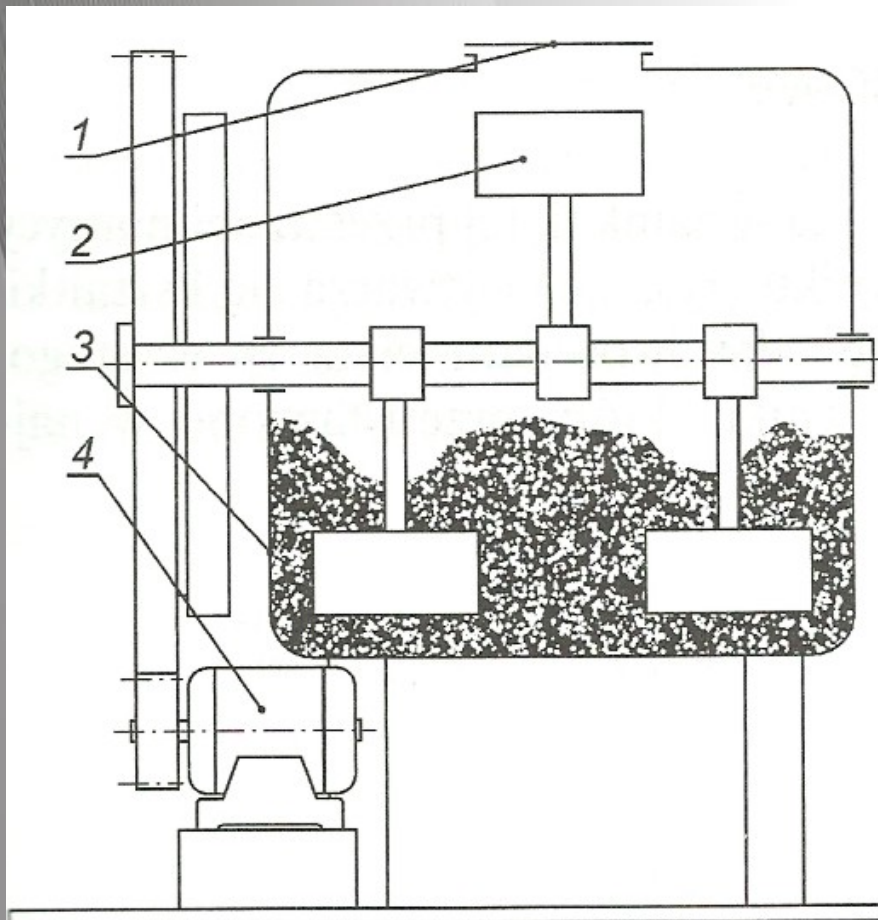
# Przygotowanie proszków

- Przygotowanie mieszaniny proszków polega na
- Wyżarzaniu redukującym proszki metali w atmosferze wodoru w temperaturze 400-800°C w celu usunięcia powierzchniowych warstw tlenków
- Odważeniu porcji proszków metali i środków poślizgowych
- Mieszaniu w mieszalnikach albo młynach

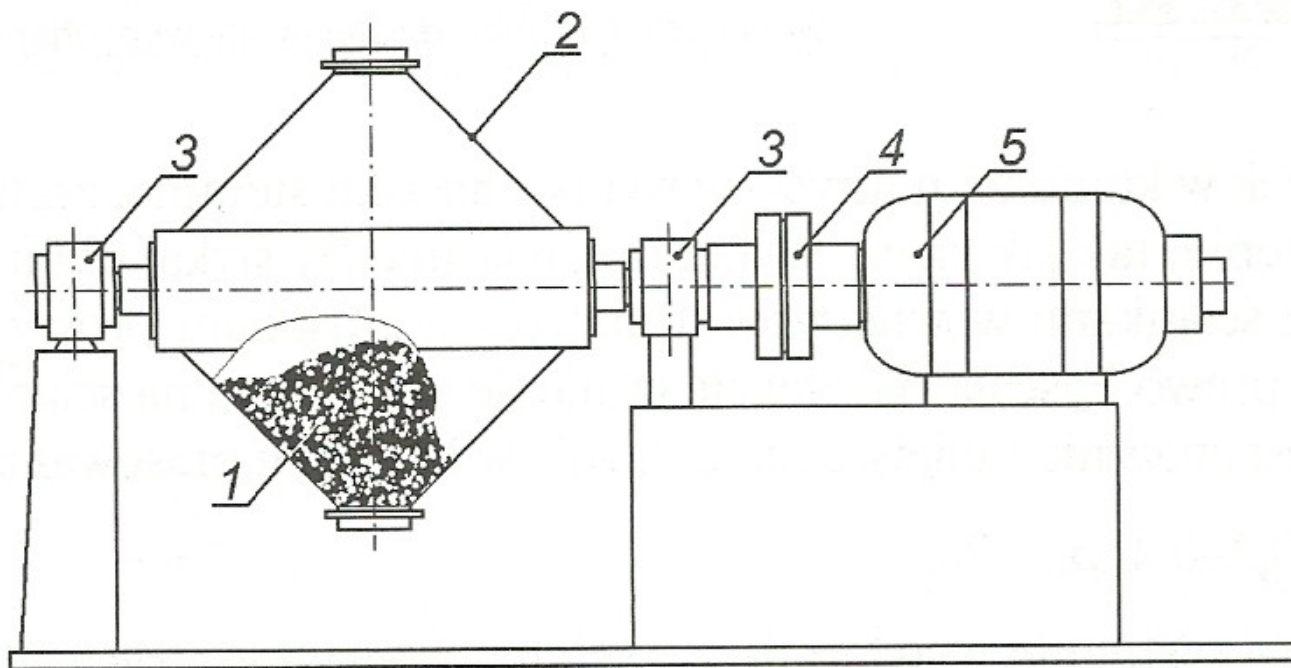


# Przygotowanie proszków

- Proszki metali plastycznych są mieszane zwykle w mieszalnikach łopatkowych albo stożkowych
- Proszki metali twardych i kruchych mieszają się w młynach kulowych
- Najczęściej mieszanie wykonywane jest na sucho

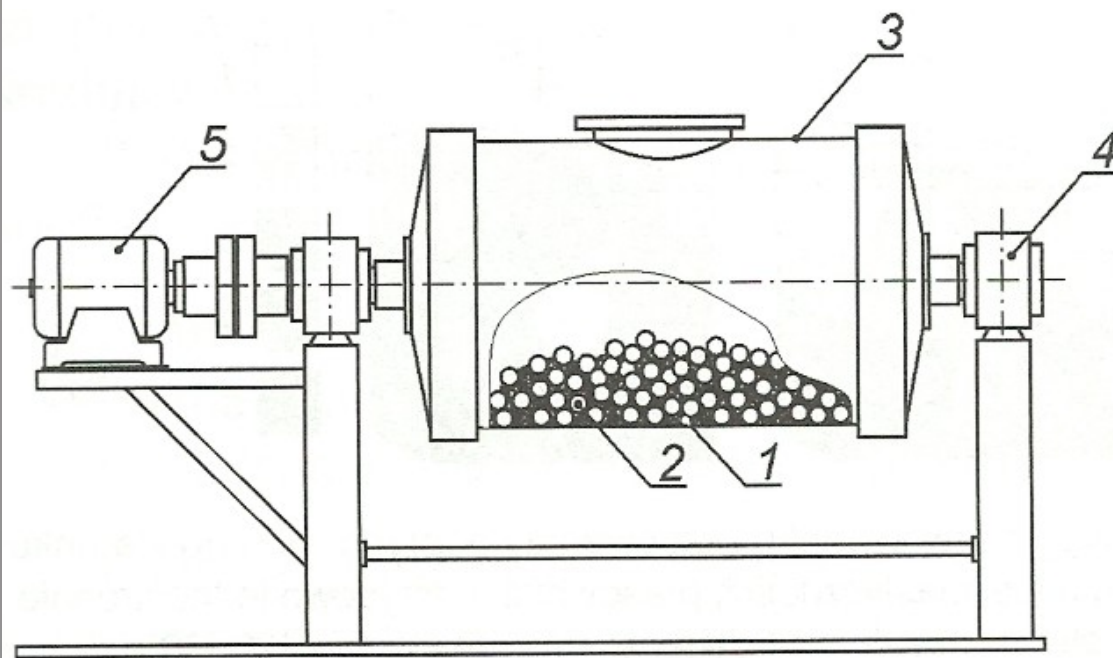


Rysunek 4.1. Schemat mieszalnika łopatkowego: 1 – otwór zasypowy, 2 – łopatki, 3 – mieszanina proszków, 4 – silnik i przekładnia napędowa



Rysunek 4.2. Mieszalnik stożkowy: 1 – proszek, 2 – komora mieszania, 3 – łożyska wału mieszalnika, 4 – sprzęgło, 5 – silnik





Rysunek 4.3. Młyn kulowy:  
1 – proszek, 2 – kule, 3 – komo-  
ra mieszania, 4 – łożyska wału  
mieszalnika, 5 – silnik

# Przygotowanie proszków

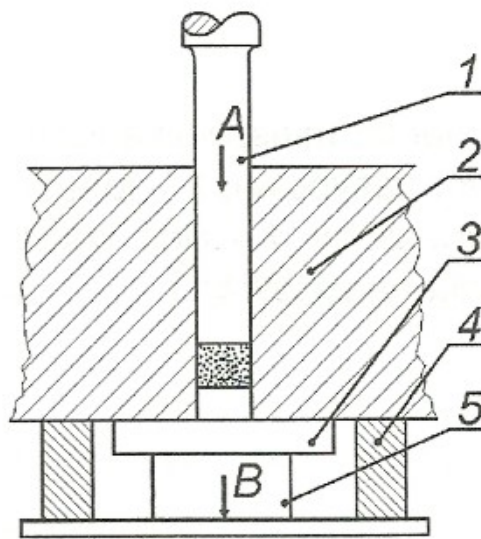
- W trakcie mieszania następuje ścieranie się cząstek powodujące ich zaokrąglenie, wygładzenie powierzchni oraz wzrost gęstości nasypowej
- Mieszanie proszków różniących się znacznie gęstością, rozmiarami i kształtem cząstek wykazuje tendencje do segregacji podczas mieszania
- Proces mieszania prowadzi się wtedy na mokro z wykorzystaniem środków zwilżających: spirytusu, benzyny lub wody

# Prasowanie

- Prasowanie jest formowaniem proszku w zamkniętej przestrzeni matrycy pod wpływem ciśnienia. W prasowniku wytwarza się kształtki tzw. wypraski charakteryzujące się właściwościami ciała sprężystego



# Prasowanie



Rysunek 4.4. Prosty prasownik do prasowania jednostronnego: Oznaczenia: 1 – ruchomy stempel górny, 2 – matryca, 3 – nieruchomy stempel dolny, 4 – pierścień oporowy, 5 – podkładka usuwana podczas wypychania. A – kierunek działania siły prasowania, B – kierunek działania siły wypychania [1]

# Prasowanie

- **Proszek w komorze matrycy –przez nacisk stempla- zachowuje się w przybliżeniu jak ciecz**
- Na skutek tarcia między stykającymi się cząstkami oraz ściankami wewnętrznymi matrycy a cząstkami proszku nie jest spełnione prawo Pascala
- Ciśnienie wywierane na ścianki boczne jest znacznie mniejsze i stanowi 0.3-0.4 ciśnienia prasowania

# Prasowanie

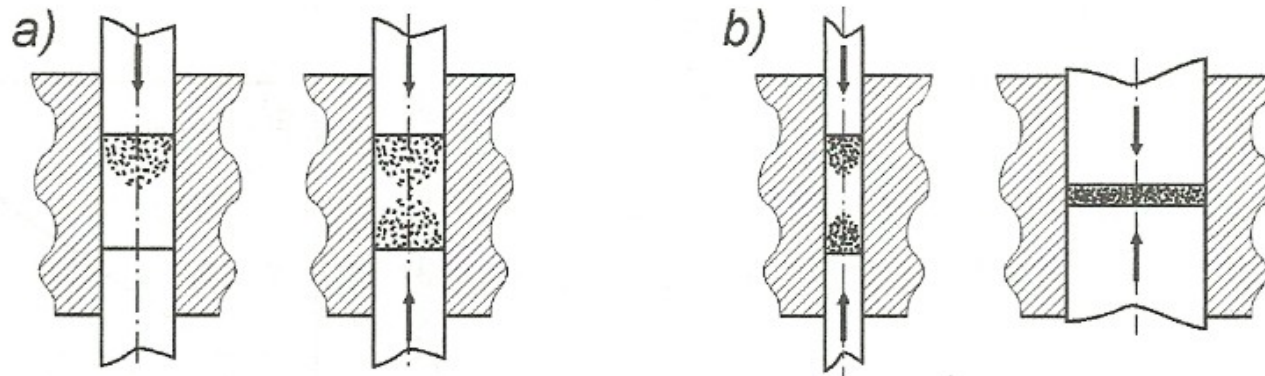
- **Siły tarcia powodują spadek ciśnienia a przez to zmniejszenie gęstości wypraski w kierunku prasowania**



# Prasowanie

- Różnice w rozkładzie gęstości w wyprasce można zmniejszyć poprzez
- Zastosowanie środków poślizgowych
- Smarowanie ścianek bocznych matrycy
- Zastąpienie prasowania jednostronnego dwustronnym

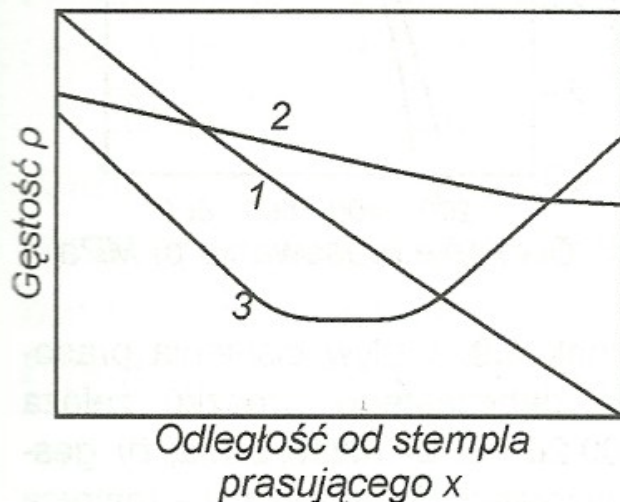
# Prasowanie



Rysunek 4.6. Rozkład gęstości w wyprasce z proszku o dużej plastyczności w zależności od sposobu prasowania i wartości ilorazu wysokości do średnicy wypraski. Prasowanie jedno- i dwustronne (a) i prasowanie dwustronne (b) wypraski o małym i dużym stosunku wysokości do średnicy. Obszary z podwyższoną gęstością zakropkowano [85]

# Prasowanie

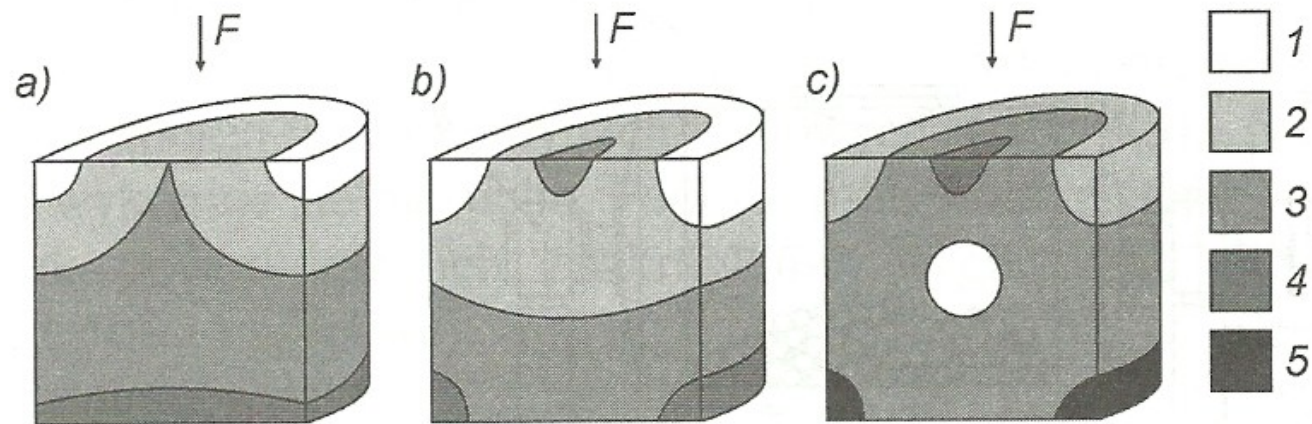
- Rozkład gęstości w wyprasce jest bardziej równomierny w przypadku prasowania dwustronnego oraz małej wartości ilorazu wysokości do średnicy wypraski



Rysunek 4.7. Zależność między gęstością wypraski  $\rho$  a odległością od stempla prasującego  $x$  przy prasowaniu: 1 – jednostronnym, 2 – jednostronnym ze środkiem poślizgowym, 3 – dwustronnym [86]



# Prasowanie



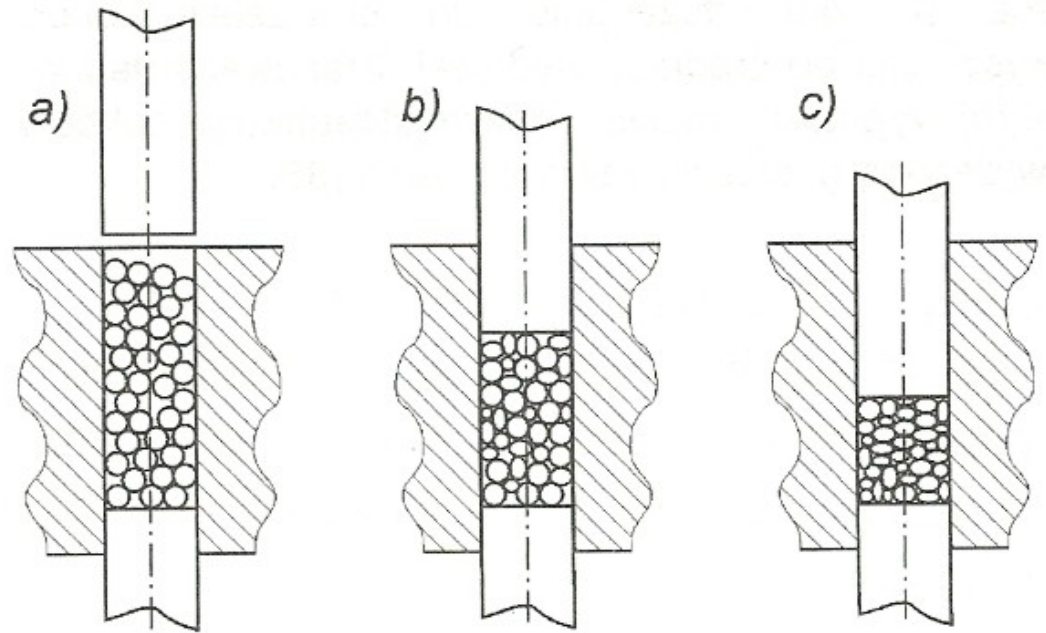
Rysunek 4.5. Rozkład gęstości  $\rho$  wypraski w kierunku prasowania i poprzecznym do kierunku prasowania w wyprasce z proszku o małej plastyczności, prasowanej matrycowo jednostronnie.

