



## Struktura i własności nowej generacji stali odpornych na korozję wytwarzanych metodami hybrydowymi

W. Szozda<sup>a</sup>, M. Bonek<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Studenckie Koło Naukowe Laserowej Obróbki Powierzchniowej  
email: vipersw@poczta.fm

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
email: miroslaw.bonek@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono proces metalurgii proszków. Jako pierwsza została opisana ogólnie technologia spiekania, kolejno przygotowanie proszku sposobami mechanicznymi i fizykochemicznymi. Następnie omówiono wpływ składu chemicznego na własności końcowego spieku. Dużą część pracy poświęcono także procesom formowania, prasowania i spiekania. Na końcu została omówiona obróbka gotowych wyrobów spiekanych i ich zastosowanie.

**Abstract:** The work presents the process of powder metallurgy. Has been described as the first overall sintering technology, in turn preparing powder by mechanical and physico-chemical methods. Then discusses the influence of chemical composition on the properties of the final sintered. A large part of the work devoted to the processes of forming, pressing and sintering. At the end of treatment was discussed fabricated and cemented their application.

**Słowa kluczowe:** metalurgia, proszek, formowanie, prasowanie, spiekanie

### 1. WSTĘP

Postęp współczesnej techniki możliwy jest między innymi dzięki opracowywaniu i wdrażaniu nowych materiałów do produkcji. Materiały takie powstają także dzięki metalurgii proszków (wytwarzanie metali z ich proszków bez przechodzenia przez stan ciekły). Metodę tą najczęściej wykorzystuje się wtedy (ale nie tylko), gdy metody topnienia i odlewania zawodzą. Z tego powodu metodami metalurgii proszków wytwarzamy metale trudno topliwe, spieki metali i niemetalu wykazujących znaczne różnice temperatury topnienia, materiały porowate na łożyska samosmarujące, materiały, które w stanie ciekłym są gęstoślężne i trudne do odlewania. Proces metalurgii proszków jest ekonomiczną metodą

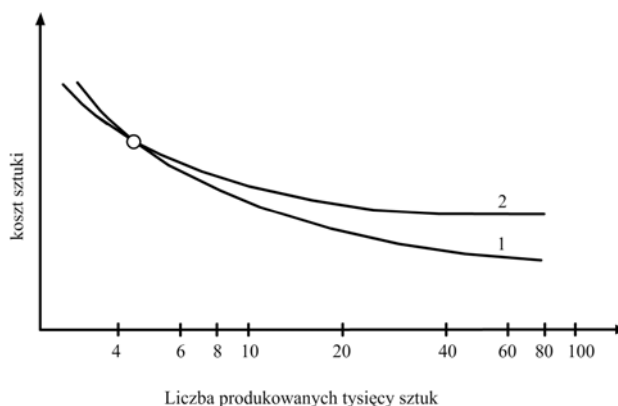
wielkoseryjnej produkcji elementów o niewielkich prostych kształtach. Elementy wytworzone tą techniką są w pełni sprasowane i zwarte o jednorodnej mikrostrukturze wolnej od niemetalicznych wtrąceń i defektów. Spieki charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi i odpornością na zużycie, przez co znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym i maszynowym. Wykonuje się z nich elementy tj. koła zębate, rolki, podkładki, nakrętki, zapadki, części amortyzatorów, gniazda zaworów, okucia budowlane itp.

## 2. DEFINICJA METALURGII PROSZKÓW

Metalurgia proszków to metoda wytwarzania przedmiotów z proszków metali bez ich topienia. Oddzielne cząstki proszków łączą się ze sobą w jednolitą masę podczas wygrzewania silnie sprasowanych kształtek w atmosferze redukującej lub obojętnej. Proces metalurgii proszków jest ekonomiczną metodą wielkoseryjnej produkcji elementów o niewielkich prostych kształtach, w wyniku której uzyskuje się w pełni zwarte sprasowane komponenty. Technologia ta umożliwia uzyskanie jednorodnej mikrostruktury wolnej od niemetalicznych wtrąceń i defektów. Zajmuje ona szczególne miejsce wśród technologii metali, z powodzeniem konkurując m.in. z odlewnictwem, obróbką plastyczną, obróbką skrawaniem, uzupełniając lub zastępując te technologie. Elementy z niektórych materiałów, np. metali trudno topliwych, węglików spiekanych, mogą być wytworzone jedynie metodami metalurgii proszków [4,5,11].

