
Materiály práškovej metalurgie

Elena Kantoríková, Ing. PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,

Žilinská univerzita v Žiline,

Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

Powder metallurgy materials

Abstract: Powder metallurgy is used in all branches of industrial production. the main advantage of powder metallurgy is the saving of metals (materials) and energy. the main direction of development is expected mainly in the production of tool parts. the article describes the analysis of powders and the use of materials for powder metallurgy.

Keywords: powder metallurgy, materials, analysis.

ÚVOD

Prášková metalurgia (PM) je technický odbor zaoberajúci sa výrobou práškových kovov, chemických zlúčenín a zliatin, ktorý nasledujúcim spracovaním dáva požadovaný tvar a vlastnosti. Má širšie možnosti ako hutníctvo. Je schopná vyrobiť všetky zliatiny a kovy ako hutníctvo a navyše aj materiály, ktorých výroba nie je možná v hutníctve. Klasickým príkladom sú napr. disperzne spevnené materiály ako $Al - Al_2O_3$, pri ktorých je matrica spevnená disperznými časticami, ako sú napr. oxidy [1].

V technickej praxi sa môže o aplikácii PM hovoriť v dvoch prípadoch:

- ak materiál nie je možné vyrobiť iným spôsobom (disperzne spevnené materiály, spekané karbidy a pod.),
- ak výroba konštrukčných súčiastok je ekonomicky výhodnejšia (jedná sa o sériovú výrobu súčiastok, napr. v automobilovom priemysle, kde aplikáciou práškovej metalurgie sa dosahujú značné výhody, a to z hľadiska šetrenia materiálu a aj energie).

O PM sa dá hovoriť aj ako o bezodpadovej technológii. Na výrobu danej konštrukčnej súčiastky sa použije len toľko práškového kovu, koľko je potrebné [2].

Počiatky PM z historického hľadiska nie sú známe. Niekoľko tisícročí pred našim letopočtom boli vyrábané technológiou práškovej metalurgie zlaté predmety z vyryžovaných častíc kovového zlata. Tieto častice sa ďalším spracovaním – kovaním spojili a takto boli vyrobené rôzne úžitkové ako aj ozdobné zlaté predmety [3].

V roku 1826 P. G. Soboljevskij v Rusku prvý krát využil práškovú metalurgiu. Vtedajšími technickými prostriedkami nebolo možné dosiahnuť teplotu tavenia platiny - $1773,5 \pm 1$ °C. Používaná Acharova metóda s pridávaním arzenu k platine za účelom zníženia bodu tavenia platiny bola nevýhodná, nakoľko prudko jedovaté pary arzenu ohrozovali zdravie tavičov a zamorovali okolie. Soboljevskij našiel spôsob výroby práškovej platiny cestou kalcinácie chloridu amoniatoplaticitého [4]. Takto získanú práškovú platinu potom lisoval do tyčiek, spekal a za tepla koval. Takto získal platinu, ktorá bola schopná ďalšieho spracovania. Tento spôsob výroby práškovej platiny, umožnil vyrábať veľké množstvo čistej platiny. Táto výroba bola dôvodom aj k tomu, že v Rusku sa začali raziť platinové mince - ruble. Po zastavení razenia mincí v roku 1846 opäť PM stratila svoj technický význam [5].

Výroba vlákien do žiariviek, pôvodne zhotovovaných z ťažkotaviteľného osmia (teplota tavenia 3000 °C) neskôr z volfrámu (teplota tavenia 3410 ± 20 °C) cestou práškovej metalurgie predstavuje začiatok novodobej histórie práškovej metalurgie. Neskôr sa začali vyrábať spekané karbidy v priemyselnom meradle (1927) a začala priemyselná výroba pórovitých samomazacích ložísk zo zmesí práškového bronzu a grafitu (1924).

Dnes PM patrí medzi najprogressívnejšie technológie výroby konštrukčných súčiastok vzhľadom na svoje možnosti vysokého využitia materiálu, možnosti zníženia energetickej náročnosti ako i možnosti automatizácie výroby postupov.