Ciśnienie prasowania: a) małe; b) średnie; c) duże;  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4 < \rho_5$  [29, 36]

# Prasowanie

- W trakcie prasowania proszku plastycznego wyróżnia się następujące stadia
- Przemieszczanie się cząstek względem siebie
- Odkształcenie sprężyste cząstek proszku
- Odkształcenie plastyczne cząstek proszku
- W trakcie prasowania proszku z metalu kruchego zamiast odkształcenia plastycznego następuje kruszenie cząstek

# Prasowanie



Rysunek 4.8. Stadia prasowania: a) proszek swobodnie zasypany; b) wzajemne przesuwanie się cząstek proszku i załamывanie się mostków; c) odkształcenie sprężyste i plastyczne cząstek proszku



# Prasowanie

- Przemieszczanie się cząstek proszku względem siebie w wyniku przyłożonego ciśnienia prasowania jest połączone z pokonywaniem tarcia i pokonywaniem mostków
- Powstają one na skutek wzajemnego klinowania się ziaren proszku
- Utrudnia to dokładne wypełnienie komory zasypowej

# Prasowanie

- Wzajemne przesuwanie się i ruch obrotowy cząstek proszku względem siebie (I etap prasowania) powoduje dopasowywanie się ich i stopniowy wzrost gęstości
- Dochodzi też do odrywania się powierzchni tlenkowych od cząstek proszku
- Dalszy wzrost ciśnienia powoduje odkształcenie sprężyste a potem plastyczne cząstek
- Odślonięcie czystych powierzchni metalicznych prowadzi do tworzenia zgrzein między cząstkami proszku

# Prasowanie

- Dalszy wzrost ciśnienia prasowania prowadzi do wzrostu gęstości wypraski
- Wielkość przyrostu gęstości wypraski jest największa dla małych wartości ciśnienia prasowania, potem maleje a przy ciśnieniu 1000 MPa zbliża się do zera



# Prasowanie

- Po usunięciu obciążenia wypraska rozpręża się nieznacznie w kierunku działania nacisku- skutek wyzwala się naprężeń i odkształcenia sprężystego
- Rozprężanie w kierunku poprzecznym ograniczone – ścianki matrycy
- Powoduje to zakleszczenie się wypraski w matrycy i wyjęcie jej wymaga przyłożenia tzw. siły wypychającej

# Prasowanie

- Podstawowym parametrem efektywności prasowania jest gęstość wypraski, która zależy od:
  - Właściwości proszku
  - Sposobu i warunków prasowania
  - Rodzaju stosowanych środków poślizgowych

# Prasowanie

- Zagęszczalność proszku metalu zależy od rozmiarów i kształtu jego cząstek oraz od innych właściwości proszku
- Twardości
- Stopnia utlenienia
- Zawartości gazów



# Prasowanie

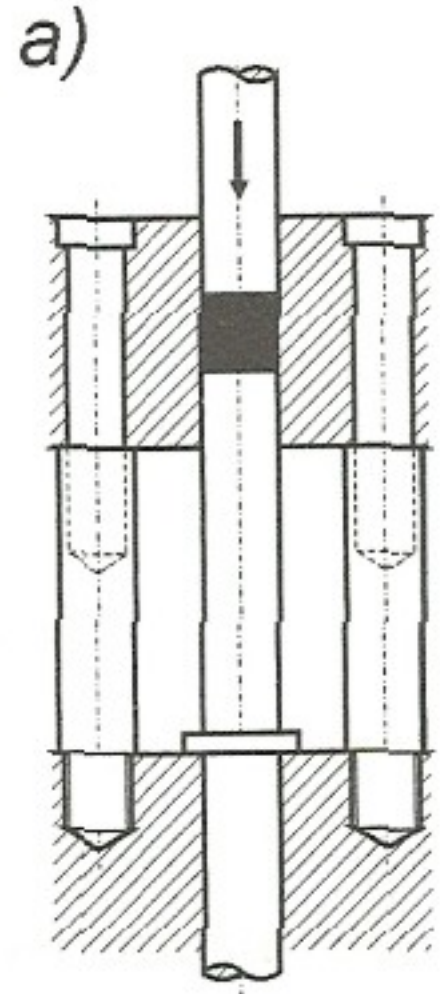
- Proszki z cząstkami o średnich rozmiarach mają większą zagęszczalność niż proszki drobne i grube
- Większe jest tarcie w trakcie prasowania proszków drobnych i mniejsze wypełnienie komory zasypowej w czasie prasowania proszków grubych
- Najlepszą zagęszczalnością charakteryzują się proszki kuliste

# Prasowanie

- **Stosowane są cztery metody prasowania do zagęszczenia proszków**
- Jednostronne
- Dwustronne
- Swobodne
- sterowane

# Prasowanie

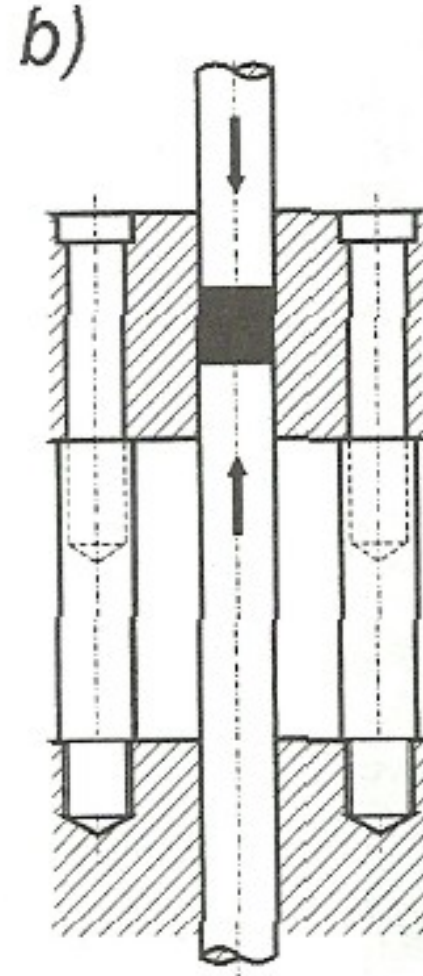
- **Prasowanie jednostronne** – polega na wywieraniu jednostronnego nacisku stemplem górnym na proszek w matrycy
- Powoduje nierównomierny rozkład ciśnienia na proszek
- Najwyższe ciśnienie – pod stemplem górnym, najniższe – pod stemplem dolnym
- Górna część wypraski ma większą gęstość niż dolna





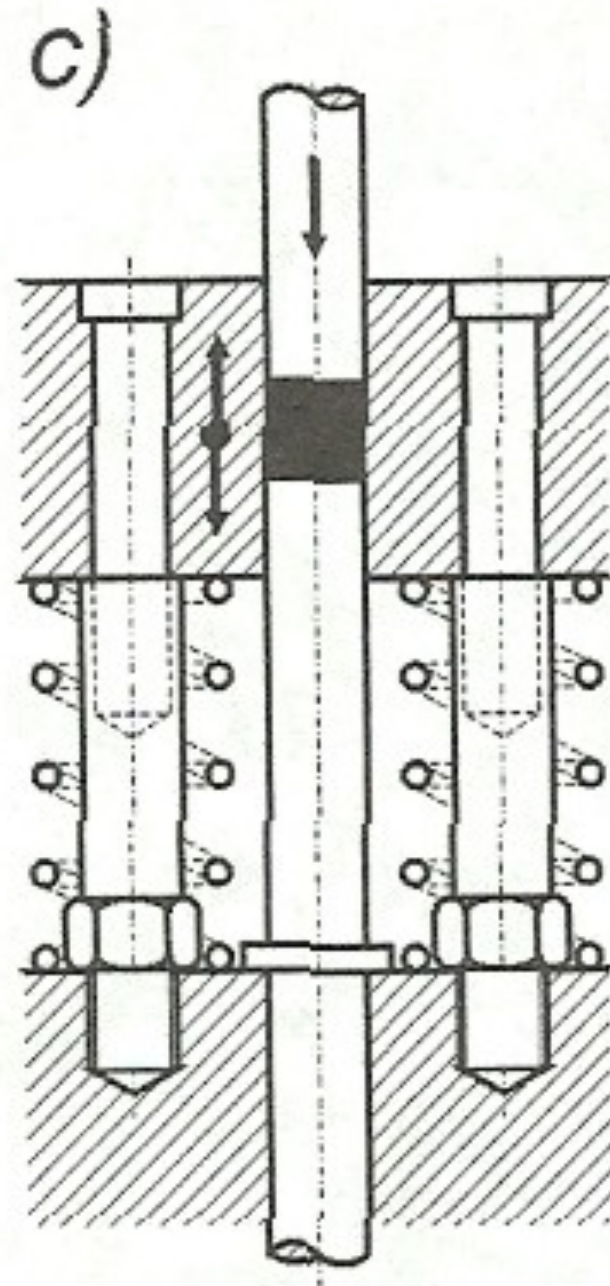
# Prasowanie

- Prasowanie dwustronne polega na wywieraniu dwustronnego nacisku stemplem górnym i dolnym na proszek w matrycy
- Sposób ten zapewnia bardziej równomierny rozkład ciśnienia w proszku w trakcie prasowania i bardziej równomierny rozkład gęstości w wyprasce
- Najmniejsza gęstość ma wypraska połowie wysokości



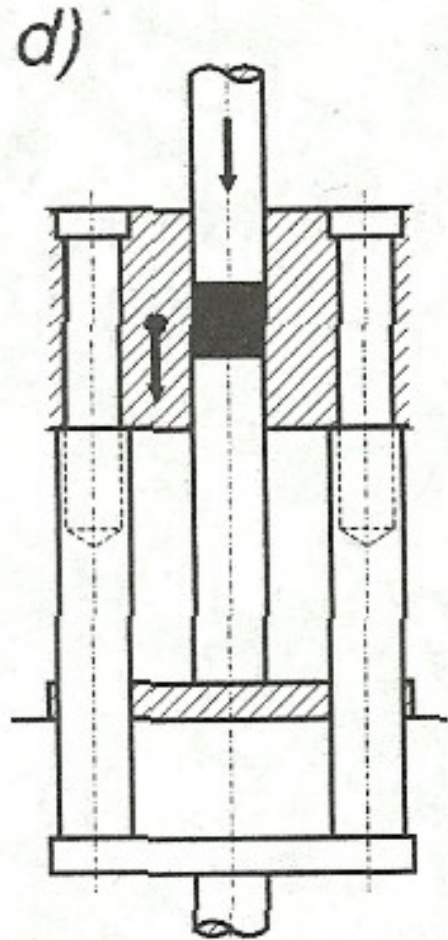
# Prasowanie

- **Prasowanie swobodne** – odmiana dwustronnego działającego na prasach jednostronnych
- W metodzie tej element jest prasowany stemplem górnym, przy nieruchomym stemplu dolnym z jednoczesnym posuwem matrycy w dół na skutek działania sił tarcia między prasowanym proszkiem a bocznymi ściankami matrycy
- Matryca jest podparta sprężynami ściskanymi w trakcie prasowania



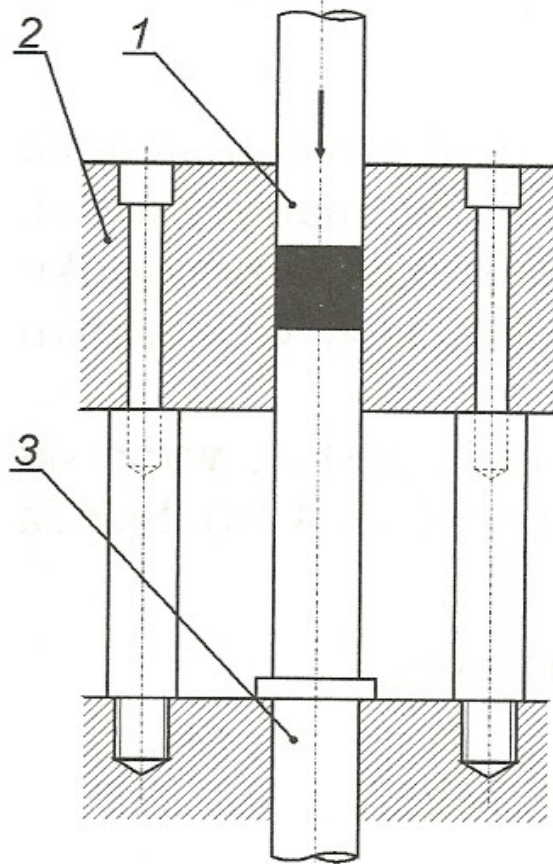
# Prasowanie

- Prasowanie sterowane charakteryzuje się ruchem matrycy współbieżnym z ruchem stempla górnego. Stempel dolny pozostaje nieruchomy
- Matryca przesuwa się dwukrotnie wolniej niż stempel górny co daje efektywny ruch względny matrycy w stosunku do obydwu stempli
- Wypchnięcie wypraski następuje nie w wyniku ruchu dolnego stempla w górę ale przesuwania się matrycy w dół