Metody metalurgii proszków są kosztowne co jest ich wadą; zaletą jest to, że dzięki ich zastosowaniu można otrzymywać[6]:

- materiały o ściśle określonym składzie chemicznym i wysokim stopniu czystości
- drobnoziarnistą strukturę materiałów,
- własności izotropowe,
- minimalizacja obróbki ubytkowej,
- minimalizacja strat materiałów na wióry, nadlewy, ścinki itp.
- dużą dokładność wymiarową otrzymanych wyrobów,
- wysoką jakość powierzchni gotowego wyrobu,
- otrzymany materiał może podlegać obróbce cieplnej w celu podwyższenia własności wytrzymałościowych lub odporności na zużycie,
- wyroby o skomplikowanych kształtach niemożliwych lub trudnych do uzyskania innymi metodami,



Rysunek 1. Koszty wyrobów wyprodukowanych metodą metalurgii proszków (1) oraz innymi technikami (2) [1, 2]

W czasie spiekania układy jednoskładnikowe spiekają się w temperaturze  $0,7 \div 0,8$  bezwzględnej temperatury topnienia. Łączenie ziaren następuje tutaj bez fazy ciekłej. Czas spiekania i temperatura są zależne od materiału (np. dla metali trudno topliwych około pół godziny, kilka godzin dla stopów magesowych). Im wyższa temperatura spiekania tym krótszy czas spiekania, a im niższa temperatura tym czas spiekania wydłuża się [6].

Układy wieloskładnikowe są spiekane z udziałem lub bez udziału fazy ciekłej. Faza ta powstaje w wyniku stopienia jednego lub kilku składników.

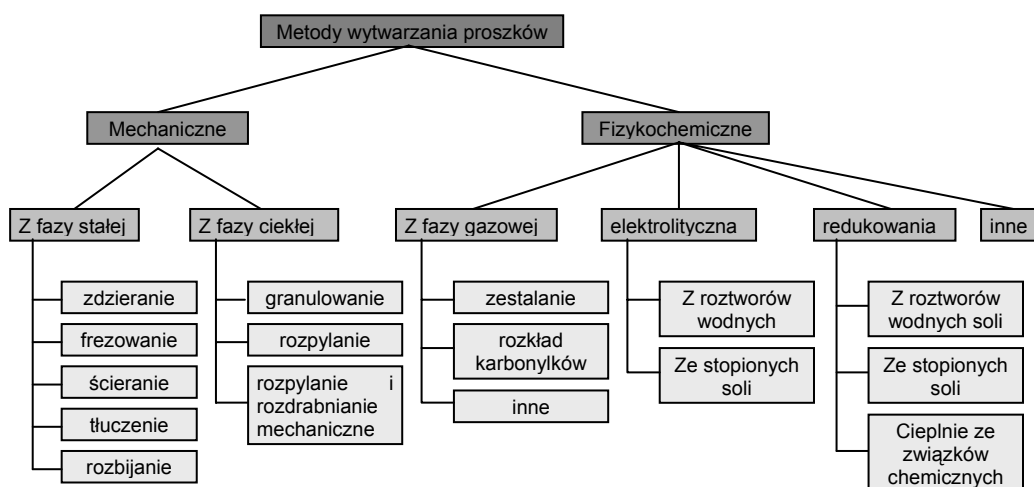
Istnieje możliwość połączenia spiekania i prasowania w jeden proces gdy chce się uprościć oraz przyspieszyć procesy technologiczne. Prasowanie następuje w wyższej temperaturze a spiekanie pod wpływem ciśnienia. Materiał który powstaje w wyniku takich zabiegów jest mało porowaty a jego właściwości fizyczne i wytrzymałościowe są lepsze niż przy rozdzielaniu tych operacji. Minusem jest mała wytrzymałość matryc przy podwyższonej temperaturze. W wyniku procesu spiekania powstają materiały o ściśle określonym składzie chemicznym oraz wysokim stopniu czystości. Produkcję spieków można podzielić na trzy etapy:

- wytwarzanie proszków metali,
- prasownie,
- spiekanie [6].