1 PRÁŠKOVÉ KOVY

Štúdium vlastností kovových práškov je dôležité predovšetkým pre objasnenie základných pochodov práškovej metalurgie. Správanie práškov v priebehu jednotlivých procesov ich premeny na kompaktný materiál závisí od mnohých parametrov. Čím lepšie bude možné kontrolovať vlastnosti východiskového práškového materiálu, tým presnejšie bude možné zhotoviť konečný výrobok, s menšími toleranciami jeho vlastností. Vlastnosti kovových práškov, najmä veľkosť, tvar a rozloženie častíc, závisí od spôsobu ich výroby a úpravy. Pri charakterizácii práškov je nutné hodnotiť jednak vlastnosti individuálnych častíc (veľkosť, tvar, chemické zloženie, mikroštruktúra, hustota, mikrotvrdosť), ale aj ich kolektívne, objemové vlastnosti, ako je tekutosť, povrchové vlastnosti a i. Vlastnosti kovových práškov možno všeobecne rozdeliť na základné, technologické a združené vlastnosti. Do kategórie fyzikálnych vlastností patrí veľkosť zŕn, tvar zŕn, distribúcia veľkosti častíc (rozloženie zŕn), mikroštruktúra, mikrotvrdosť a pórovitosť častíc a merný povrch častíc. Základné vlastnosti patria medzi najdôležitejšie vlastnosti kovových práškov a preto musí byť čo najpresnejšie definované. Technologické vlastnosti práškových kovov sú sypná hustota, lisovateľnosť, tekutosť, sypný objem, objem po zhutňovaní, hmotnosť po zhutňovaní a krycia schopnosť prášku. Jedná sa o vlastnosti tvorené veľkým množstvom rôznych práškových častíc. Medzi základnými a technologickými vlastnosťami existujú viac alebo menej zreteľné vzťahy. V práškovej metalurgii sa prášky kategorizujú aj podľa združených vlastností ako sú elektrická vodivosť, magnetické vlastnosti, teplota topenia, tepelná vodivosť a štruktúra kryštálov.

2 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI PRÁŠKOVÝCH KOVOV

Definícia pojmu "veľkosť častice" je pomerne náročná, pretože častice kovových práškov nie sú rovnako veľké a môžu mať komplikovaný tvar, ktorý sa zložito meria. Preto je zvyčajne potrebné zjednodušený predpoklad pre tvar, aby sa zredukoval počet rozmerových informácií na jediný parameter. Technicky pripravené kovové prášky sú v podstate zmesi častíc rôznej veľkosti. Rozloženie (distribúcia) veľkosti častíc sa v týchto zmesiach riadi určitými zákonitostami, ktoré sú dané typom prášku, jeho výrobou a úpravou. Veľkosť častíc závisí jednak od metódy merania a na tom, ktorý špecifický parameter sa meria, a jednak na tvare častíc. Preto analýza veľkosti častíc na rôznych zariadeniach nedáva zhodné výsledky veľkosti častíc v dôsledku

rozdielov meraných parametrov. Pre sférickú časticu je rozmer daný jediným parametrom - priemerom. Ak je tvar častíc komplexnejší je zrejme, že definovanie jediného parametra bude ťažké. Rozmedzie veľkosti častíc, používané v práškovej metalurgii (tab. 1).

Tab. 1. Rozdelenie častíc podľa veľkosti

Označenie	Veľkosť [μm]	Spôsob analýzy
Veľmi hrubé disperzné	> 500	Hrubá sitová analýza
Hrubé disperzné	$500 \div 50$	Jemná sitová analýza
Jemné disperzné	$50 \div 5$	Mikroskopia, sedimentácia
Veľmi jemné disperzné	$5 \div 0,2$	Mikroskopia, sedimentácia
Koloidné disperzné	$0,2 \div 0,02$	Elektrónová mikroskopia
Molekulárne disperzné	$< 0,02$	