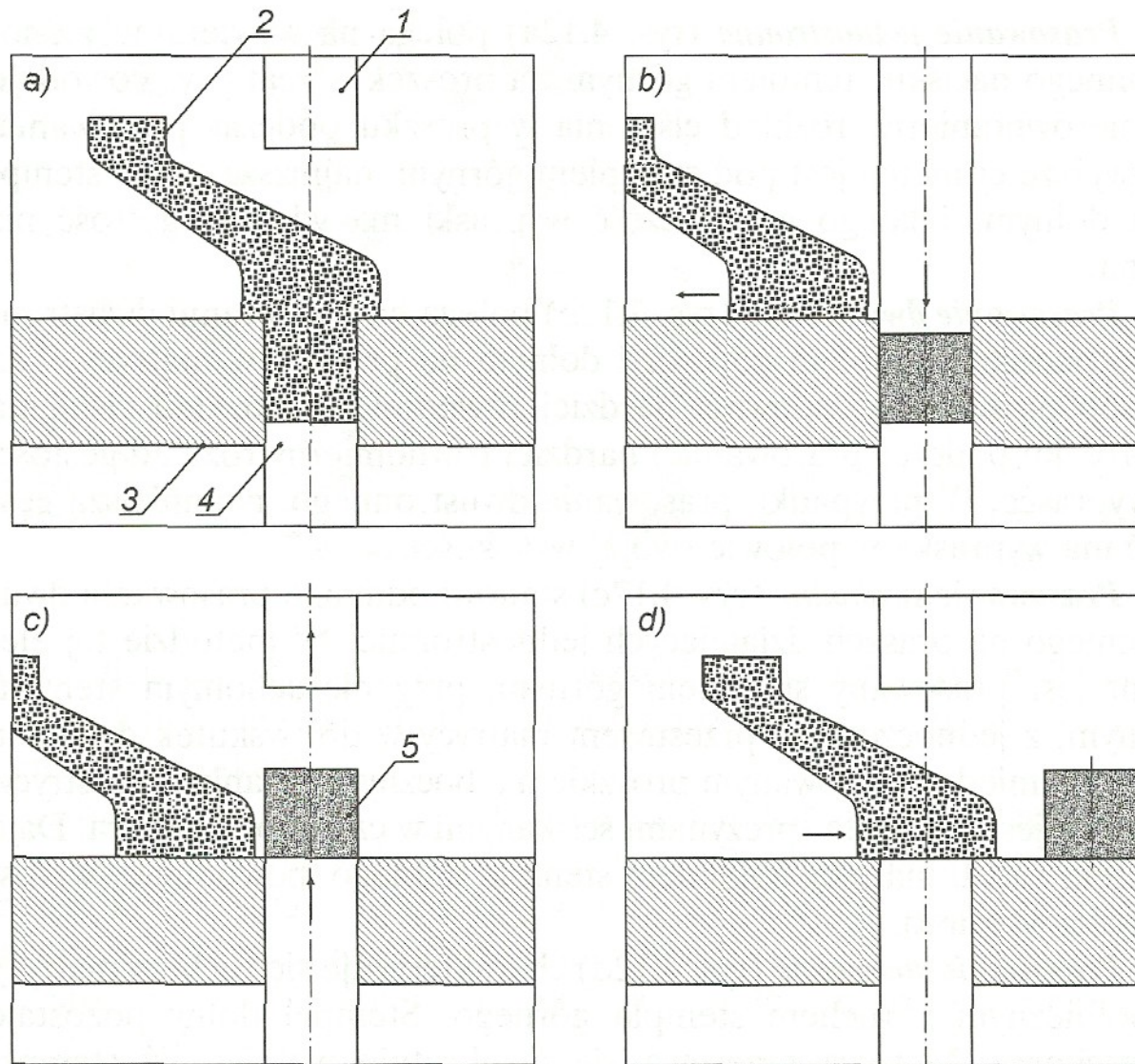




# Prasowanie

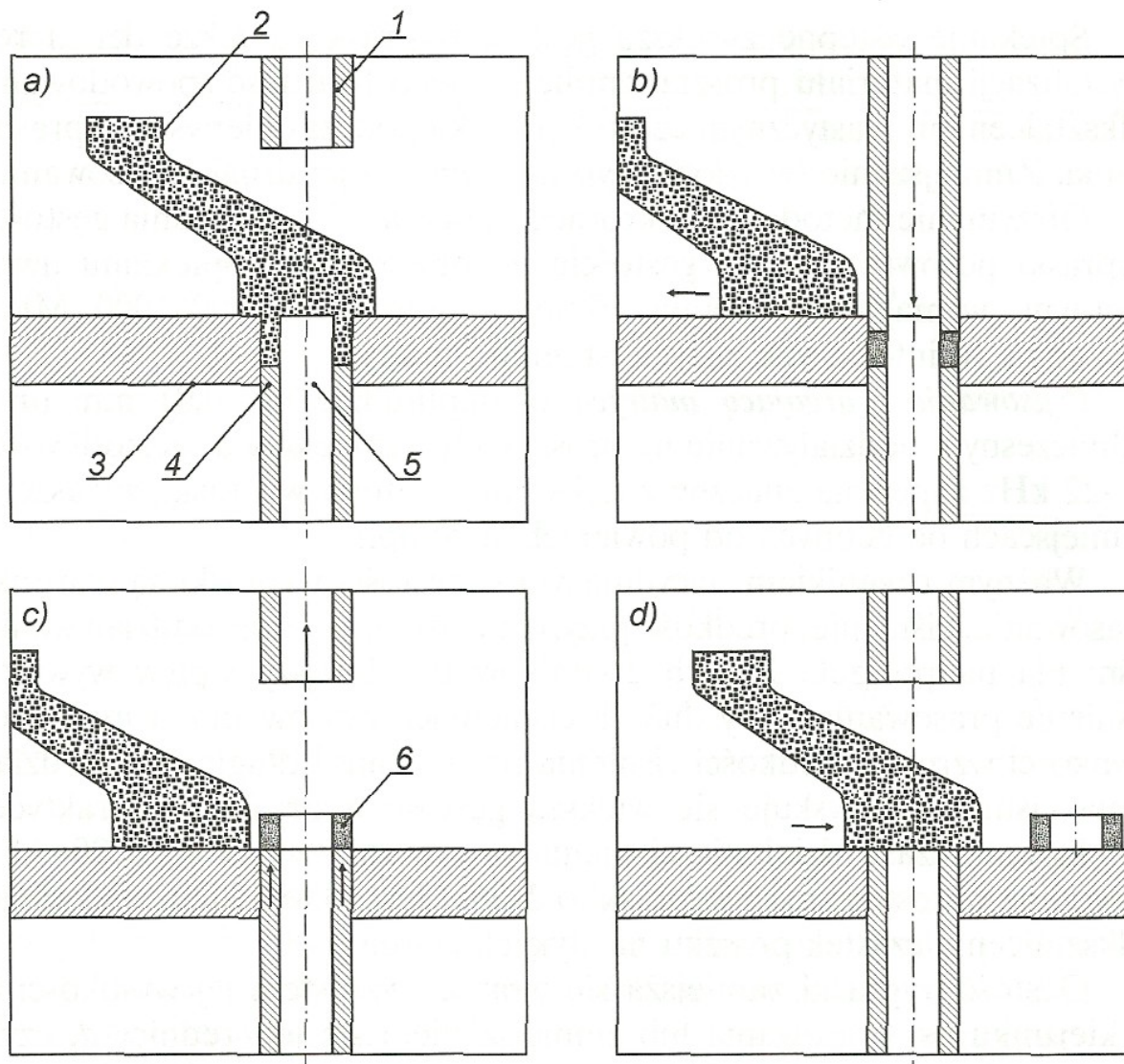


Rysunek 4.13. Prasowanie jednostronne na prasie dwustronnego działania. Oznaczenia: 1 – stempel górny, 2 – stempel dolny wypychacza, 3 – matryca [1]



Rysunek 4.14. Prasowanie dwustronne wałka z automatycznym zasypem proszku: a) zasypywanie proszku; b) prasowanie; c) wypychanie wypraski; d) usunięcie wypraski i kolejne zasypywanie proszku. Oznaczenia: 1 – stempel górny, 2 – dozownik proszku, 3 – matryca, 4 – stempel dolny, 5 – wypraska





Rysunek 4.15. Prasowanie dwustronne tulei z automatycznym zasypem proszku: a) zasypywanie proszku; b) prasowanie; c) wypychanie; d) – usunięcie wypraski i kolejne zasypywanie proszku. Oznaczenia: 1 – stempel górny, 2 – dozownik proszku, 3 – matryca, 4 – stempel dolny, 5 – rdzeń, 6 – wypraska



# Prasowanie

- **Prasowanie dwukrotne** zapewnia szczególnie dużą gęstość wypraski do 95% gęstości materiału nieporowatego
- Składa się z:
- Prasowania wstępnego pod ciśnieniem 400-600 MPa
- Spiekania wstępnego- krótkookresowego
- Prasowania końcowego pod ciśnieniem 600 MPa
- Spiekania końcowego

# Prasowanie

- **Prasowanie z drgająca matrycą o amplitudzie 0.01 mm przy jednoczesnym oddziaływaniu na proszek ultradźwięków o częstotliwości 21-22 kHz zapewnia znaczne zwiększenie gęstości wypraski, zwłaszcza w miejscach oddalonych od powierzchni stempli**

# Prasowanie

- **Ważnym czynnikiem decydującym o gęstości wypraski są warunki prasowania – ciśnienie, prędkość przyrostu ciśnienia i czas oddziaływania ciśnienia na proszek**
- **Największe znaczenie ma ciśnienie prasowania**
- **Przy dużych ciśnieniach prasowania a mniejszej szybkości wzrostu prędkości ciśnienia prasowania i długim czasie działania ciśnienia uzyskuje się większą gęstości wypraski**
- **Praktycznie – zwiększenie czasu działania ciśnienia prasowania z 2-3 sek. do 20-30 sek. Powoduje wzrost gęstości wypraski o 2-3% - spowodowane większym odkształceniem proszku na stykach ziaren**



# Prasowanie

- Gęstość wypraski zmniejsza się ze wzrostem jej wysokości  $h$  lub zmniejszeniem jej średnicy  $d$  – wzrostem wartości  $h/d$
- Jest to spowodowane stratami ciśnienia na pokonanie sił tarcia
- Wzrost wartości  $h/d$  wymaga dla odpowiedniego zagęszczenia podniesienia ciśnienia prasowania albo użycia prasowania dwustronnego

# Prasowanie

- W praktyce
- Prasowanie jednostronne używane do wytwarzania wałków –  $h/d < 1$  lub  $h/s < 3$
- Dla większych wartości ilorazu  $h/d$   $h/s$  zaleca się stosowanie prasowania dwustronnego, specjalnych metod prasowania

# Prasowanie

- Czynnikiem decydującym o gęstości wypraski są też **środki poślizgowe** wprowadzane do proszku celem zmniejszenia współczynnika tarcia między ziarnami proszku i powierzchnią ścianek matrycy a proszkiem
- **Obecność środków poślizgowych ułatwia wzajemne przesuwanie się cząstek proszku względem siebie i względem ścianek matrycy**



# Prasowanie

- Wpływa to na:
- Zwiększenie gęstości wypraski przy określonym ciśnieniu prasowania
- Zmniejszenie ciśnienia prasowania przy założonej gęstości wypraski
- Zmniejszenie różnic ciśnienia i gęstości w wyprasce
- Zmniejszenie przylepienia się ziaren proszku do ścianek matrycy oraz siły wypychania

# Prasowanie

- Stosowane środki poślizgowe to
- Smary
- Wazelina
- Oleje
- Wosk
- Parafina
- Grafit
- Materiały aktywne powierzchniowo – stearynian cynku, kwas stearynowy, kwas oleinowy
- Są wprowadzane w ilości 0.2-1%

# Prasowanie

Tabela 4.1. Wpływ środków poślizgowych na gęstość i ciśnienie wypychania proszku żelaza HC100.25 firmy Höganäs [94]

| Środek poślizgowy   | Ciśnienie prasowania<br>$p$<br>[MPa] | Gęstość wypraski<br>$\rho$<br>[g/cm <sup>2</sup> ] | Ciśnienie wypychania<br>$p_w$<br>[MPa] |
|---|--------------------------------------|--|--|
| Bez środków poślizgowych                                    | 400                                  | 5,80   | 35,9                                   |
|   | 600                                  | 6,35   | 75,1                                   |
|   | 800                                  | 6,72   | 16,9                                   |
| Smarowanie matrycy: 1% roztwór kwasu stearynowego w etanolu | 400                                  | 6,21   | 15,8                                   |
|   | 600                                  | 6,63   | 23,1                                   |
|   | 800                                  | 6,92   | 50,5                                   |
| Dodatek do proszku: 0,5% stearynianu cynku                  | 400                                  | 6,25   | 16,1                                   |
|   | 600                                  | 6,58   | 22,8                                   |
|   | 800                                  | 6,95   | 29,0                                   |
| Dodatek do proszku: 0,5% kwasu stearynowego                 | 400                                  | 6,25   | 13,8                                   |
|   | 600                                  | 6,53   | 15,5                                   |
|   | 800                                  | 6,90   | 20,6                                   |



# Prasowanie

- W czasie wygrzewania wypraski do temperatury spiekania środki poślizgowe w wyprasce ulegają degradacji przez ich rozkład albo odparowanie
- Na skutek tego są nieobecne w temperaturze spiekania – nie wpływają na procesy dyfuzyjne
- Degradacja albo odparowanie środków poślizgowych powoduje wzrost porowatości – gazowe produkty działają rozluźniająco na zagęszczenie wyrobu

# Urządzenia do prasowania

- Dobór rodzaju i nacisku prasy d prasowania metali zależy od
- Rozmiarów wypraski
- Jej kształtu geometrycznego
- Założonej gęstości
- Właściwości materiałowych i technologicznych użytego proszku
- Wielkości produkcji

# Urządzenia do prasowania

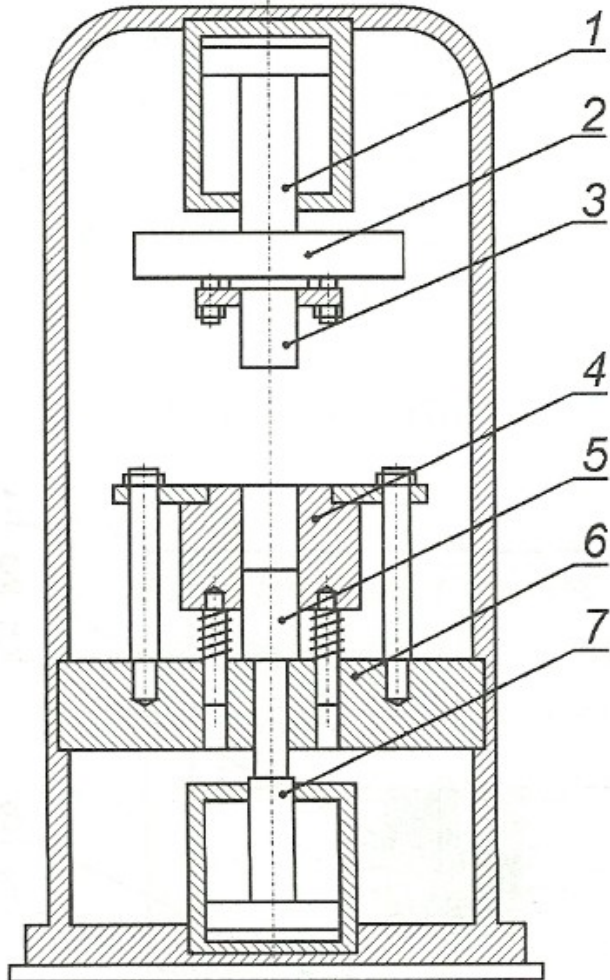
- Małe serie wyprasek o prostych kształtach geometrycznych wykonuje się w prostych formach i zwykle prasach hydraulicznych
- Wypraski w dużych seriach są produkowane na prasach specjalnych- automatycznych lub półautomatycznych
- Prasy specjalne poza dużą wydajnością oferują wytworzenie wyprasek o stałej gęstości i wymiarach



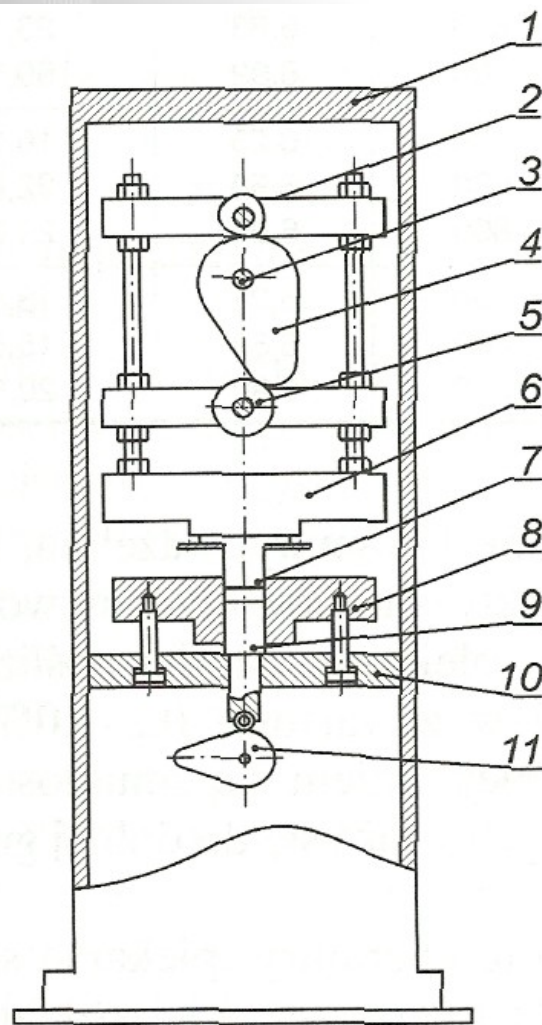
# Urządzenia do prasowania

- W metalurgii proszków używane są prasy mechaniczne i hydrauliczne
- Prasy mechaniczne mają najczęściej napęd krzywkowy mimośrodowy albo korbowy
- Dobór prasy zależy od wielkości produkcji i stopnia zautomatyzowania
- W produkcji seryjnej spieków stosuje się prace umożliwiające zmechanizowanie pracy prasownika