### 3. WYTWARZANIE I WŁAŚCIWOŚCI PROSZKÓW METALI

Wytwarzanie proszków obejmuje zespół procesów mechanicznych i fizykochemicznych, które mają na celu uzyskanie określonego materiału w postaci proszku. Na rysunku (rys. 2) przedstawiony jest podział metod wytwarzania proszków metalicznych. Proszki możemy otrzymać poprzez mechaniczne rozdrobienie materiału bez zmiany jego składu chemicznego lub jako produkt reakcji chemicznych z innych substancji. [2, 4, 5]

Metody mechaniczne takiej jak obróbka skrawaniem, polegająca na frezowaniu, toczeniu, zdzieraniu pilnikiem, szlifowaniu lub zdrapywaniu wirującymi szczotkami stalowymi, nie zapewniają otrzymania proszku o rozmiarze cząstek na tyle małym, aby nadawał się on do wytwarzania gotowych spieków. Wytworzone w ten sposób małej wielkości opiłki lub wióry można potraktować jako materiał do obróbki innymi metodami (np. rozdrabnianie w młynach). [1, 2]



Rysunek 2. Ogólna klasyfikacja metod wytwarzania proszków [3]

Znacznie większe są możliwości wytwarzania proszków metodami fizykochemicznymi. Główną grupę stanowią metody, których podstawą jest reakcja redukcji – utleniania, prowadząca do uwolnienia metalu z jego związku za pomocą odpowiednio dobranego reduktora. Proszki można także uzyskać poprzez termiczny rozkład niektórych związków, ale tylko wybranych metali. [2]

O kształcie i właściwościach (tab. 2.3) proszku decyduje metoda jaką go wytwarzano. Wielkość i kształt proszku mają duże znaczenie w procesie formowania wyrobów ponieważ mają bezpośredni wpływ na stopień wypełnienia komory zasypowej foremnika i w efekcie na gęstość wypraski. Na zagęszczenie proszku mają również wpływ jego właściwości mechaniczne oraz stan powierzchni. Umocnione w wyniku zgniotu proszki metali podczas wytwarzania są poddawane wyżarzaniu rekrytalizującemu, a proszki o utlenionej powierzchni – procesom redukcji tlenków. [8]

Tablica 2. Zależność kształtu proszku od metody jego wytwarzania [8]

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 moździerzach

Dobór metody wytwarzania proszków zależy od własności, jakich oczekuje się od końcowego produktu oraz od kosztów wytwarzania [2, 10]:

- mielenie w młynach - stosuje się do rozdrabniania materiałów kruchych.,
- obróbka skrawaniem - stosowana do produkcji proszków magnezu do celów pirotechnicznych,
- rozpylanie - rozbicie na krople strugi ciekłego metalu w wyniku działania sprężonych gazów lub cieczy,
- metoda parowania i kondensacji
- redukcja związków metali - polega na wywołaniu reakcji chemicznych prowadzących do uzyskania czystego metalu lub jego tlenku niższego rzędu.
- metalotermia – redukcja związków metali (tlenków, halogenków) innymi metalami, które wykazują większe powinowactwo do metaloidu w warunkach prowadzonego procesu niż redukowany metal.
- elektroliza - stopiona sól metalu ulega elektrolizie wskutek przepływu prądu stałego. Jony metalu pochodzące z roztworu lub z rozpuszczalnej anody wykonanej z metalu przerabianego na proszek tworzą na katodzie gąbczasty osad, który rozdrabnia się mechanicznie,
- synteza i dysocjacja karbonylków - metoda stosowana jest głównie do produkcji proszków niklu i żelaza. Jest kosztowna i niebezpieczna.

W Polsce najczęściej używane są proszki produkcji firm: Höganäs lub Mannesmann-Pulvermetal. Ich skład chemiczny i podstawowe właściwości technologiczne przedstawiono w tablicy 3 [7, 8].

Tablica 3. Skład chemiczny i właściwości technologiczne wybranych proszków żelaza produkcji Höganäs (wartości liczbowe z katalogów firmy) [8]

Charakterystyka proszku	Distaloy SA	Distaloy SE	MH80.23	SC100.26	AHC100.20
Skład chemiczny [%]					
Cu	1,50	1,50			
Ni	1,75	4,0			
Mo	0,50	0,50			
C	0,01	0,1	0,08	0,01	0,01
Strata wodorowa [%]	0,1	0,1	0,35	0,12	0,1
Fe	reszta	reszta	reszta	reszta	reszta
Gęstość nasypowa [g/cm <sup>3</sup> ]	2,7	2,7	2,3	2,65	2,9
Sypkość [s/50 g]	30	30	33	28	26
Minimalna gęstość wypraski (prasowanie pod ciśnieniem 600 MPa) [g/cm <sup>3</sup> ]	6,95	6,95	6,75	7,10	7,10

#### 4. FORMOWANIE Z PROSZKÓW

Metoda formowania proszków polega na nadaniu im odpowiedniego kształtu. Wyróżniamy następujące etapy formowania proszków:

- *Przygotowanie wsadu*

Aby przygotować mieszaninę drobin należy wyzarzyć redukcyjnie proszki metali w atmosferze wodoru w temperaturze 400 – 800<sup>0</sup>C aby usunąć tlenki wydzielające się na warstwie powierzchniowej, zważyć określone porcje proszków i środków poślizgowych oraz zmieszać w specjalnie do tego przeznaczonych urządzeniach tzw mieszalnikach i młynach [2,7,8].

