

## Rozdział 1.

### OGÓLNE WIADOMOŚCI O SPIEKACH METALI

#### 1.1. Zastosowanie porowatych spieków.

Części maszyn wytwarzane techniką spiekania proszków metali znajdują coraz szersze zastosowanie w różnorodnych urządzeniach i wyrobach przemysłu motoryzacyjnego, agrotechnicznego, elektromaszynowego i elektronicznego a także w urządzeniach gospodarstwa domowego. Najczęściej stosuje się je w postaci kół zębatach, kół łańcuchowych, dźwigni, krzywek, mechanizmów zapadkowych, tulejek, pierścieni, głowic silników, uszczelniaczy plastycznych, filtrów i innych. Ponadto spieki metali można stosować jako materiały cierne, łożyskowe, żarowytrzymałe itp.

W ostatnich latach rozszerzono zastosowanie kompozytów proszkowych do wytwarzania magnetowodów przetworników elektrycznych a w szczególności [1]:

- mikrosilników prądu stałego o magnesach trwałych,
- wirników litych silników asynchronicznych,
- dławików filtrów zasilaczy małej mocy,
- magnetycznego zamknięcia maszyn elektrycznych,
- elementów scalonych z kompozytów proszkowych itp.

Podstawową przyczynę, dzięki której metalurgia proszków zdecydowanie wypiera klasyczne metody wytwarzania części maszyn jest jej wysoka efektywność. Z zasadniczych kryteriów ekonomicznych wymienić należy:

- materiałoszczędność,
- energooszczędność,
- niska pracochłonność,
- niewielki koszt jednostkowy.

W większości zastosowań nie wymaga się od części spie-

kanych specjalnych własności mechanicznych, czy też porowatości, gdyż spełniają one głównie role funkcjonalne w miejsce elementów konstrukcyjnych z materiałów litych nie przenoszących ekstremalnych obciążeń. W przypadkach gdy spieki mają przenosić znaczne obciążenia lub mają charakteryzować się określoną porowatością, własności te powinny być odpowiednio projektowane np. przez dobór proszku, domieszek stopowych, przebieg procesu wytwarzania lub obróbkę wykończającą.

Najczęściej stosowane są wyroby spiekane na osnowie Fe i Cu w zastosowaniu jako:

- materiały konstrukcyjne,
- materiały samosmarne,
- materiały cierne,
- materiały o dużej porowatości.

#### ● Materiały konstrukcyjne.

Najbardziej rozpowszechnionymi wyrobami ze spieków są elementy konstrukcyjne charakteryzujące się w wielu przypadkach dość złożonymi kształtami. Zastępują one części maszyn produkowane dotychczas metodami tradycyjnymi ze stali stopowych i węglowych, żeliw oraz metali kolorowych. Typowymi konstrukcyjnymi częściami ze spieków są koła zębate, krzywki, koła łańcuchowe, podkładki, elementy mechanizmów zspadkowych, dźwignie, kryzy, gniazda i korpusy zaworów, stojany, łopatk i wirniki pomp oraz szereg innych części stosowanych w rozmaitych maszynach tkackich, urządzeniach pomiarowych, urządzeniach gospodarstwa domowego itp. Mogą one być produkowane w postaci gotowych części lub wyrobów wymagających niewielkiej, wykończającej obróbki mechanicznej czy plastycznej.

Szerokie zastosowanie znalazły spieki stali stopowych z dodatkami miedzi, niklu, chromu, manganu. Otrzymuje się także spiekane materiały i wyroby konstrukcyjne o specjalnych fizycznych i technologicznych własnościach, takich jak: wysoka odporność na ścieranie, żaroodporność, wysoka twardość, określona porowatość, określony współczynnik rozszerzalności liniowej lub objętościowej.



## ● Materiały samosmarne.

Materiały spiekane produkowane są w formie tulejek, panewek lub łożysków i dzięki swoim właściwościom smarnym zastępują z powodzeniem drogą kolorowe stopy łożyskowe oraz stале i żeliwa łożyskowe. Zastosowanie łożysk samosmarnych jest korzystniejsze, zwłaszcza przy małych prędkościach ślizgania i przy ruchu wahadłowym, nawrotnym lub w warunkach pracy ciągłej. W porównaniu z tradycyjnymi materiałami łożyskowymi, spieki łożyskowe wykazują znacznie wyższą niezawodność i żywotność, szczególnie w warunkach ograniczonego smarowania. Te cechy zapewnia pewien zapas oleju lub smaru, którym nasyca się pory spieku w procesie produkcyjnym a także wprowadzenie do proszku podstawowego różnych domieszek jak np. grafit, tlenki, siarczki, fluoroki lub nasylenie gotowego spieku tzw. smarami twardymi np. teflon, inne tworzywa sztuczne.