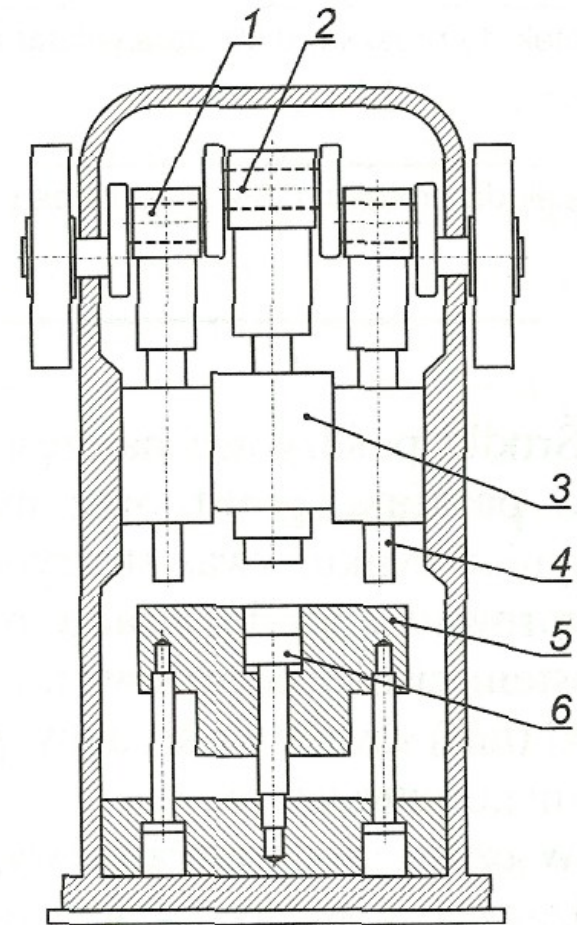
# Urządzenia do prasowania



Rysunek 4.19. Schemat prasy hydraulicznej: 1 – tłok górny, 2 – płyta stempla górnego, 3 – stempel górny, 4 – matryca, 5 – stempel dolny, 6 – płyta stempla dolnego, 7 – tłok dolny [85]



Rysunek 4.17. Schemat prasy krzywkowej:  
 1 – korpus, 2–5 – układ krzywek stempla  
 górnego, 6 – płyta stempla górnego, 7 – stem-  
 pel górny, 8 – matryca, 9 – stempel dolny,  
 10 – płyta stempla dolnego, 11 – krzywka  
 stempla dolnego [85]



Rysunek 4.18. Schemat prasy korbowej:  
 1, 2 – mimośród, 3, 4 – stemple górne,  
 5 – matryce, 6 – stempel dolny [85]



# Urządzenia do prasowania

- Do prasowania części o małej i niezmiennej wysokości w kierunku prasowania – stosuje się prasy jednostronnego działania z działaniem stempla górnego
- Do produkcji wyprasek o zmiennej wysokości wykorzystuje się prasy podwójnego działania wyposażone w trzy współosiowe stemple dolne i górne sterowane niezależnie oraz automatyczny zasypnik proszków
- Wydajność 5-50 cykli/min

# Urządzenia do prasowania

- Ograniczeniem stosowania pras mechanicznych jest ich maksymalny nacisk 1MN
- Przy większych naciskach – prasy mechaniczne mają złożoną konstrukcję i są mniej efektywne
- Przy naciskach 0.6MNi większych stosuje się prasy hydrauliczne
- Wydajność mniejsza – do 15 cykli/min

# Urządzenia do prasowania

- Prasy hydrauliczne działają zgodnie z zasadą stałego ciśnienia a mechaniczne – stałego skoku
- Wypraski wytworzone na prasach mechanicznych mają stałą objętość i wysokość a na hydraulicznych- stałą gęstość przy większej tolerancji wysokości zależnej od dokładności dozowania proszku



# Urządzenia do prasowania

- Cykl formowania wypraski niezależnie od rodzaju masy składa się z
- Zasypu proszku
- Prasowania
- Wypychania lub wyjęcia wypraski

# Inne metody formowania

- Inne metody formowania proszków metali oraz ceramiki
- Prasowanie izostatyczne
- Prasowanie izostatyczne na gorąco
- Prasowanie z przesuwającą się matrycą
- Walcowanie proszków
- Prasowanie udarowe
- Prasowanie matrycowe na gorąco
- Wyciskanie proszków
- Formowanie wibracyjne
- Odlewanie proszków
- Natryskiwanie proszku

# Inne metody formowania

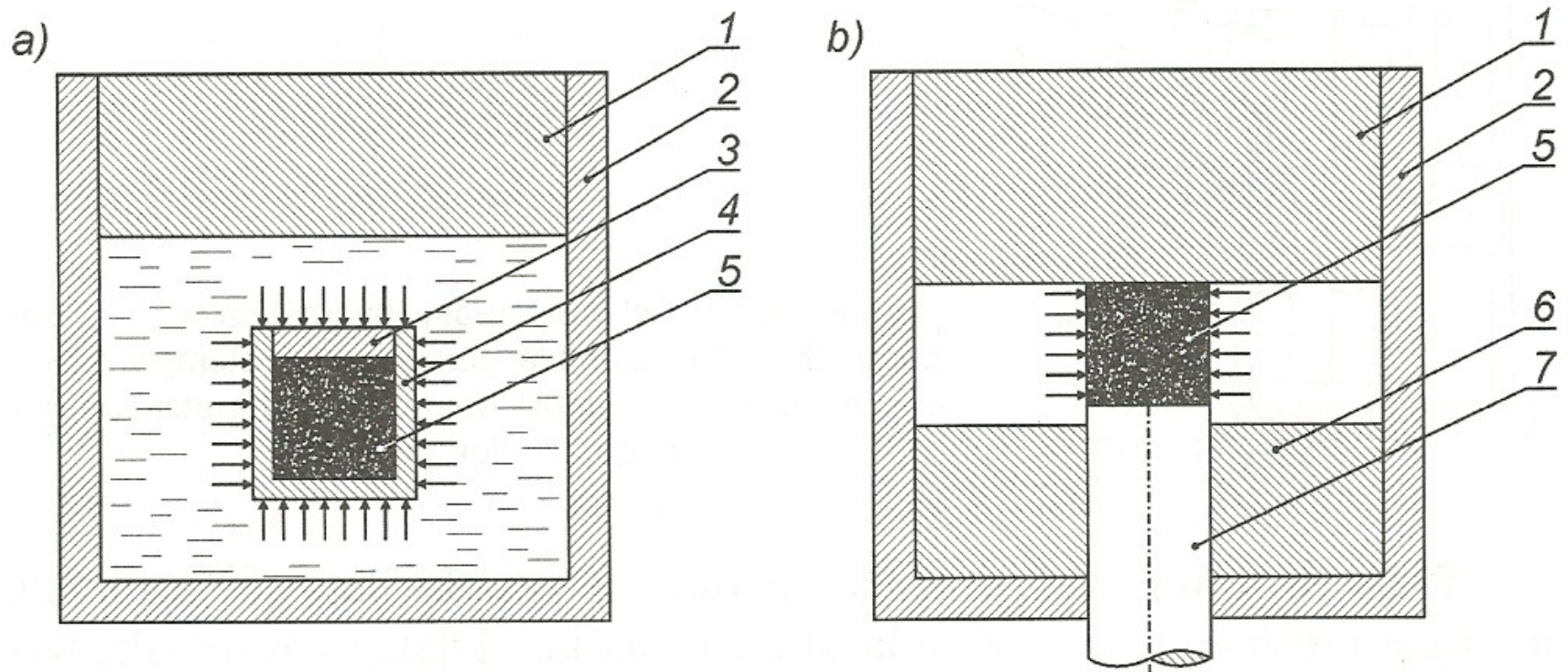
- **Prasowanie izostatyczne-** zagęszczanie proszku w formie z materiału plastycznego w wyniku oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego
- Ciśnienie jest wywierane równomiernie zwykle za pomocą wody lub innej cieczy na wszystkie ścianki formy zgodnie z prawem Pascala



## Inne metody formowania

- Trójosiowy stan naprężeń zapewnia dobre zagęszczenie i równomierny rozkład gęstości w porównaniu z prasowaniem matrycowym
- W przypadku prasowania na mokro po zakończeniu cyklu zagęszczania forma jest wyjmowana z prasy i usuwa się z niej wypraskę
- W metodzie prasowania izostatycznego na sucho forma pozostaje w komorze ciśnieniowej a wypraskę usuwa się wypychaczem

# Inne metody formowania



Rysunek 4.20. Schemat prasowania izostatycznego: a) metoda mokra; b) metoda sucha.  
Oznaczenia: 1 – stempel górny, 2 – komora ciśnieniowa, 3 – zamknięcie elastycznej formy, 4 – forma elastyczna, 5 – zagęszczany proszek, 6 – stempel dolny, 7 – wypychacz [31]

# Inne metody formowania

- Proces prasowania izostatycznego składa się z
- Dozowania proszku
- Napełniania formy
- Zamknięcia formy
- Umieszczenia formy w komorze ciśnieniowej
- Poddania formy działaniu ciśnienia
- Dekompresji formy
- Wyjęciu formy z komory ciśnieniowej
- Wyjęcia wypraski z formy



# Prasowanie izostatyczne

- Zalety prasowania izostatycznego
- Duża gęstość wypraski
- Dobrą równomierność rozkładu gęstości materiału w wyprasce
- Małe naprężenia własne w wyprasce
- Dobre właściwości mechaniczne wypraski
- Ograniczenie konieczności użycia środków poślizgowych
- Jednorodność materiału wypraski
- Możliwość obróbki mechanicznej wypraski
- Zmniejszenie i większą równomierność odkształceń kształtki w trakcie spiekania
- Brak ograniczeń co do rozmiaru i kształtu wyprasek
- Większą plastyczność wypraski

# Inne metody formowania

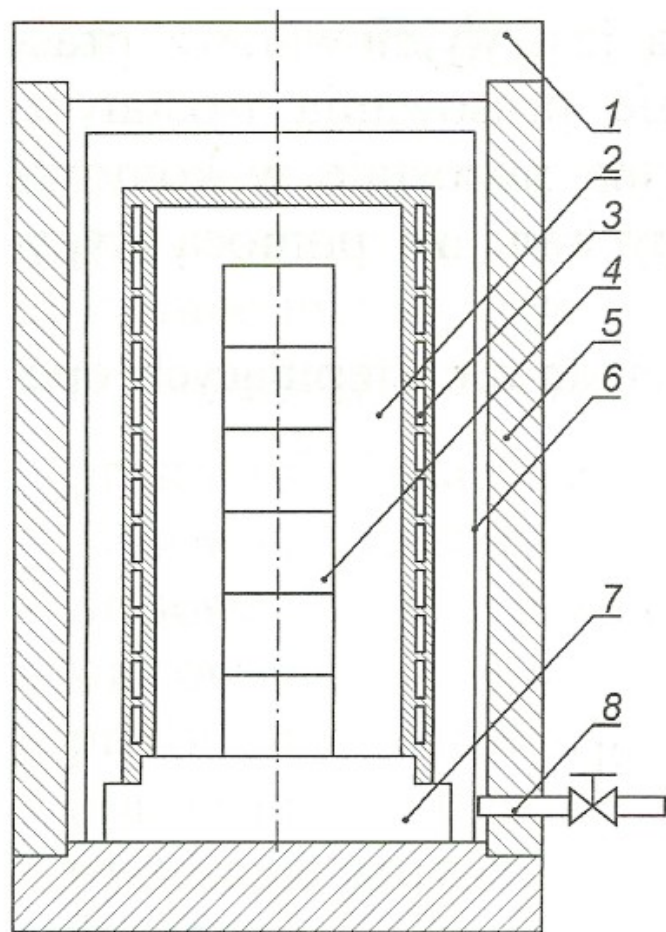
- Prasowanie izostatyczne na gorąco HIP stosuje się do formowania wyrobów albo półwyrobów produktów o porowatości zbliżonej do zera
- Prasowanie izostatyczne na gorąco stosuje się do wytwarzania części maszyn z materiałów trudno zagęszczających się – metali wysokotopliwych, ceramicznych, ceramiczno-metalowcy

# Inne metody formowania

- Czynnikiem wywierającym ciśnienie na zagęszczony proszek w elastycznej formie jest gaz obojętny
- Prasowanie prowadzi się w wysokiej temperaturze w której proszek ma większą plastyczność
- Elastyczne formy wytwarza się z materiałów żaroodpornych o dużej plastyczności w temp. prasowania – metali szkła



# Inne metody formowania

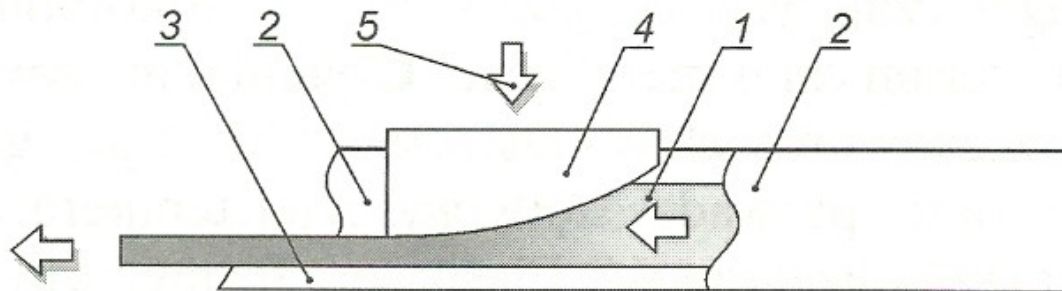


Rysunek 4.21. Schemat prasowania izostatycznego na gorąco. *Oznaczenia:* 1 – pokrywa komory ciśnieniowej, 2 – piec, 3 – elementy grzejne pieca, 4 – prózek w elastycznych formach, 5 – korpus komory ciśnieniowej, 6 – izolacja termiczna, 7 – zamknięcie elastycznej formy, 8 – wlot i wylot gazu wywierającego ciśnienie na elastyczną formę

# Inne metody formowania

- **Prasowanie z przesuwającą się matrycą** – stempel zagęszcza luźno zasypany proszek w matrycy o kształcie rynny
- W każdym cyklu prasowania matryca przesuwa się o długość stempla
- Metodą tą formuje się pręty albo taśmy o znacznej grubości z proszków plastycznych – miedzi żelaza niklu oraz pręty i taśmy bimetaliczne
- Gęstość jest zbliżona do elementów prasowanych matrycowo

# Inne metody formowania



Rysunek 4.22. Prasowanie z przesuwającą się matrycą. Oznaczenia: 1 – proszek, 2 – ściana boczna matrycy, 3 – dno matrycy, 4 – stempel, 5 – kierunek nacisku [9, 86]



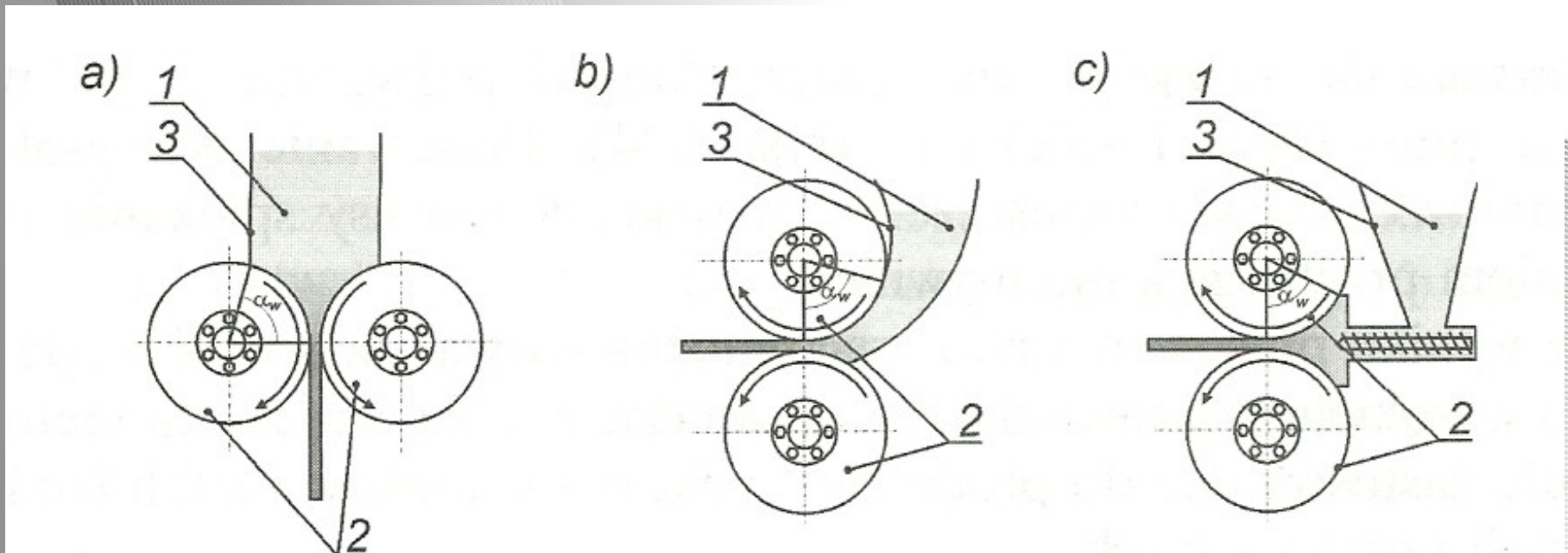
# Inne metody formowania

- Walcowanie proszków pozwala wytwarzać taśmy płaskie albo profilowane z proszków metali plastycznych

Można tą metodą produkować taśmy bimetaliczne – prasowanie proszku na taśmę albo walcowanie dwóch rodzajów proszku