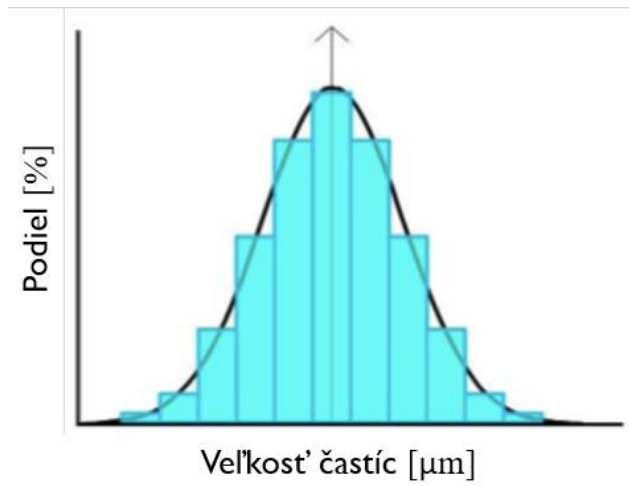
Tvar zŕn je závislý od druhu prášku a spôsobu jeho výroby. Častice sa nelíšia iba tvarom, ale veľakrát aj kvalitou povrchu. Niektoré častice môžu mať takmer hladký povrch, napr. častice pripravované granuláciou, atomizáciou taveniny, kondenzáciou alebo rozkladom karbonylu. Iné prášky môžu mať povrch značne členitý, napr. *Fe* prášok vytvorený redukciou. Stanovenie tvaru častíc je daný normou STN 42 0890-12 „Skúšanie kovových práškov. Stanovenie tvaru častíc.“

2.1 Distribúcia veľkosti častíc

Každý práškový materiál má rôzne veľké častice, ktorých veľkosť klesá spojito od maximálnej veľkosti až po určitú spodnú hranicu. Tento rozsah veľkostí sa z praktického hľadiska rozdeľuje na niekoľko tried, v ktorých sa nachádzajú častice s určitým rozdielom veľkostí.

Veľkostné charakteristiky možno prezentovať ako distribučné funkcie, ktoré udávajú množstevný podiel častíc, patriacich určitému k veľkosti parametra. Tieto množstevné podiely môžu byť vyjadrené buď ako kumulatívne alebo frekvenčný distribúcie. Frekvenčný distribúcie sa zobrazuje vo forme stĺpcového diagramu alebo ako kontinuálna derivácia kumulatívnej distribúcie. V prípade stĺpcového diagramu sa na os *x* nanášajú rozsahy veľkostí jednotlivých frakcií a na os *y* príslušný počet častíc, najčastejšie v % alebo hm.% (sieťová analýza). V mnohých prípadoch je výhodnejšie vynášať na os *y* celkový percentuálny obsah alebo hmotnosť všetkých častíc s daným a menším priemerom. Tým sa získa integrálne, alebo kumulatívne krivka rozloženia veľkosti častíc. Používajú sa rôzne typy

koordinačných systémov, napr. lineárne (obidve osi) a lineárno – logaritmické [6, 7].



Obr. 1. Stĺpcový diagram distribúcie veľkosti častíc

Distribúciu veľkosti častíc možno stanoviť rôznymi metódami podľa stupňa disperzity. Pre hrubé prášky s veľkosťou nad 50 μm sa v praxi používa sieťový rozbor, pre jemnozrnné prášky napr. mikroskopické meranie, sedimentácia, triedenie vzduchom, laserový analyzátor veľkosti častíc a i. Rozloženie prášku do jednotlivých tried a príprava definovaných zmesí častíc s určitou veľkosťou má v *PM* značný význam. Týmto spôsobom možno pripraviť zmesi hrubších a jemnejších častíc v takom pomere, že po miešaní a naplnení matrice lisu vznikne pomerne hutný výlisok, v ktorom budú dutiny medzi veľkými časticami vyplnené jemnozrnným podielom [8].

3 MATERIÁLY NA VÝROBKY PRÁŠKOVEJ METALURGIE

Klzné materiály - prítomnosť pórov zaplnené olejom, nízky koeficient trenia, vysoká odolnosť voči opotrebeniu. Pórovité ložiská, krúžky, puzdra z materiálov na báze *Fe*, *Cu*, *Al*. Využívajú sa pre rôzne trecie uhly v autách, lietadlách, a iných strojoch.

Frikčné materiály - platne z materiálov na báze *Fe* alebo *Cu*. Charakteristická je vysoká odolnosť voči opotrebeniu. Používajú sa pre brzdne uzly kolies automobilov, lietadiel.