Najczęściej stosowane są samosmarne materiały spiekane na osnowie żelaza, miedzi i ich stopów. Materiały na osnowie żelaza np. żelazo porowate, żelazo-grafit są stosowane gdy nie wymaga się od łożysk odporności na korozję. Materiały na osnowie miedzi np. porowaty brąz, brąz-grafit, mogą być stosowane w atmosferze podwyższonej wilgotności lub w warunkach sprzyjających korozji.

Ponadto oprócz wymienionych podstawowych rodzajów łożyskowych materiałów spiekanych, w warunkach szczególnie uciążliwych tzn. dla nacisków wyższych od 10 MPa, prędkości ślizgowej 5-10m/sek, temperaturze wyższej niż 200°C, w warunkach tarcia suchego i w obecności agresywnych cieczy i gazów stosuje się specjalne samosmarne materiały spiekane na osnowie stopów żelaza, metali kolorowych np. niklu, ołowiu i innych.

## ● Materiały cierne.

Spiekane materiały cierne stosowane są w różnorodnych układach napędowych, hamulcowych i sprzęgłach. Zastąpienie materiałów litych np. stali, żeliwa pozwala podwyższyć trwałość, niezawodność, efektywność w/w układów oraz stworzyć nowe konstrukcje układów ciernych. Elementy tarciove z materiałów spiekanych przygotowuje się w postaci tarcz, nakładek lub taśm róż-

norodnych kształtów, które odpowiadają kształtom stalowego szkieletu nośnego.

Spiekane materiały cierne charakteryzują się dużymi wartościami dynamicznego i statycznego współczynnika tarcia oraz ich stabilnością w zmieniających się warunkach tarcia, małym zużyciem i dużym współczynnikiem przewodnictwa cieplnego. Zapewnia to możliwość przenoszenia dużej mocy tarcia, a więc odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, również w podwyższonych temperaturach.

W spiekanych materiałach ciernych można rozróżnić kilka grup składników, a mianowicie: metale osnowy, dodatki ślizgowe, dodatki cierne, absorbenty ciepła i wypełniacze.

Metalową osnowę materiałów ciernych, mającą zapewnić dobre odprowadzenie ciepła z powierzchni tarcia i trwałe mechaniczne związanie składników niemetalicznych może być miedź lub żelazo w ilości 50-80%. Dla polepszenia własności wytrzymałościowych osnowy wprowadza się dodatki stopowe. W przypadku osnowy Cu dodatkami takimi są Sn, Zn i Al, a dla osnowy Fe - Cu i P.

Dodatki ślizgowe stanowią około 20% składu spieku. Zapewniają one powstanie w płaszczyźnie styku pary ciernej warstwy spełniającej zadanie smaru. Najczęściej warstwa taka tworzy się z grafitu lub siarczków  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{ZnS}$ .

Zawartość dodatków ciernych zawiera się w granicach 0 - 20%. Stanowią je najczęściej kwarcyt, korund, azbest, sillimant i inne.

Do pochłaniania ciepła wykorzystuje się metale niskotopliwe, nie wchodzące w roztwór stały z osnową np. Pb i Bi. Stanowią one zwykle 5-15% masy materiału ciernego.

### ● Materiały o dużej porowatości.

Porowate materiały spiekane o dużej porowatości objętościowej, większej od 25%, wykonuje się głównie z proszków lub włókien brązu, żelaza, niklu, stali nierdzewnych, chromoniklowych, niklowo-molibdenowych i innych. Wykorzystuje się je w postaci elementów filtrujących do oczyszczania powietrza, agresywnych gazów i cieczy, smarów, ciekłego paliwa, rzadkich roztworów metali (w celu odzyskania cennych składników). Mogą one być również stosowane w różnego rodzaju tłumikach drgań, ele-



mentach tłumików płomieniowych, a także jako materiały tzw. po-  
cące się i w budowie chłodziń energetycznych.

W odróżnieniu od najczęściej stosowanych filtrów siatkowych, ceramicznych i szklanych porowate materiały spiekane są bardziej wytrzymałe mechanicznie i termicznie, wytrzymują nagłe skoki temperatury, a w procesie eksploatacji nie ulegają trwa-  
łemu zanieczyszczeniu.