Wykorzystuje się siłę tarcia między powierzchnią walców i cząstkami proszku

# Inne metody formowania



# Inne metody formowania

- Luźno zasypany proszek dostaje się do przestrzeni między walcami i ulega ścisnaniu
- Spiekanie taśm prowadzi się bezpośrednio po walcowaniu w piecach przelotowych z atmosferą wodorową przez kilka minut
- Taśmy mają znaczną porowatość a przez to grubość zwiększającą się z odległością między walcami



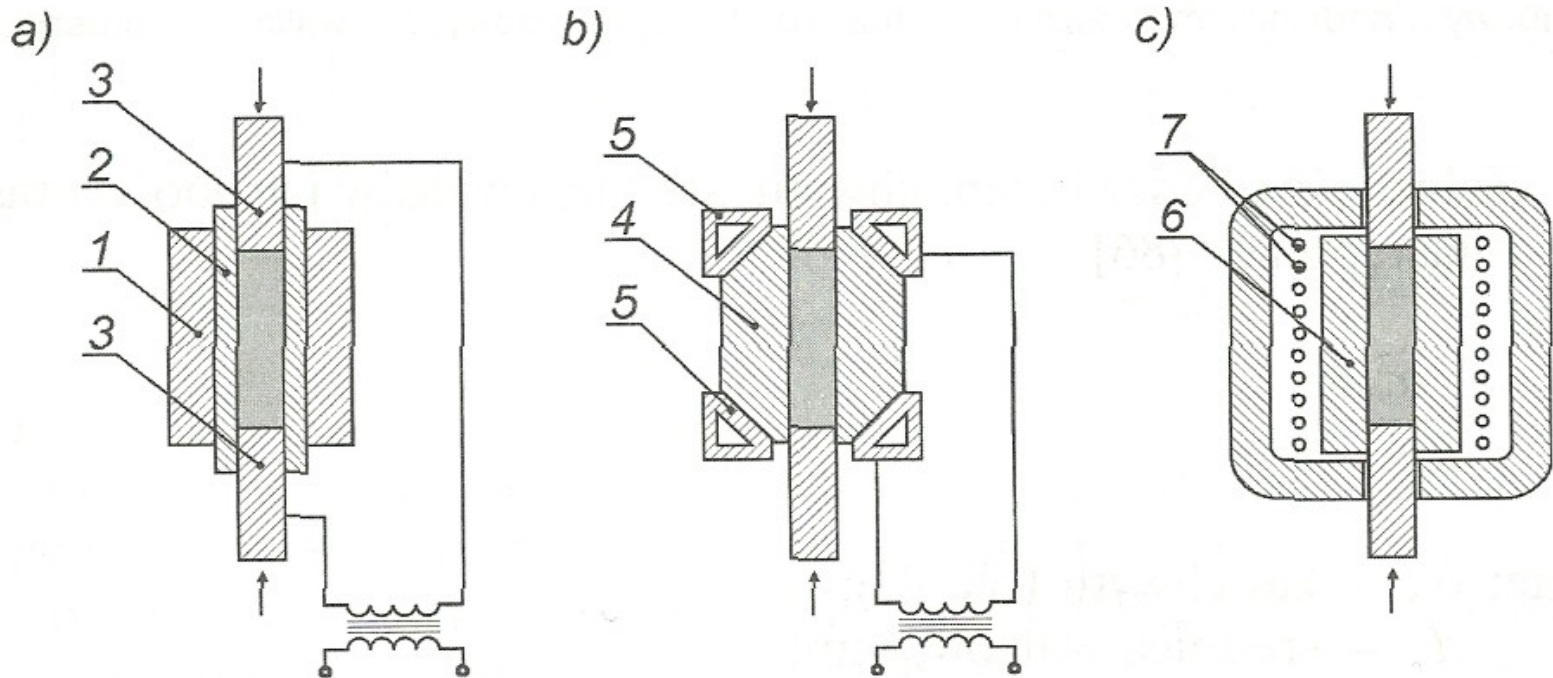
# Inne metody formowania

- **Prasowanie udarowe** – zagęszczanie proszku w formie następuje w wyniku oddziaływania fali wybuchy bezpośrednio na proszek lub za pomocą stempla
- Czas zagęszczania 1/1000 sek. przy 10000 MPa
- Decyduje to o dużej sile i prędkości odkształcenia do kilku tysięcy m/s
- Wykonywane są wypraski o kształcie prętów tulei itp.. o dużej gęstości i dobrej wytrzymałości
- Proces ma charakter jednostkowy i stosowany jest do konstrukcji specjalnych

# Inne metody formowania

- Prasowanie matrycowe na gorąco stanowi połączenie w jednym zabiegu prasowania i spiekania
- Prasowanie w wysokiej temperaturze ułatwia zagęszczanie proszku a procesy spiekania zachodzą intensywniej
- Można uzyskiwać nieporowate spieki o dużej wytrzymałości
- Stosowana dla spieków z proszków metali trudno topliwych i ceramiki

# Inne metody formowania



Rysunek 4.24. Schemat prasowania na gorąco. Ciepło wydzielane w: a) proszku; b) matrycy; c) piecu. Oznaczenia: 1 – stalowy pancerz, 2 – matryca z materiału dielektrycznego, 3 – stemple z materiałów przewodzących prąd, 4 – matryca grafitowa, 5 – elektrody miedziane chłodzone wodą, 6 – matryca stalowa, 7 – elementy grzejne pieca [85]



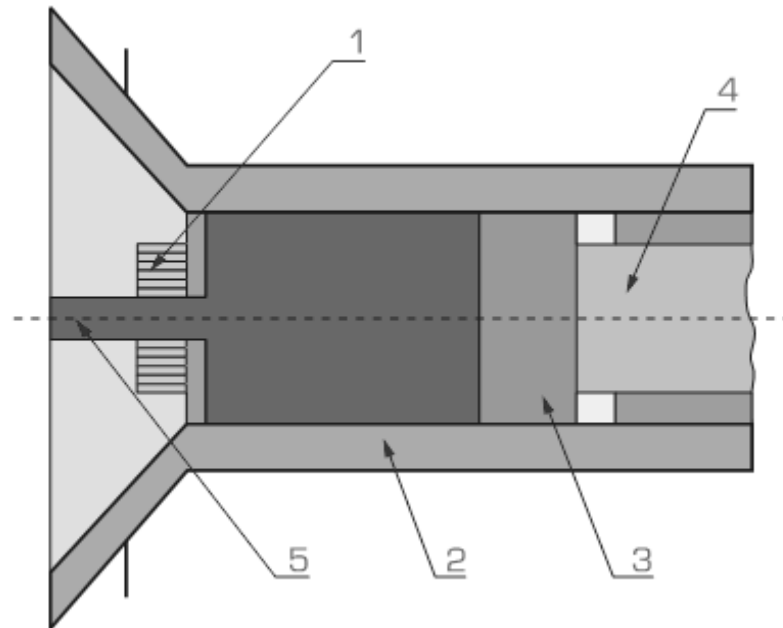
# Inne metody formowania

- **Wyciskanie proszków** – jedna z najstarszych metod wytwarzania prętów rur, profili
- Poprzez odpowiednio ukształtowaną wyciska się gęstą pastę stanowiącą mieszaninę proszku z substancją zlepiającą-plastyfikatorem
- Wyrób tak ukształtowany suszy się i spieka-plastyfikator odparowuje
- Stosowana na półfabrykaty do produkcji włókien żarowych i kształtki o dużej długości i małych wymiarach poprzecznych

# Inne metody formowania

*Schemat wyciskania  
proszków bez osłony;*

- 1 - matryca,*
- 2 - rura stalowa,*
- 3 - popychacz proszku,*
- 4 - stempel,*
- 5 - uformowany proszek*



# Inne metody formowania

- **Formowanie wibracyjne** – proszek luźno zasypany do formy jest zagęszczany wibratorami. Stosowane są wibracje pneumatyczne o częstotliwości 8-15 Hz albo elektromagnetyczne o częstotliwości 50-20 000Hz
- Formowanie dzięki dużej energii drgań pozwala na uzyskanie wyrobów o gęstości do 95% gęstości materiału nieporowatego
- Na gęstość wpływają właściwości proszków
- Stosowana do wyrobów o skomplikowanym kształcie

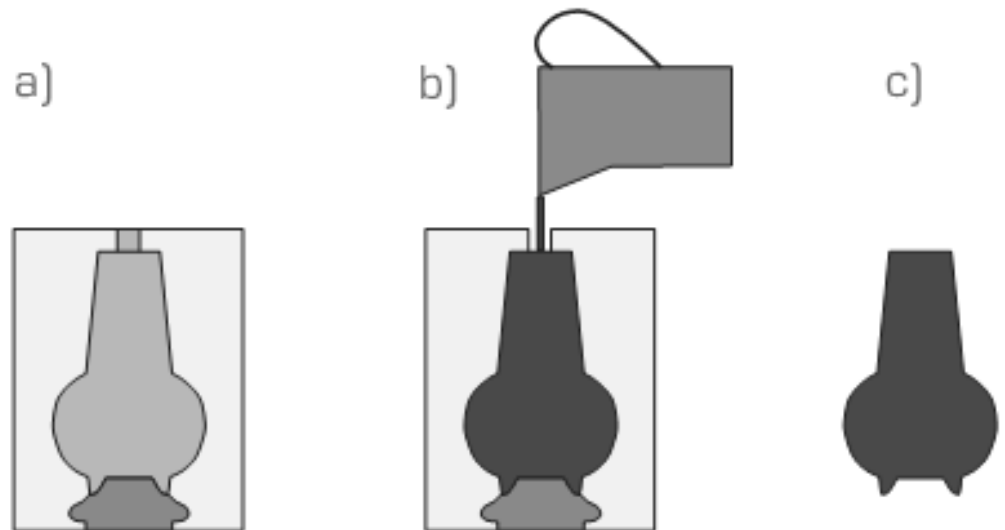


## Inne metody formowania

- **Odlewanie proszków** – stosowane do formowania wyrobów o skomplikowanym kształcie z trudno prasujących się i drobnoziarnistych proszków zwykle ceramicznych, ceramiczno-metalicznych
- Silnie zagęszczona zawiesina ziaren proszku z dodatkami poprawiającymi lejność i zapobiegającymi aglomeracji ziaren jest odlewana do porowatej formy np. gipsowej chłonącej ciecz
- Następnie odlew jest suszony i spiekany

# Inne metody formowania

*Zasada odlewania gęstwy*  
*a) forma,*  
*b) zalewanie gęstwy,*  
*c) uzyskana kształtka*



## Inne metody formowania

- **Natryskiwanie proszku** – metoda formowania cienkościennych skorup z proszków metali ceramicznych lub ceramiczno-metalicznych
- Za pomocą pistoletu jest natryskiwana na model zawieszona proszku w łatwo parującej cieczy z żywicami organicznymi. Po wyschnięciu kształtka jest zdejmowana z modelu i spiekana albo dodatkowo zagęszczana hydrostatycznie i wtedy spiekana



## **Spiekanie w fazie stałej**

- **Proces spiekania polega na wygrzewaniu sprasowanego lub luźno zasypanego proszku w temperaturze niższej niż temperatura topnienia głównego składnika proszku w celu zcalenia go w trwałą kształtkę**

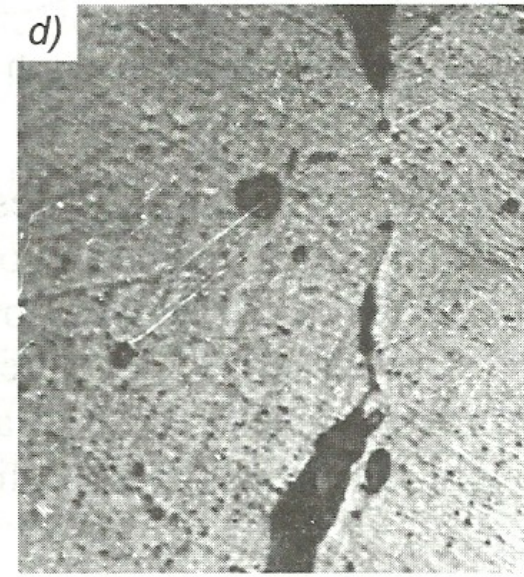
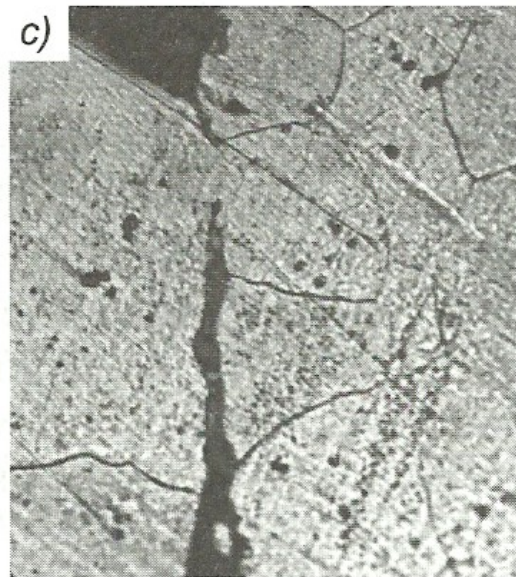
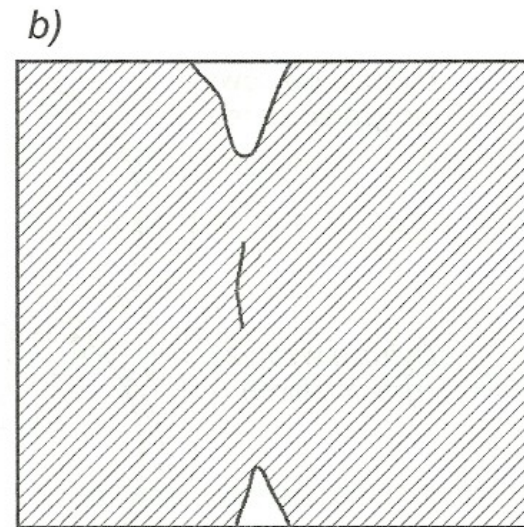
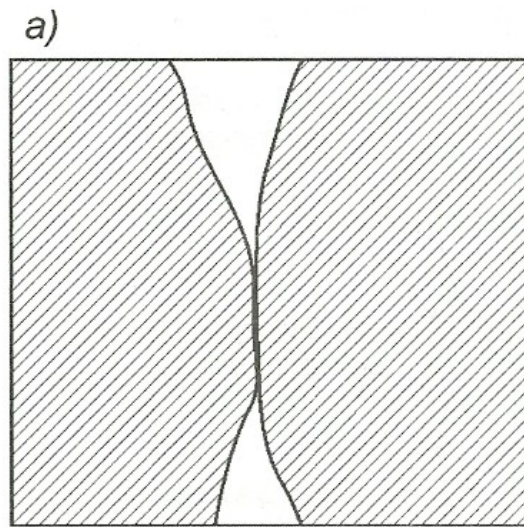
# Spiekanie w fazie stałej

- W wyniku procesów fizycznych i chemicznych przebiegających w czasie spiekania następuje zmiana właściwości mechanicznych i fizykochemicznych oraz wymiarów wyprasek
- Zmiany te mają charakter jakościowy (zastąpienie styku powierzchni utlenionych stykiem powierzchni metalicznych, odprężenie wypraski) jak i ilościowy (skurcz. zmiana porowatości)

# **Spiekanie w fazie stałej**

- **Siłą napędową tych procesów jest wysoka energia swobodna odkształconych plastycznie cząstek metalu**
- **Dążenie do zmniejszenia energii swobodnej powoduje, że w trakcie spiekania następuje zmniejszenie powierzchni cząstek przez ich sferoidyzację, wygładzenie powierzchni cząstek i tworzenie szyjek między cząstkami**



