

Dodatočné spracovanie spekaných materiálov

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

Additional processing of sintered materials

Abstract: Powder metallurgy is a method of producing materials and products with required properties and required exact shapes. The development of new materials contributes to this. The general advantage of powder metallurgy is the possibility of producing parts of complex and precise shapes in large series and optimized production costs, resulting from lower energy requirements compared to casting and chip machining.

Keywords: Powder metallurgy, heat treatment, sintered materials

ÚVOD

Prášková metalurgia je metóda výroby materiálov a výrobkov s požadovanými vlastnosťami a požadovanými presnými tvarmi. Prispieva k tomu vývoj nových materiálov. Všeobecná výhoda práškovej metalurgie je možnosť výroby súčiastok zložitých a presných tvarov vo veľkých sériách a optimalizovaných výrobných nákladoch, vyplývajúcich z nižšej energetickej náročnosti oproti odlievaniu a trieskovému obrábaniu. No aby výroba súčiastok použitím práškovej metalurgie bola ekonomicky výhodná, je potrebné vyrábať väčšie série, keďže nástroje sú veľmi drahé. Taktiež dochádza k minimálnemu vzniku prebytočného materiálu. Pomocou práškovej metalurgie je dnes možné spracovať veľké množstvo kovov a ich zliatin.

Prášky sa pripravujú buď mechanicky, rozstrekom tekutého kovu alebo pomocou fyzikálno-mechanických a elektrochemických metód. Od použitej metódy prípravy prášku sa odvíja aj jeho morfológia. Po príprave prášku nasleduje jeho čistenie, premiešanie s mazivom a prášok je pripravený na formovanie a zhutnenie. Po zhutnení nasleduje spekanie, po ktorom materiál dosahuje svoje základné fyzikálne a pevnostné vlastnosti.

Na vlastnosti konečného výrobku vplýva množstvo faktorov. Od typu kovového prášku až po podmienky, pri ktorých bol prášok spekaný a od ďalšieho dodatočného spracovania po spekanie.

1 DODATOČNÉ OPERÁCIE

V praxi pri výrobkoch vyrobených práškovou metalurgiou a teda zo spekaných materiálov, môžu byť kladené vyššie nároky na opracovanie a vlastnosti, oproti vlastnostiam dosiahnutých len po spekaní bez ďalšieho spracovania. Napríklad môže ísť

o menšie tolerancie, zvýšené mechanické vlastnosti, odolnosť voči opotrebeniu alebo zvýšenú odolnosť voči korózii. Zlepšenie týchto vlastností sa dá dosiahnuť pomocou tzv. sekundárnych alebo dodatočných operácií. Dodatočné operácie, používané na zaistenie požadovaných vlastností po spekaní síce predražujú konečný výrobok, ale aj tak je vo väčšine prípadov proces výroby práškovou metalurgiou v porovnaní s inými technológiami výhodnejší, pri výrobe veľkého počtu kusov. Vlastnosti spekaných výrobkov najčastejšie ovplyvňuje ich vrodená pórovitosť [1, 2]. Konečná úprava závisí od druhu spekaného materiálu a účelu použitia výrobku. Medzi dodatočné operácie môžeme zaradiť:

- *tepelné spracovanie,*
- *chemicko-tepelné spracovanie,*
- *pokovovanie,*
- *odhrotovanie,*
- *kalibrovanie,*
- *trieskové obrábanie,*
- *zváranie,*
- *spájkovanie,*
- *infiltrácia,*
- *impregnácia,*
- *spracovanie v prehriatej pare,*
- *zvýšenie odolnosti voči korózii.*

1.1 Tepelné spracovanie

Používa sa za účelom zvýšenia pevnostných vlastností spekaných výrobkov. Princípy tepelného spracovania spekaných materiálov sú rovnaké ako v klasickej metalurgii. Pre kalenie sa najčastejšie

používa olej, nevhodné sú soľné kúpele. Pri vyššej pórovitosti je pri ohreve na kaliacu teplotu potrebné použiť ochrannú atmosféru. Prvým krokom pri určovaní potrebného spracovania povrchu spekaného výrobku je stanoviť, aké vlastnosti by mal povrch vykazovať v závislosti od podmienok jeho zaťažovania. Je rozhodujúce, či je spekaný výrobok určený na prácu v podmienkach abrazívneho opotrebenia pri vysokých alebo nízkych tlakoch, v podmienkach únavového zaťaženia, kontaktovej únavy korózie a pod. V prípade potreby zvýšenia pevnosti sa najčastejšie používajú:

- operácie realizované tepelným spracovaním,
- operácie na zníženie pórovitosti.

Tepelné spracovanie má význam len vtedy, ak je pórovitosť materiálu menšia ako 5 %. Pri väčšej pórovitosti je efekt zmien vyvolaných tepelným spracovaním potlačený prítomnosťou metalurgických defektov - pórov. Spekané materiály sa v dôsledku pórovitosti vyznačujú zhoršenou tepelnou vodivosťou, čo ovplyvňuje aj procesy ich tepelného spracovania. Z procesov tepelného spracovania sa najčastejšie používa kalenie, povrchové kalenie, popúšťanie a vytvrdzovanie. Pre materiály na báze Fe sa zvyčajne používa zušľachtovanie a pre materiály Al-Cu sa využíva precipitačné vytvrdzovanie [1].