Oprócz tego charakteryzują się dobrym przewodnictwem cieplnym i elektrycznym, odpowiednią plastycznością, wysoką odpornością na korozję, żaroodpornością i odpornością na działanie wysokich ciśnień. Odznaczają się wysokim stopniem oczyszczania w procesie ich regeneracji. Przykładowe zastosowania wyrobów spiekanych przedstawiono w dodatku B.

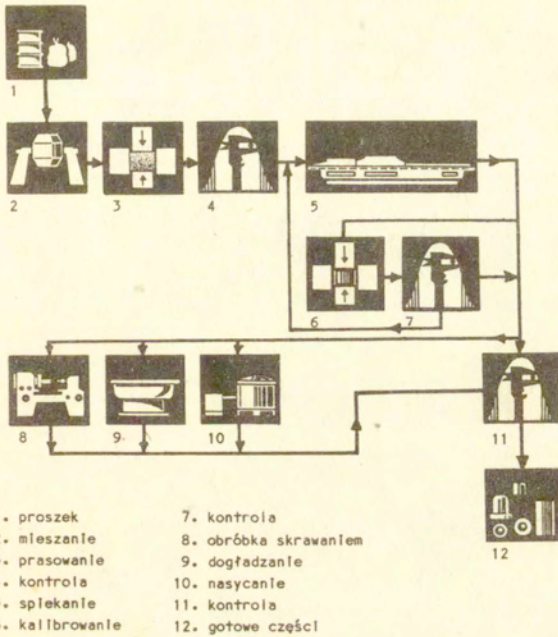
## 1.2. Podstawowe etapy wytwarzania spieków.

Wytwarzanie spiekanych części maszyn realizowane jest w dwóch kolejno następujących po sobie procesach: formowanie proszków metali w określone kształtki najczęściej przez prasowanie w specjalnie wyprofilowanych matrycach; spiekanie polegające na wygrzewaniu kształtek w atmosferach ochronnych, nie doprowadzając ich do stanu ciekłego. Istnieją różne metody formowania jak też spiekania. Szczegółowo są one omówione w rozdz. 3.

Poglądowy schemat wytwarzania stali spiekanych, obejmujący podstawowe operacje procesu technologicznego przedstawia rys.1.1.

Istotną cechą metalurgii proszków w odróżnieniu np. od obróbki skrawaniem jest to, że umożliwia ona sterowanie właściwościami wytwarzanych spieków w bardzo szerokim zakresie. Sterowanie to możliwe jest poprzez odpowiedni dobór:

- parametrów granulometrycznych proszków,
- podstawowych parametrów procesu prasowania i spiekania,
- ewentualnych procesów uzupełniających,
- domieszek stopowych w postaci proszków dodawanych do proszku zasadniczego.



Rys.1.1. Poglądowy schemat wytwarzania części ze spieków technologii metalurgii proszków.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi prasowanie i spiekanie i dającymi się łatwo sterować są:

- ciśnienie prasowania (do 1000 MPa) ,
- czas prasowania (20-30 s) ,
- temperatura spiekania (1100 - 1200°C) ,
- czas spiekania (20 - 60 min) ,
- atmosfera spiekania.

### 1.3. Zalety i wady metalurgii proszków.

Metalurgia proszków jest technologią stosunkowo młodą, jednak dzięki licznym zaletom coraz powszechniej znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach produkcji, wypierając dotychczas stosowane metody wytwarzania - zwłaszcza obróbkę skrawaniem. Rozwój tych tendencji obserwuje się w wielu najbardziej rozwiniętych państwach świata. W Polsce również zaczyna się doceniać korzyści wpływające ze stosowania spiekanych części maszyn.

- Metalurgia proszków jako metoda materiałowo- i energooszczędna. Porównanie kosztów wytwarzania.

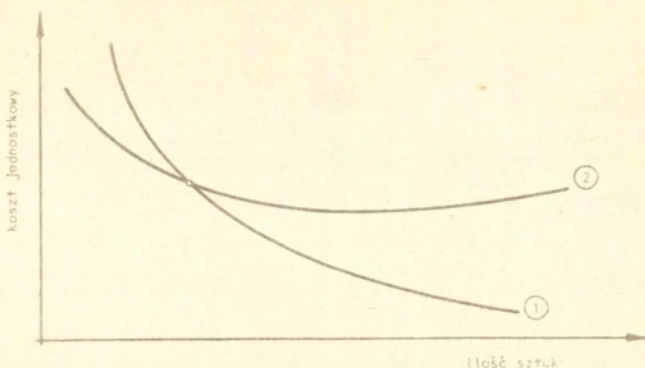
Technika spiekania części maszyn jest metodą wytwarzania elementów konstrukcyjnych bezodpadową i nadającą w większości przypadków ostateczny i pożądany kształt wyrobom. Stosowanie tej technologii umożliwia także znaczne oszczędności energii w porównaniu z innymi sposobami wytwarzania. Wynika to z faktu stosowania niższych temperatur (nie przekraczających temperatury topnienia składnika podstawowego mieszaniny proszków), a także z możliwości pełnej automatyzacji procesu wytwarzania.