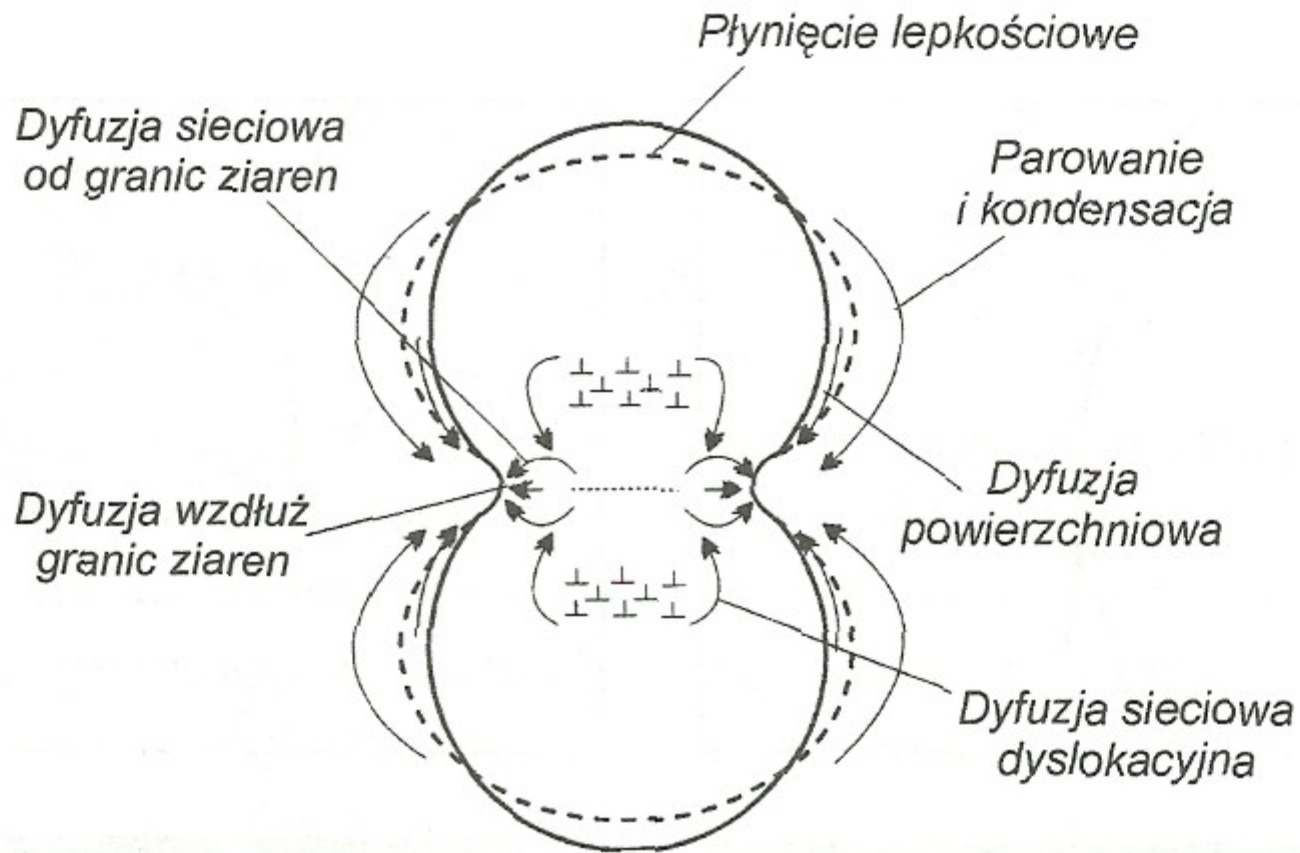


Rysunek 5.1. Przebieg tworzenia się szyjki: a) stadium początkowe; b) stadium zaawansowane. Mikrostruktury spieku żelaza odpowiednio c) i d); pow. 400× [58]

# Spiekanie w fazie stałej

- Proces spiekania prowadzi się w temperaturze  $0.7-0.8 T_{top}$
- W trakcie spiekania następuje zwiększenie powierzchni styku cząstek jako efekt przenoszenia masy w wyniku
- Pełzania
- Dyfuzji powierzchniowej i objętościowej
- Parowania i kondensacji





Rysunek 5.2. Mechanizmy podstawowych procesów zachodzących podczas spiekania



# Spiekanie w fazie stałej

- **Płynięcie lepkościowe** występujące w początkowym okresie spiekania decyduje o procesie spiekania
- Siłą napędową tego procesu jest ciśnienie kapilarne w metalu

# Spiekanie w fazie stałej

- W wyniku **płynięcia lepkościowego** materiał przemieszcza się z cząstek do obszaru szyjki co powiększa powierzchnię styku i zbliża do siebie środki cząstek
- W materiałach amorficznych płynięcie lepkościowe przebiega drogą przemieszczania się atomów a w krystalicznych- zmiany bloków mozaiki lub dyfuzyjnego wspinania dyslokacji

# Spiekanie w fazie stałej

- Proces **dyfuzji powierzchniowej** polega na przemieszczaniu się atomów po powierzchni ziaren od powierzchni wypukłych do wklęsłych ponieważ stężenie atomów słabo związanych z siecią krystaliczną metalu jest większe na powierzchni wypukłej niż wklęsłej
- Ruch ten jest wynikiem działania napięć powierzchniowych i podczas spiekania jest intensywny
- Efektem jest też powiększenie się powierzchni styku bez zbliżania się środków cząstek metalu i skurczu spieku



## **Spiekanie w fazie stałej**

- **Parowanie i kondensacja** jest formą transportu metalu przez fazę gazową na skutek różnicy jego prężności nad powierzchnią wypukłą i wklęsłą
- Wskutek wyższej prężności metalu nad powierzchnią wypukłą jest on przenoszony przez fazę gazową w rejon szyjki

# Spiekanie w fazie stałej

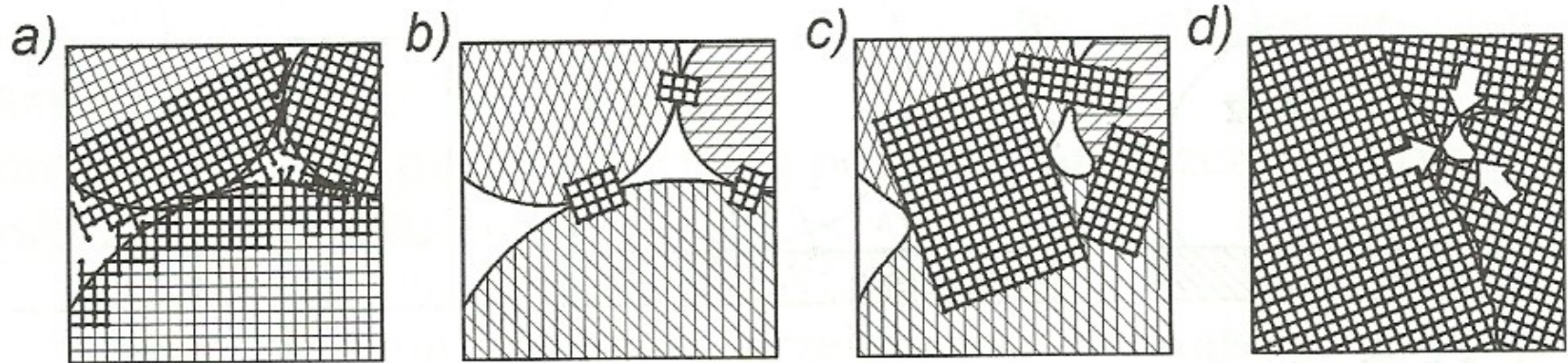
- **Dyfuzja objętościowa** spowodowana jest migracją wakansów i atomów metalu w przeciwnym kierunku i prowadzi do wyrównania różnicy ich stężenia w mikroobszarach
- Wakanse ulegają anihilacji na wypukłych powierzchniach cząstek, granicach ziarn, dyslokacjach krawędziowych lub ich spiętrzaniu np. granicach małego kąta

# Spiekanie w fazie stałej

- Na proces spiekania ma też wpływ ruch atomów na małych odległościach w wyniku **zdrowienia i rekrytalizacji**
- **Procesy te rozpoczynają się w miejscach zgniotu krytycznego cząstek odkształconych w czasie prasowania i rozprzestrzeniają w całej objętości materiału**

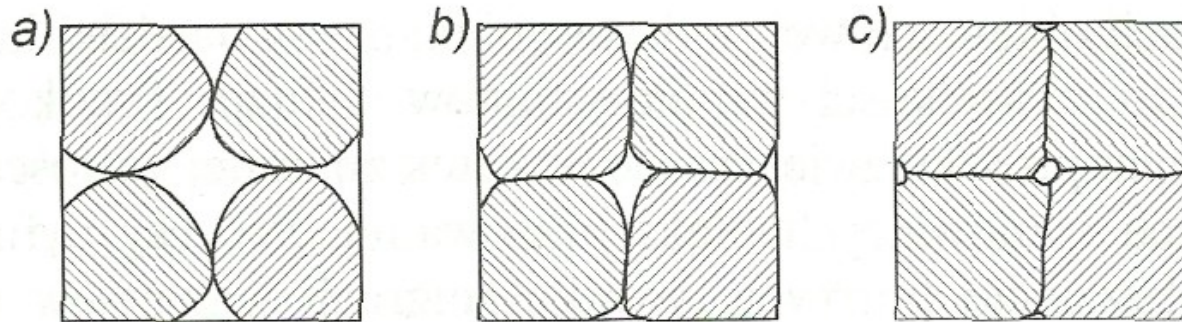


# Spiekanie w fazie stałej



Rysunek 5.3. Schemat procesu rekrytalizacji w czasie spiekania: a)–d) kolejne stadia procesu [37, 86]

# Spiekanie w fazie stałej



Rysunek 5.4. Etapy spiekania w fazie stałej: a) wypraska przed spiekaniem; b) tworzenie się szyjki i porów w początkowym etapie spiekania; c) powiększanie się powierzchni styku cząstek oraz zmiana kształtu i wielkości porów w zaawansowanym stadium spiekania [23]

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Spiekanie układów wieloskładnikowych przebiega najczęściej w temperaturze wyższej niż  $T_{topn}$ . Jednego ze składników proszku
- Obecność fazy ciekłej aktywizuje proces spiekania na skutek zwiększenia ruchliwości atomów
- Wpływ ten zwiększa się ze wzrostem zwilżalności przez fazę ciekłą



# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Zwilżalność fazy stałej przez ciecz zależy od skrajnego ( $\varphi$ ) i dwuściennego ( $\psi$ ) kąta zwilżania
- Kąty te zależne są od jednostkowych energii powierzchniowych rozdziału faz
  - ciekłej i gazowej
  - Stałej i ciekłej
  - Ciekłej i gazowej
  - Energii granic ziarn

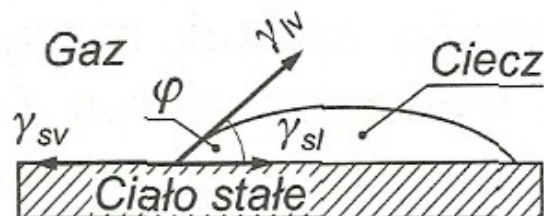
# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Jeżeli  $\varphi < 90^\circ$  faza ciekła zwilża fazę stałą
- $\varphi = 0^\circ$  - zwilżanie idealne
- Dla  $\varphi > 180^\circ$  zwilżanie nie występuje

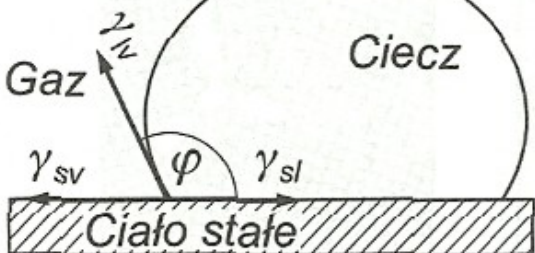
a)



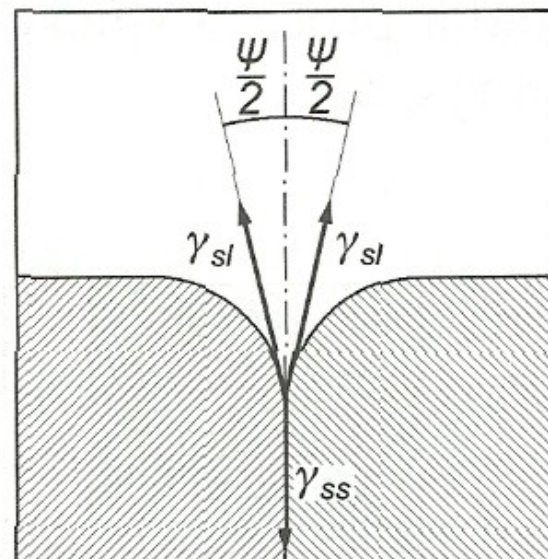
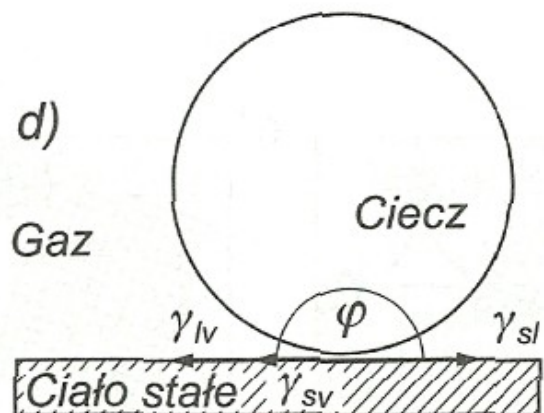
b)



c)



d)



Rysunek 5.5. Kropla cieczy na powierzchni ciała stałego w warunkach równowagi przy różnych wartościach skrajnego kąta zwilżania  $\varphi$ : a)  $\varphi = 0$ ; b)  $\varphi < 90^\circ$ ; c)  $\varphi > 90^\circ$ , d)  $\varphi = 180^\circ$

Rysunek 5.6. Schemat dwuściennego kąta zwilżania  $\psi$



# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Wartości kąta zwilżenia można zmieniać poprzez
- Wprowadzenie do układu dodatków stopowych o dużej aktywności powierzchniowej
- Podwyższenie temperatury układu – zwiększa to intensywność spiekania

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Kąt zwilżania decyduje o migracji fazy ciekłej między ziarnami fazy stałej
- Im mniejszy jest kąt zwilżania tym penetracja jest większa
- Gdy kąt ten jest równy 0 cząstki metalu są całkowicie oddzielone cieczą i nie następuje rozrost ziarna

# **Spiekanie z udziałem fazy ciekłej**

- **Proces spiekania z udziałem fazy ciekłej przebiega przez następujące stadia**
- Przegrupowanie cząstek fazy stałej przez lepkościowe płynięcie fazy ciekłej
- Transport materii przez fazę ciekłą poprzez rozpuszczanie i osadzanie
- Spiekanie szkieletu fazy stałej



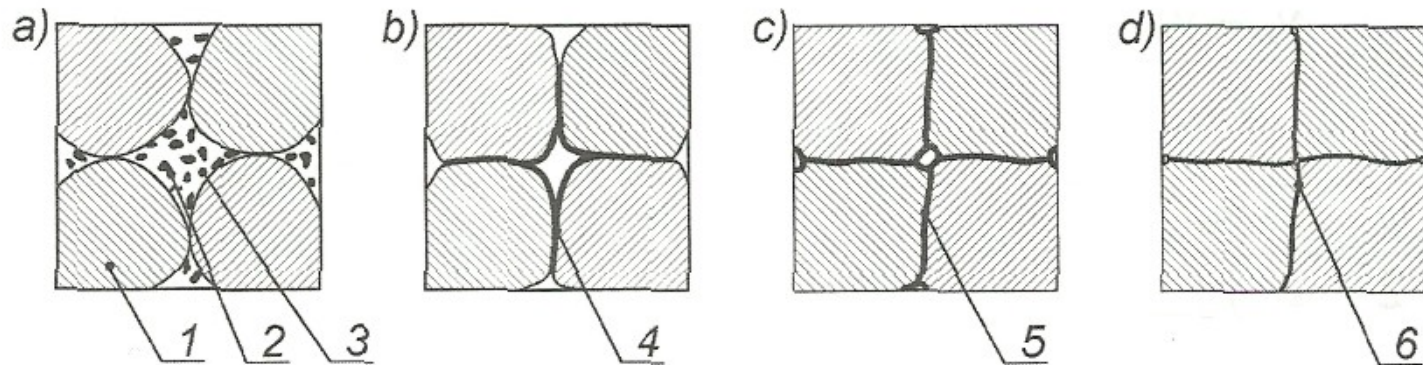
# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Pierwsze stadium spiekania przebiega w warunkach całkowitego rozdzielania cząstek fazy stałej faza ciekłą – przy małej wartości kąta dwuściennego zwilżania
- Jeśli kąt ten przyjmuje dużą wartość do szybko tworzy się szkielet z fazy stałej i spiekanie przebiega wg stadium trzeciego

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- W drugim stadium drobne cząstki fazy stałej rozpuszczają się w fazie ciekłej i osadzają na dużych cząstkach stałych
- Stadium to wywiera znaczny wpływ na przyspieszenie procesu spiekania w warunkach rozdzielania fazy stałej cieczą

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej



Rysunek 5.7. Etapy spiekania z fazą ciekłą tworzącą się w wyniku stopienia łatwiej topliwego składnika mieszaniny proszków: a) wypraska przed spiekaniem; b) utworzenie się fazy ciekłej w wyniku stopienia niskotopliwego proszku lub utworzenia niskotopliwej eutektyki; c) procesy dyfuzyjne aktywowane przez ciecz, prowadzące do powiększenia się powierzchni styku cząstek oraz zmiany kształtu i wielkości porów w zaawansowanym stadium spiekania; d) spiek po zakończonym procesie spiekania. Oznaczenia: 1 – cząstki proszku o wyższej temperaturze topnienia, 2 – cząstki proszku o niższej temperaturze topnienia, 3 – por, 4 – faza ciekła w początkowym okresie spiekania, 5 – faza ciekła w zaawansowanym okresie spiekania, 6 – granice ziaren po spiekaniu o większej zawartości składników zanikającej fazy ciekłej [23]



# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Spiekanie proszków stopowych w których składniki tworzą roztwory w stanie stałym np. Fe-Cu, Fe-P, Cu-Sn może przebiegać z udziałem zanikającej fazy ciekłej na podstawie dwóch procesów
- Dyfuzji składników cieczy w głąb fazy stałej połączonej ze zwiększeniem wymiarów wypraski
- Spiekania z udziałem fazy ciekłej połączonej , przy dobrej zwilżalności ze zmniejszeniem wymiarów wyprasek