Stlačiteľné materiály - ploché vložky, krúžky z materiálov na báze *Ni* a *Fe*. Charakteristický je nízky koeficient trenia. Využívajú sa pre tesnenia bandáže plynových turbín, motorov reaktívnych lietadiel.

Kontakty - materiály a výrobky pre elektrotechniku. Pseudozliatiny ťažkotaviteľných kovov ako *Ag-W*, *Cu-W*, *Mo-Ag*, *Mo-Cu*, *Ag-C*, *Cu-C* a pod. Využívajú sa v elektrických strojoch ako spínače a pod.

Magnety - výrobky z vysokočistého *Fe*, z jeho zliatin s *Ni* a *Co* (magneticky mäkké materiály), zliatiny *Fe*

s *Al*, *Si*, *Ni*, *Co*, *Cu* a iné. Využívajú sa v uzloch rôznych prístrojov.

Filtre - vysokopórovité materiály a výrobky z materiálov na báze *Fe*, *Ni*, *Ti*, *Cr*, *Al*, bronzov. Využívajú sa na čistenie plynov a kvapalín.

Vláknité pórovité výrobky - krúžky a puzdra vyrábané z kokových vlákien s pórovitosťou 70 ÷ 80 %. Využívajú sa pre antivibračné podložky.

Spekané karbidy - materiály na báze *WC*, *TiC*, *TaC*. Častice karbidov sú spojené *Co* alebo *Ni*. Využívajú sa pre rezné doštičky a nástroje pre obrábanie.

Superzliatiny - materiály na báze *Ni*, *Ti* a *Cr*. Lepšie úžitkové vlastnosti. Využívajú sa pre lopatky a disky reaktívnych motorov.

Disperzné spevnené materiály - materiály na báze *Al*, *Ti*, *Ni*, *Cu*, *Cr* a iných kovov disperzne spevnené časticami najmä oxidmi. Využívajú sa pre súčiastky na prácu pri vysokých teplotách.

Cermety - materiály na báze ťažkotaviteľných zlúčenín (karbidov, intermetalických zlúčenín) s vysokou žiarupevnosťou. Využívajú sa pre súčiastky na prácu za vysokých teplôt.

Materiály ťažkotaviteľných zlúčenín - výrobky rôznej formy, predovšetkým malých rozmerov z karbidov, boridov, silicidov, nitridov, a ich zliatin. Využívajú sa pre nukleárnu a kozmickú techniku.

Zliatiny ťažkotaviteľných kovov - zliatiny *W* a *Mo* s *Ni*, *Co*, *Fe* a inými kovmi s vysokými hodnotami hustoty a pevnostných vlastností. Využívajú sa pre vákuovú techniku, zliatiny s hustotou vyššou ako 13 000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Nástrojové ocele - zliatiny na báze *Fe*, využívané pre výrobu nástrojov.

Konštrukčné materiály - materiály prevažne na báze *Fe*, ale aj iných kovov. Využívajú sa pre súčiastky strojov a prístrojov [9-11].

4 KONŠTRUOVANIE SPEKANÝCH VÝROBKOV

Spekanie výlisokov sa realizuje najčastejšie pri teplote 60 °C až 90 °C z teploty tavenia základného kovu. Spekaním sa dosiahne kompaktný tvar, zvyšuje sa pevnosť a znižuje pórovitosť súčiastok. Spekanie sa uskutočňuje v ochranných atmosférach alebo vo vákuu. Priebeh je riadený difúziou (s výnimkou spekaných karbidov a kovokeramických materiálov). Väčšinou prevláda povrchová difúzia alebo difúzia na hraniciach zŕn [12]. Spekané materiály sú charakteristické určitou pórovitosťou, heterogenitou a izotropnosťou. Pórovitosť súvisí s podstatou práškovej metalurgie (závisí od podmienok zhutňovania a spekania) a prejavuje sa aj na hustote výsledného materiálu. Heterogenita mikroštruktúry je vyvolaná predovšetkým chemickou heterogenitou, ktorá je výrazná najmä v spekaných materiáloch

vyrobených zo zmesí práškov rôzneho chemického zloženia. Vlastnosti spekaných materiálov spravidla nie sú výrazne smerovo závislé v porovnaní s plasticky deformovanými (valcovanými) materiálmi, ktoré majú rozdielne mechanické vlastnosti v pozdĺžnom a priečnom smere [13].