Przykładowo wg danych firmy "Mannesmann Demag" przy produkcji takich wyrobów jak koła zębate, korpusy pomp itp. oszczędność stali wynosiła 40-90%, a oszczędność energii 40-60%, [2].

Ważnym czynnikiem decydującym o wyborze metody produkcji jest długość serii produkcyjnej, a więc także jednostkowy koszt wytwarzania. Dla produkcji małoseryjnej koszt jednostkowy części spiekanej jest wyższy od kosztu jednostkowego części wyprodukowanej inną technologią. Powodem tego faktu są przede wszystkim wysokie koszty prasowników i matryc. Granicą opłacalności wytwarzania części spiekanych (rys.1.2) jest różna dla różnych konkretnych wyrobów (stosowanych materiałów) i zależy w dużym stopniu od skomplikowania kształtu (koszt matrycy i prasownika) szybkości zużycia matrycy, wymagań dokładności wyrobu itp.

Wg szacunkowych danych Fabryki Wyrobów Spiekanych w Łomiankach przy istniejących warunkach wytwórczych i posiadanym parku maszynowym produkcja części spiekanych jest opłacalna, w





Rys.1.2. Pogłędowe porównanie kosztów wytwarzania metodę metalurgii proszków z innymi technikami wytwarzania , 1 - metodę metalurgii proszków, 2 - inne techniki wytwarzania

w warunkach krajowych, przy seriach produkcyjnych o minimalnej wielkości 10000 sztuk.

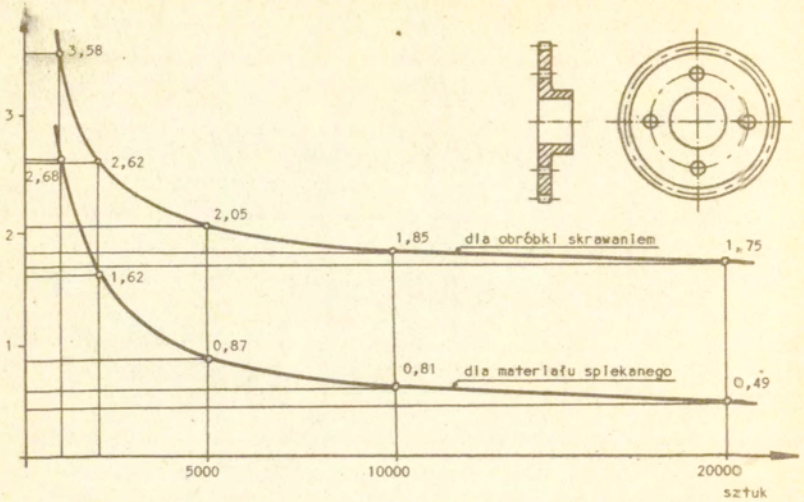
Przykłady porównania kosztów jednostkowych wytwarzania koła zębatego i elementu sprzęgła metodą obróbki skrawaniem i techniką spiekania w zależności od wielkości serii przedstawiają rys.1.3. i 1.4.