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

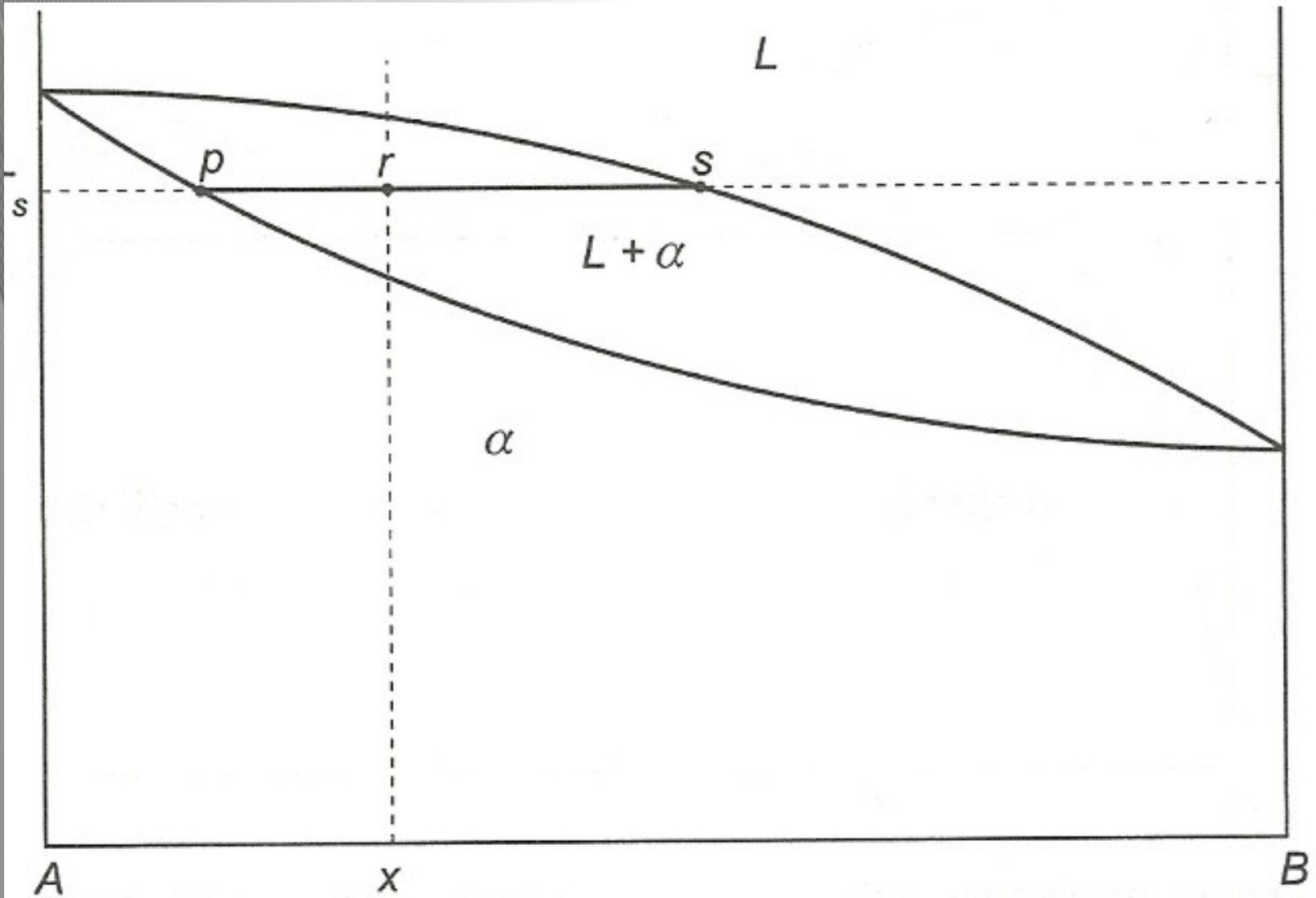
- Jeśli dyfuzja w pierwszym procesie wg mechanizmu międzywęzłowego to wywołane zwiększenie wymiarów wypraski jest minimalne i spiekanie – na skutek jednoczesnego przebiegu drugiego procesu – prowadzi do skurczu

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

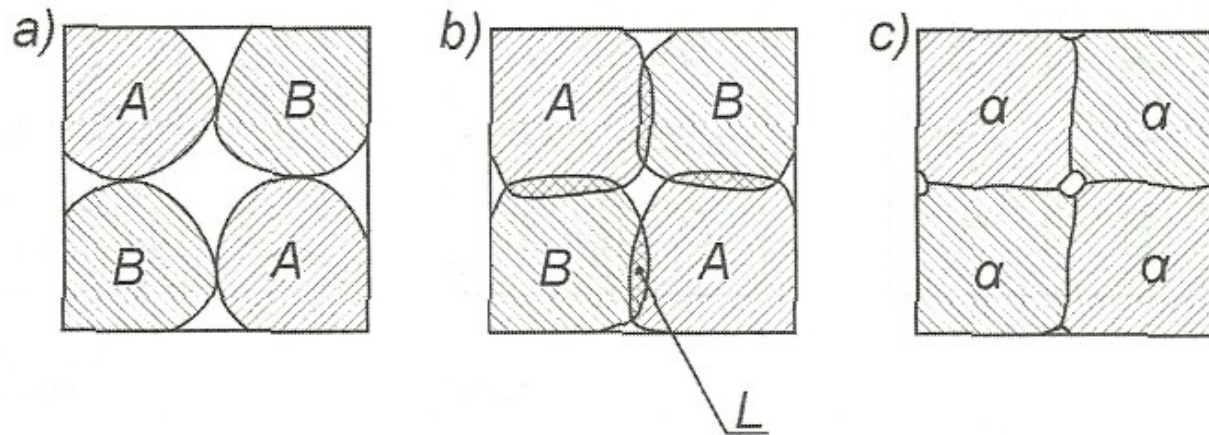
- W czasie spiekania z udziałem zanikającej fazy ciekłej proszków o nieograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym zgodnie z układem równowagi fazowej tworzy się spiek o strukturze jednorodnego roztworu stałego



# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej



# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej



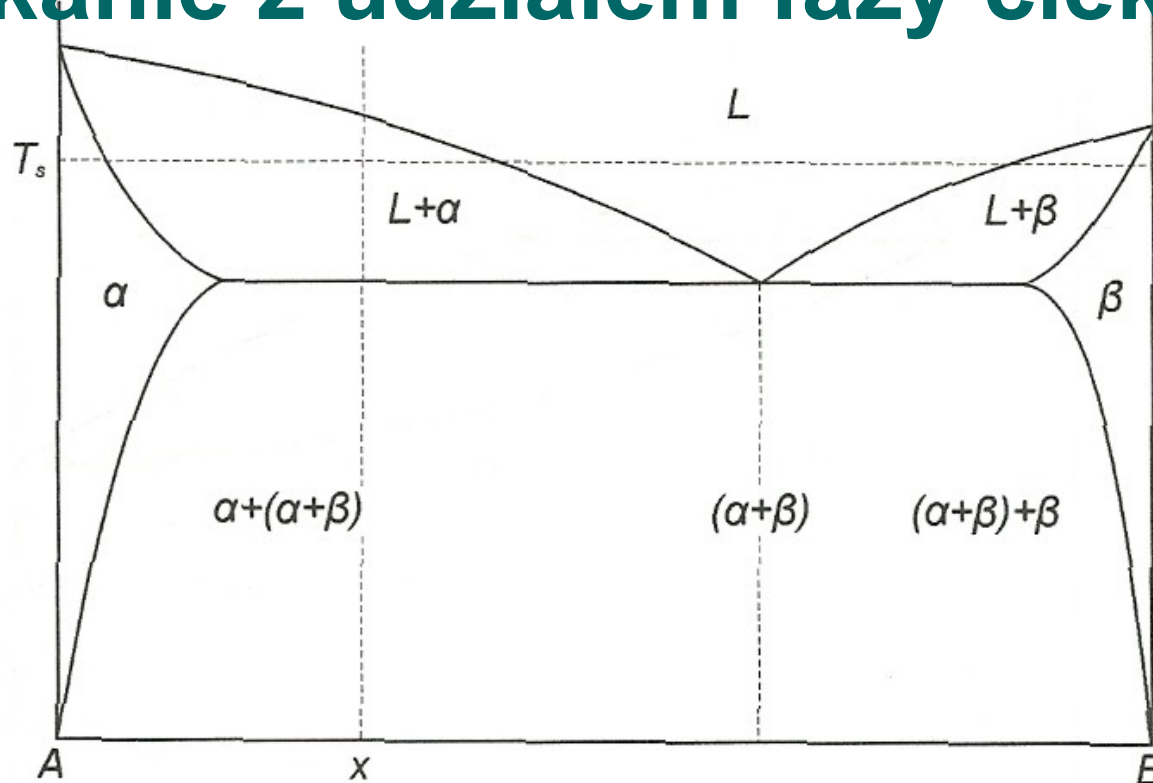
Rysunek 5.9. Etapy spiekania z zanikającą fazą ciekłą dwóch proszków metali A i B o nieograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym: a) wypraska przed spiekaniem; b) dyfuzja w fazie stałej, tworzenie się fazy ciekłej L i procesy dyfuzyjne przez fazę L; c) spiek po zakończonym procesie spiekania, składający się z ziaren roztworu stałego ciągłego  $\alpha$  składników proszków A i B [23]

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej

- Spiekanie z udziałem fazy ciekłej proszków metali wykazujących ograniczoną rozpuszczalność w stanie stałym i tworzących mieszaninę eutektyczną zgodnie z układem równowagi prowadzi do tworzenia się spieków o złożonej strukturze roztworów stałych składników proszków  $\alpha+\beta$

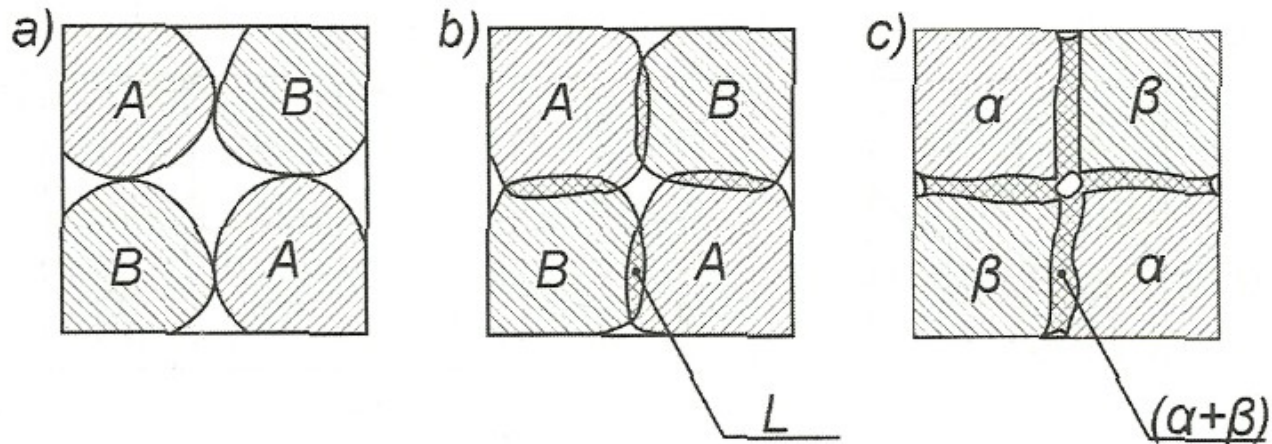


# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej



Rysunek 5.10. Dwuskładnikowy układ równowagi fazowej o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z przemianą eutektyczną  $\alpha + \beta$ , w którym jest możliwe spiekanie proszków A i B w stanie stałym z udziałem zanikającej fazy ciekłej; X – skład proszków A i B,  $T_s$  – temperatura spiekania mieszaniny proszków A i B o składzie X [23]

# Spiekanie z udziałem fazy ciekłej



Rysunek 5.11. Etapy spiekania z udziałem fazy ciekłej dwóch proszków metali A i B o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym i tworzących mieszaninę eutektyczną  $\alpha+\beta$ : a) wypraska przed spiekaniem; b) dyfuzja w fazie stałej, utworzenie się fazy ciekłej L i procesy dyfuzyjne przez fazę L; c) spiek po zakończonym procesie spiekania, składający się z ziaren roztworów stałych składników proszków  $\alpha$  i  $\beta$  oraz mieszaniny eutektycznej  $(\alpha+\beta)$  [23]

# Spiekanie aktywowane

- Wprowadzenie do mieszaniny proszków dodatków o działaniu aktywującym spiekanie lub zastosowanie proszków stopowych zawierających te dodatki może przyspieszyć proces spiekania



# Spiekanie aktywowane

- Intensyfikacja spiekania jest spowodowana wpływem pierwiastka aktywującego na:
- Zwiększenie szybkości procesów dyfuzyjnych występujących w fazie stałej w czasie spiekania
- Tworzenie się fazy ciekłej w wyniku obniżania temperatury solidusu i likwidusu
- Występowanie przemiany eutektycznej i perytektycznej

# Spiekanie aktywowane

- Prowadzi to do obniżenia temperatury i czasu spiekania oraz do zwiększenia gęstości i właściwości mechanicznych
- Do pierwiastków aktywujących spiekanie stopów żelaza zalicza się
- B, Cu, P, Co, Si, Cu, Mo, Ta, Ti, V, W

# Technologia spiekania

- Proszki stosowane w praktyce przemysłowej różnią się od idealnych na skutek
- Adsorbcji gazów na powierzchni
- Obecności gazów rozpuszczonych w sieci krystalicznej metali proszków
- Utleniania powierzchni proszków
- Obecności w mieszaninie proszków środków poślizgowych



# Technologia spiekania

- Na proces spiekania mają wpływ właściwości proszków:
- Wymiary cząstek proszku
- Stopień utlenienia proszku
- Gęstość wypraski
- Odkształcenie plastyczne prasowanego proszku
- Naprężenia własne wypraski
- Temperatura i czas spiekania

# Technologia spiekania

- Dyfuzji atomów w trakcie spiekania towarzyszy
- Desorbcja gazów
- Odparowanie środków poślizgowych
- Wydzielenie się gazów rozpuszczonych w sieci krystalicznej proszków
- Redukcja tlenków
- Rekrytalizacja proszku

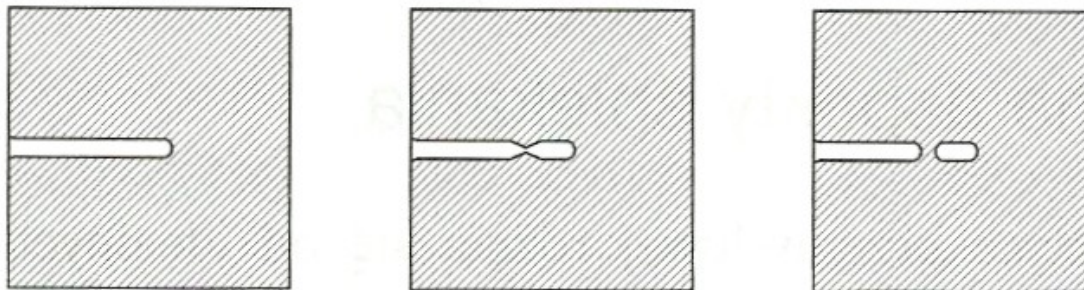
# Technologia spiekania

- W czasie spiekania początkowa porowatość wypraski 10-40% zmniejsza się do 5-15%
- Prowadzi to do zmniejszenia porowatości otwartej



# Technologia spiekania

- Pory otwarte zamieniają się w pory zamknięte wg schematu



Rysunek 5.12. Mechanizm zamykania się porów otwartych w czasie spiekania

# Technologia spiekania

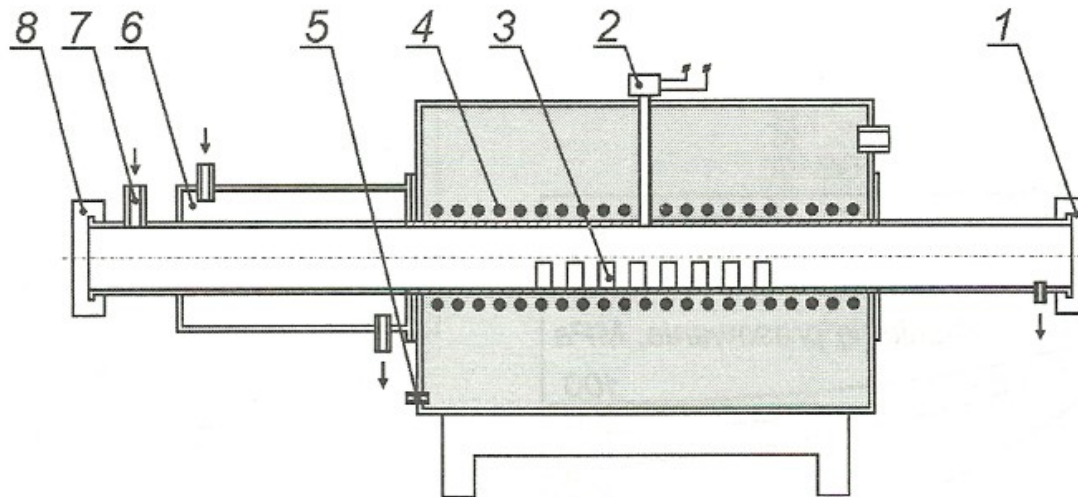
- Zwiększenie wymiarów wypraski w pierwszej fazie spiekania jest wynikiem wyzwolenia się naprężeń własnych i rekrytalizacji
- Intensywność skurczu zależy od wielkości cząstek proszku
- Przy stałej objętości wypraski skurcz podczas spiekania jest większy niż dla drobniejszych proszków