Výrobky *PM* sa uplatňujú vo všetkých odvetviach výroby. Dôvody pre uplatnenie *PM* možno rozdeliť do dvoch skupín: *PM* umožňuje výrobu nových typov materiálov, ktoré nejde vyrobiť klasickými technologickými postupmi (napr. spekané karbidy). *PM* je pre daný výrobok ekonomicky výhodná. Cenová efektívnosť je tým vyššia, čím má súčiastka menšiu hmotnosť a zložitejší tvar. Zároveň na cenu vplyva aj početnejšia vyrábaná séria a náročnosť použitej technológie [14-16].

Dodatočné spracovanie po spekaní sa realizuje iba v niektorých prípadoch s cieľom zabezpečiť:

- presnosť rozmerov (kalibrovanie),
- pevnosť (kovaním po spekaní sa v konštrukčných oceliach zníži pórovitosť),
- odolnosť proti opotrebeniu (tepelné alebo chemicko-tepelné spracovanie),
- koróziu odolnosť (konzervovanie, pokovovanie).

ZÁVER

Materiály *PM* patria stále medzi progresívne materiály, ktorých vývoj stále napreduje. Rovnako aj spôsoby a technológie výroby práškov. Analýza práškových kovov je súčasťou nie len vo firmách na ich výrobu, ale aj výskumnej činnosti vo vedeckých laboratóriách.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU-4/2021 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

[1] SCHATT, W. - WIETERS, K. P. - KIEBACK, B. (2007): *Pulvermetallurgie, Technologien und Werkstoffe*. Düsseldorf: Springer-VDI-Verlag, 552 p., ISBN 978-3-540-23652-8.

[2] NEIKOV, O. D. - NABOYCHENKO, S. S. - MURASHOVA, I. V. - GOPIENKO (2009): *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders - Technologies and Applications*, 1st ed., Philadelphia: Elsevier, 671 p., ISBN 978-1-85617-422-0.

[3] ASM Handbook (1998): Volume 7: *Powder Metal Technologies and Applications*. Ed. Peter W. Lee. 1st ed. Materials Park: ASM International, 1147 p., ISBN 978-0871703873.

[4] ANGELO, P. - SUBRAMANIAN, R. (2008): *Powder metallurgy: science, technology and applications*. 1st ed. Delhi: PHI Learning Pvt, 312 p., ISBN 978-8120-3328-12.

[5] LUKÁČ, I. (1990): *Prášková metalurgia*. Alfa, Vysoká škola technická v Košiciach, ISBN 80-05-00422-2

[6] *Histogram* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Histogramme_1oi_normale.svg>.

[7] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metallurgy*. 1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X.

[8] GERMAN, R. M. (1994): *Powder Metallurgy Science*. 2nd ed. Princeton: MPIF, 472 p., ISBN 1-878954-42-3.

[9] *Sieve analysis* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sieve_analysis>.

[10] MORAVEC, J. - KANTORIKOVÁ, E. - FABIAN, P. (2020): *Prášková metalurgia*. Žilina EDIS, ISBN 978-80-554-1692-2.

[11] *Sedimentation analysis* [online]. [cit. 26.8.2013]. Dostupné z: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-68112-0_4.pdf>.

[12] SZABA, J. (2017): TU Košice, *Teplotná stabilita štruktúry práškových kompozitov na báze medi*, Dizertačná práca.

[13] MATTHEWS, F. L. - RAWLINGS, R. D. (1994): London, *Composite materials: engineering and science*, Chapman and Hall.

[14] HOSFORD, W. F. (2005): *Mechanical behavior of materials*. New York, USA: Cambridge University Press, s. 425., ISBN 0-521-84670-6.

[15] VELGOSOVÁ, O. - MIŠKUFOVÁ, A. - LAUBERTOVÁ, M. (2008): Košice, *príprava kompozitov na báze AL*, Acta Metallurgica Slovaca 14, p. 103-112.

[16] THÜMMLER, F. - OBERACKER, R. (1993): *Introduction to powder metallurgy*. 1st ed. Cambridge: The University Press, 332 p., ISBN 0-901716-26-X.