#### Zalety i wady metalurgii proszków.

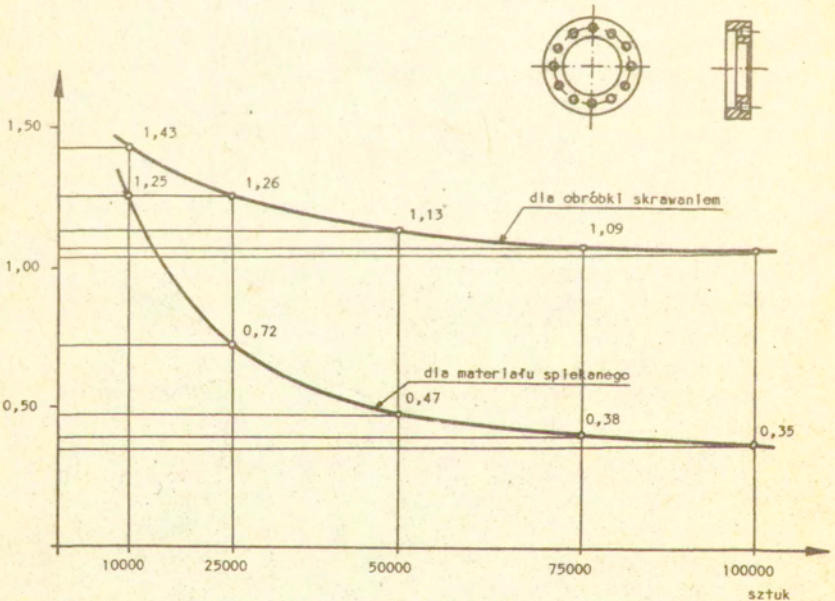
Do ważniejszych zalet produkcji części spiekanych należy zaliczyć:

- możliwość znacznej oszczędności surowców i energii w porównaniu z technologiami tradycyjnymi,
- możliwość otrzymania wymiarów i kształtów końcowych wyrobów o wymaganej dokładności bez dodatkowej obróbki wykańczającej,
- możliwość otrzymywania materiałów, których cechy szczególne mogą być otrzymane tylko metodami metalurgii proszków np. stopy Fe-Cu, materiały samosmarujące, materiały o dużej porowatości itp.
- możliwość projektowania końcowych własności wyrobów w bardzo szerokim zakresie poprzez dobór rodzaju proszku, skła-





Rys.1.3. Krzywe kosztów wytwarzania koła ząbatego metodą obróbki skrawaniem i metalurgii proszków w zależności od długości serii.



Rys.1.4. Krzywe kosztów wytwarzania elementu sprzęgła metodą obróbki skrawaniem i MP w zależności od długości serii.

du chemicznego, parametrów procesu itp.,

- możliwość wytwarzania elementów konstrukcyjnych z materiałów o składzie chemicznym niedostępnym dla metod tradycyjnych, np. stopy Fe-Cu,
- obniżenie temperatury procesu technologicznego; większość etapów procesu technologicznego prowadzi się w temperaturze otoczenia. Proces spiekania przebiega zawsze w temperaturze niższej od temperatury topnienia składnika podstawowego,
- technika spiekania pozwala uniknąć wad powstających przy obróbce skrawaniem, odlewaniu lub tłoczeniu,
- możliwość pełnej automatyzacji,
- podwyższenie warunków bezpieczeństwa i higieny pracy.

Wysoką wartość technologii wytwarzania części spiekanych obniżają takie czynniki jak:

- konieczność wytwarzania dłuższych serii (10-30.000 sztuk) z punktu widzenia ekonomiki produkcji,
- trudność otrzymywania równomiernej gęstości i porowatości (w przypadku elementów o skomplikowanych kształtach),
- trudność wytwarzania wyrobów cienkościennych ze względu na utrudnione dozowanie i zagęszczanie proszków,
- ograniczona możliwość stosowania i kontrolowania zabiegów obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, szczególnie hartowanie i nawęglanie, zwłaszcza w materiałach o dużej porowatości,
- konieczność produkcji proszków w atmosferach kontrolowanych w celu zabezpieczenia proszków przed utlenianiem lub reakcji z otoczeniem.

Należy zaznaczyć, że materiały otrzymywane drogą metalurgii proszków bez dodatkowej obróbki ulepszającej wykazują przeważnie niższe własności mechaniczne w porównaniu z materiałami litymi. Dlatego większość takich elementów spiekanych stosuje się jako części mniej obciążone. W przypadku zwiększonych wymagań wytrzymałościowych spieki poddaje się obróbce wykończającej (ulepszającej) typu obróbki cieplnej, dogniatania, nasycania metalami i in., w wyniku której ich końcowe własności mogą wyraźnie przewyższać własności części z materiałów litych. Jednakże stosowanie obróbki wykończającej podnosi koszt jednostkowy spieku i



wpływa na zmianę granicy opłacalności stosowania metody metalurgii proszków.

Literatura do rozdziału 1.

- [1] B.WĘGLIŃSKI, Magnetycznie miękkie kompozyty proszkowe na osnowie żelaza, Prace Naukowe Instytutu Układów Elektromaszynowych Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie, 32,5,1981,
- [2] PRACA ZBIOROWA, Poroszkowa metalurgia. Spieczynnyje i kompozycyjnyje materiały pod red. W.SCHATTA, Moskwa, 1983.