# Piece do spiekania

- Spiekanie prowadzi się w piecach elektrycznych oporowych lub indukcyjnych oraz gazowych o pracy okresowej/ciągłej



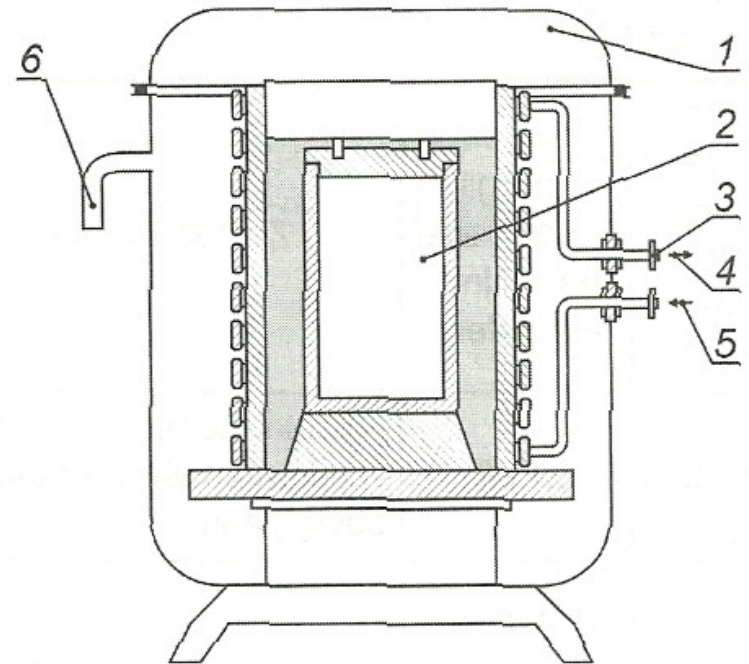
- Do spiekania małych serii kształtek o niewielkich wymiarach w temperaturze do 1000°C są używane piece rurowe do pracy okresowej



Rysunek 5.17. Schemat pieca do spiekania o pracy okresowej: 1 – zamknięcie komory załadowczej, 2 – termopara, 3 – spiekane elementy, 4 – elementy grzejne, 5 – podłączenie elektryczne pieca, 6 – płaszcz wodny, 7 – doprowadzenie atmosfery ochronnej, 8 – zamknięcie komory wyładowczej [86]

# Piece do spiekania

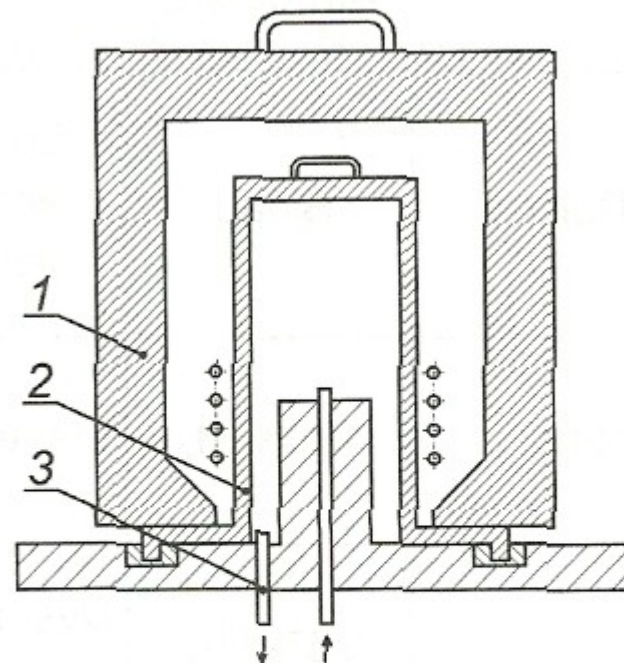
- Przy spiekaniu części o dużych wymiarach , większych serii albo wyższej temperatury spiekania są często używane piece o działaniu okresowym – próżniowe i indukcyjne



Rysunek 5.18. Indukcyjny piec próżniowy: 1 – zamknięcie komory pieca, 2 – komora próżniowa, 3 – doprowadzenie prądu, 4 i 5 – doprowadzenie i odprowadzenie wody chłodzącej, 6 – połączenie z instalacją próżniową [85]

# Piece do spiekania

- Stosuje się także piece kołpakowe



Rysunek 5.19. Piec kołpakowy:  
1 – dzwon, 2 – retorta, 3 – przewody doprowadzające i odprowadzające atmosferę ochronną [85]



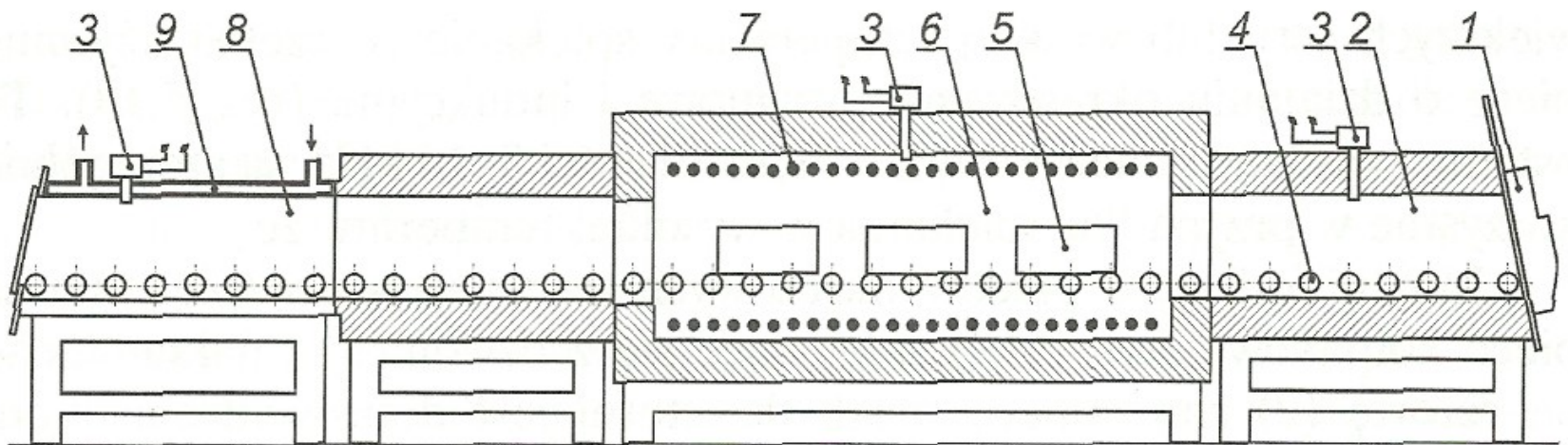
# Piece do spiekania

- Piece tunelowe do pracy ciągłej składają się z trzech części:
- Załadowniczej
- Grzewczej
- wyładowniczej

# Piece do spiekania

- Komory załadowcza i wyładowcza są wyposażone w szczelne drzwi i osłonę gazową zapalającą się automatycznie o świecy gazowej po otwarciu drzwi i nie dopuszczającą powietrza do wnętrza pieca
- Umożliwia to załadowanie i wyładowanie pieca w warunkach jego normalnej pracy tj przy temperaturze i atmosferze roboczej
- Wypraski przesuwane są przez wszystkie strefy pieca na taśmie, ruchomym ruszcie albo ręcznie przez wstawianie kolejnych łódek

# Piece do spiekania



Rysunek 5.20. Schemat pieca tunelowego o pracy ciągłej do spiekania: 1 – zamknięcie komory załadowczej, 2 – komora załadowcza, 3 – termopara, 4 – podajnik rolkowy, 5 – wsad, 6 – komora grzewcza, 7 – elementy grzejne, 8 – komora wyładowcza, 9 – płaszcz wodny [86]



# Atmosfery do spiekania

- Spiekanie prowadzone jest najczęściej w atmosferze wodoru pobieranego z butli przy małej produkcji
- Duże zakłady posiadają własne wytwórnie wodoru elektrolitycznego
- Spiekanie prowadzi się też w atmosferze zdysocjowanego amoniaku zawierającej 75% wodoru i 15% azotu
- Stosuje się też atmosfery endo i egzotermiczne
- W niektórych przypadkach stosowane są też atmosfery ochronne gazu obojętnego – azotu, argonu helu, rzadziej próżnia

Tabela 5.1. Charakterystyka atmosfer ochronnych stosowanych do spiekania proszków metali [1]

| Atmosfera           |  |                                     | Zużycie surowca na 1 Nm <sup>3</sup> wytworzonej atmosfery       | Zużycie energii elektrycznej na 1 Nm <sup>3</sup> atmosfery | Zastosowanie  |
|---------------------|--|-------------------------------------|--|---|---|
| Rodzaj              | Skład  | Sposób wytwarzania                  |  |   |   |
| Wodór               | 100% H <sub>2</sub>  | Elektroliza                         | Woda destylowana<br>0,85 kg                                      | 5 kWh   | Wysokie temp. spiekania, spiekanie taśm, redukcja, odwęglanie                                 |
| Wodór               | 98% H <sub>2</sub> ; reszta CO-N <sub>2</sub>                                    | Dysocjowany propan lub gaz ziemny   | Propan 0,2 kg + para wodna 2 kg                                  | 1,3 kWh lub 0,2 kWh + 5800 kJ                               | Spieki żelazne, atmosfera redukująca  |
| Dysocjowany amoniak | 75% H <sub>2</sub><br>25% N <sub>2</sub>   | Dysocjacja amoniaku                 | Amoniak 0,76 kg  | 0,59 kWh  | Małe spieki żelazne, żelazo-miedziane, żelazo-miedź-węgiel, atmosfera redukująca              |
| Endotermiczna       | 40% H <sub>2</sub> ,<br>20% CO,<br>1% CH <sub>4</sub> ,<br>reszta N <sub>2</sub> | Gaz ziemny z dodatkiem powietrza    | Gaz ziemny 0,2 Nm <sup>3</sup> , + powietrze 0,5 Nm <sup>3</sup> | 0,2 kWh + 5800 kJ   | Spieki żelazo-węgiel, żelazo-miedź-węgiel, przy dużej produkcji i dużej wytrzymałości spieków |
| Egzotermiczna       | 8% H <sub>2</sub> ,<br>6% CO,<br>6% CH <sub>4</sub> ,<br>80% N <sub>2</sub>      | Gaz ziemny z dużą ilością powietrza | Gaz ziemny 0,12 Nm <sup>3</sup> + powietrze 0,84 Nm <sup>3</sup> | -   | Spieki żelazo-miedź produkowane w piecach o ciągłym działaniu                                 |

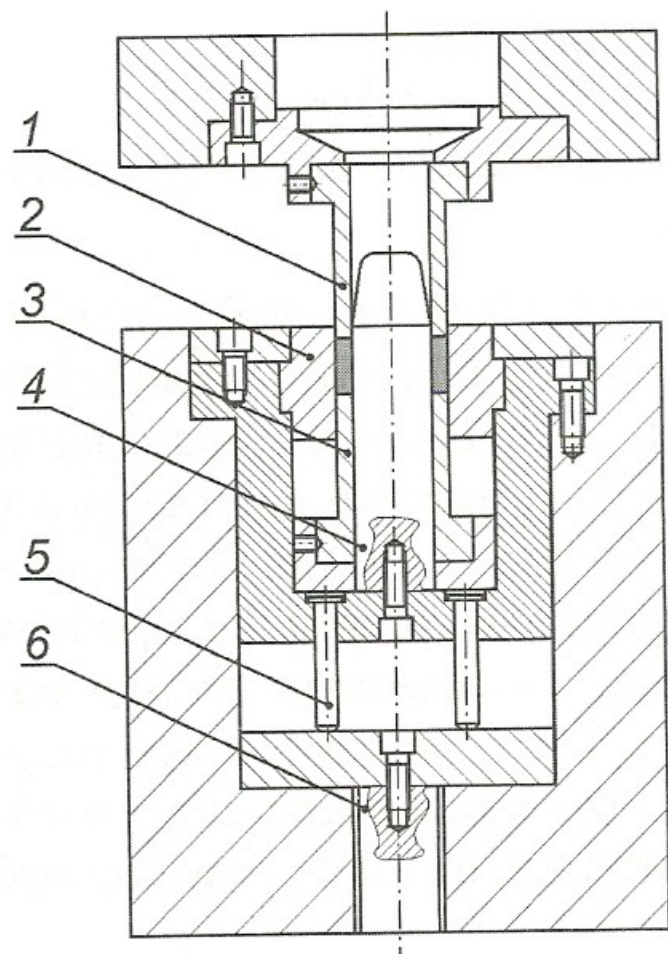
# Kalibrowanie spieków

- Celem kalibrowania jest uzyskanie małych tolerancji ich wymiarów o dobrej gładkości powierzchni bez obróbki mechanicznej
- Polega na odkształceniu plastycznym spieku przez ponowne prasowanie w matrycy o konstrukcji zbliżonej do matrycy do prasowania proszków ale o niższej wysokości – ze względu na brak przestrzeni zasypowej

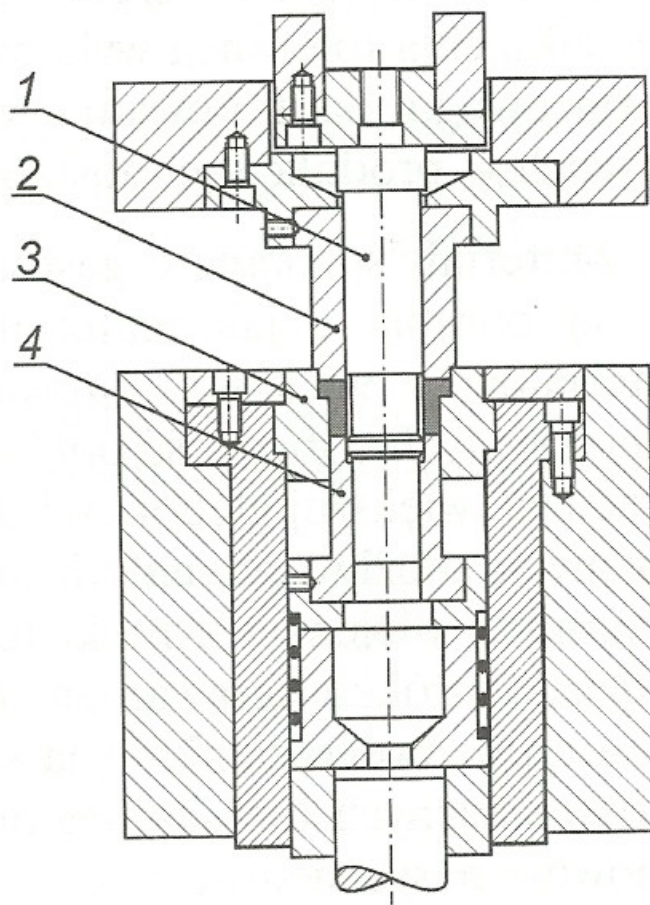


# Kalibrowanie spieków

- Proces kalibrowania w matrycach sprowadza się do umieszczenia spieku w korpusie matrycy i dociśnięcia go za pomocą górnego stempla
- W wyniku odkształcenia plastycznego spieku następuje kalibrowanie jego zewnętrznej średnicy i wysokości



Rysunek 6.2. Matryca do kalibrowania tulei łożyskowych ze stałym trzpieniem wewnętrznym. Oznaczenia: 1 – stempel górny, 2 – korpus matrycy, 3 – stempel dolny, 4 – trzpień kalibrujący, 5 – trzpień wypychający, 6 – korpus wypychacza [11]



Rysunek 6.3. Matryca do kalibrowania tulei łożyskowych z kołnierzem na prasie dwustronnego działania. Oznaczenia: 1 – trzpień kalibrujący, 2 – stempel górny, 3 – korpus matrycy, 4 – stempel dolny [11]

# Obróbka skrawaniem spieków

- Obróbka skrawaniem spieków z uwagi na wysokie koszty ograniczona jest to
- Wykonywania wcięć
- Wiercenia otworów w kierunku poprzecznym do kierunku prasowania
- Wiercenia otworów o średnicy mniejszej niż 2 mm
- Zwiększenia tolerancji wykonania, szczególnie wysokości
- Końcowego ukształtowania wyrobu uformowanego w prostych matrycach w produkcji jednostkowej