- *Prasowanie proszków w matrycach*

Prasowanie proszków w matrycach jest najprostszą metodą formowania, które często jest stosowane w praktyce przemysłowej do wytwarzania kształtek z proszku, tzw. wyprasek. Prasowanie odbywa się w matrycy, do której zasypywany jest rozdrobniony materiał, a następnie następuje przez stempel zagęszczenie sypkiego proszku przez poddawanie go działaniu sił jednokierunkowej lub wielokierunkowych zewnętrznych powodujących jego zagęszczenie i odwzorowanie matrycy.

- *Spiekanie*

Spiekanie jest procesem polegającym na ogrzewaniu sproszkowanych lub drobnoziarnistych substancji do temperatury bliskiej temperaturze topnienia, bez doprowadzenia ich do stanu ciekłego, w matrycach. W wyniku spiekania następuje nadtopienie powierzchni i sklejenie poszczególnych ziaren w porowatą masę (trwałą kształtkę) [7,8,10].

- *Końcowa obróbka spieków*

Po spiekanii należy nadać dokładne wymiary, estetyczny wygląd oraz ulepszyć ich powierzchnię. Aby tego dokonać niezbędne są dodatkowe zabiegi technologiczne. Do wykonania tych zadań służą operacje pomocnicze takie jak: nasycanie, kalibrowanie, obróbka mechaniczna oraz rzadziej stosowane: obróbka cieplna, ochrona przed korozją, utlenianie i inne [1,2,8,9].

#### 4. Podsumowanie

Stosując techniki metalurgii proszków, wytwarza się całą gamę materiałów metalowych np. metalowe materiały spiekane porowate, cierne, magnetyczne, węgliki spiekane, styki elektryczne.

Posiadają one różnorodne zastosowanie:

Materiały porowate - używa się je jako materiały przeciwcierne, filtry lub materiały „potniejące”.

Materiały przeciwcierne - używa się ich produkcji: samosmarowych łożysk ślizgowych, panewek łożysk ślizgowych w przemyśle samochodowym, lotniczym obrabiarkowym itp.

Spieki na filtry - używa się do oczyszczania paliwa w silnikach samolotów, samochodów, traktorów. Służą one również do oczyszczania płynów, odpylania powietrza i gazów. [1,4,5]

Materiały spiekane pocące się - przeznaczone są do chodnic działających na zasadzie odparowania czynnika chłodzącego przez pory. [1,4]

Cierne materiały ceramiczno-metalowe (cermetale) - Materiały tego rodzaju stosuje się w układach komputerowych i w sprzęgłach ciernych pojazdów. [1,4,5]

Węgliki spiekane - wykonuje się z nich ostrza narzędzi skrawających, elementy maszyn ulegające szybkiemu zużyciu. Służą one także do produkcji ciągadeł do ciągnięcia drutu oraz narzędzi wiertniczych. [1, 4, 5]

Materiały magnetyczne spiekane - stosowane w radiotechnice, elektrotechnice i w innych gałęziach przemysłu elektrycznego. Wytwarza się materiały magnetyczne miękkie (feryt o strukturze spinelu) i materiały magnetycznie twarde (magnesy stałe, magnetodielektryk).

#### LITERATURA

1. Barcik J, Kupka M, Wala A.: Technologia metali. Tom 2. System i techniki wytwarzania, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2000.
2. Cyunczyk A.: Podstawy inżynierii spieków metalowych. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2000.
3. Cyunczyk A.: Techniki wytwarzania. Technologia spieków, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 1979.
4. Dobrzański L.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne 2006.
5. Dobrzański L.: Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach. Warszawa, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne 1998.
6. Kieffer R., Hotop W.: Metalurgia proszków i materiały spiekane, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Katowice 1951.
7. Lis J., Pampuch R.: Spiekanie, Kraków 2000.
8. Nowacki J.: Spiekane metale i kompozyty z osnową metaliczną, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
9. Nowacki J.: Spieki metali w budowie maszyn, Politechnika Łódzka, Łódź 1997.
10. Rutkowski W.: Metalurgia proszków w nowoczesnej technice, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1963.