1.2 Chemicko-tepelné spracovanie

Najčastejšie sa používa cementovanie a nitridovanie, ale aj ostatné druhy chemicko-tepelného spracovania, kedy sa povrch súčiastky do určitej hrúbky nasýti uhlíkom, dusíkom alebo ich kombináciou. Po cementovaní musí nasledovať kalenie. Chemicko-tepelným spracovaním sa vytvárajú povrchové vrstvy rôznej hrúbky a tvrdosti, čím dochádza aj k zvýšeniu odolnosti proti opotrebeniu. Pri pórovitých materiáloch sa požadované hrúbky vrstiev dosahujú rýchlejšie ako u kompaktných materiáloch [2].

1.3 Trieskové obrábanie

Výrobky práškovej metalurgie sa často označujú ako produkty, ktoré nie je potrebné dodatočne obrábať. Niekedy však môže byť ekonomicky výhodnejšie niektoré detaily obrobiť, ako zvyšovať náklady na presné lisovanie, resp. na zložitejší tvar lisovacieho nástroja. Pri trieskovom obrábaní výrobkov zo spekaných materiálov, ktoré vykazujú určitú mieru pórovitosti, je potrebné oproti trieskovému obrábaniu odliatkov zohľadniť, že:

- pri spekaných materiáloch je hĺbka spevnenia povrchu v dôsledku obrábania veľmi dôležitá, pretože póry pôsobia ako koncentrátoři napätia,
- teplota na špici nástroja spôsobuje oxidáciu pórovitého povrchu,

- pórovitosť povrchu spôsobuje vibráciu obrábacieho nástroja a jeho únavové namáhanie.

So zvyšovaním hustoty výrobkov sa podmienky obrábania približujú podmienkam obrábania odliatkov.

Vrodená pórovitosť spôsobuje pri obrábaní spekaných výrobkov nasledujúce problémy:

- póry sa môžu upchávať v dôsledku znečisteného povrchu,
- chladiace kvapaliny môžu preniknúť do povrchu,
- povrchy môžu byť nabité abrazívami z brúsenia, honovania, lapovania, superfinišovania.

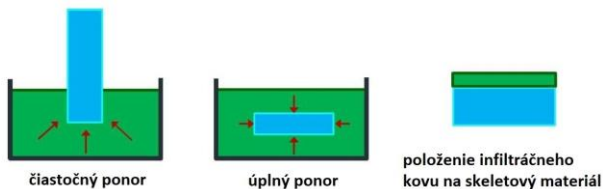
Niekedy sa obrábanie uskutočňuje po operácii predspekania, ktoré sa pri oceliach realizuje pri teplotách 850 °C až 950 °C. Po opracovaní sa výrobky ešte spekajú, prípadne kalibrujú. Medzi najčastejšie spôsoby trieskového opracovania spekaných súčiastok patrí sústruženie, frézovanie, brúsenie, vrtanie, výroba závitov. Predovšetkým je nevyhnutná pomocou dodatočného trieskového obrábania výroba dier, ktoré sa nachádzajú na bočných stenách súčiastok, pretože takéto diery sa nedajú tvarovať pri tvarovaní prášku [3].

1.4 Kalibrácia

Stupeň presnosti výrobku je daný tak presnosťou lisovacieho nástroja, ako aj stupňom zmraštenia pri spekaní. Výškové rozmery vyrábanej súčiastky sú menej presné, ako rozmery v horizontálnom smere, ktoré sú utvárané matricou. Zmraštenie, ku ktorému dochádza pri spekaní, nie je vo všetkých smeroch výlisku percentuálne rovnaké. Takže rozmery nástroja sa často stanovujú na základne charakteru výlisku a spracovávaného práškového materiálu. Podľa veľkosti a usporiadania tvaru výlisku môžu byť dosiahnuté rozmery v horizontálnom smere presnosti IT7 až IT9. Pre zvýšenie rozmerovej presnosti sa robí kalibrácia, ktorá umožňuje dosiahnuť presnosť IT6 až IT7. Spočíva v tom, že sa súčiastka prelisováva v kalibračnom nástroji, ktorý je vyrobený s nižšími toleranciami, ako nástroj na lisovanie. Pri kalibrovaní sa ďalej zvyšuje kvalita povrchu súčiastky a dochádza k spevneniu deformovanej povrchovej vrstvy. Dodržiavanie presnosti je náročnejšie pri zväčšujúcej sa hustote a pevnosti. Pri lisovaní v delených matriciach sa tolerancie sčítavajú. Pri väčších nárokoch na presnosť spravidla nasleduje mechanické opracovanie. Kalibrácia prebieha za značne znížených tlakov, ako v priebehu formovania [4]. Kalibrovanie spekaných súčiastok na báze Fe sa robí pri tlakoch 400 MPa až 600 MPa.

1.5 Infiltrácia

Infiltrácia kovom je napúšťanie spekaných kovových skeletov roztaveným kovom. Prebieha buď úplným ponorením do tekutého kovu alebo čiastočným ponorením, pričom sa tekutý kov nasaje do porézneho kovového výlisku kapilárnymi silami. Ďalším spôsobom je polozenie nízkotavitel'ného kovu na porézny výlisk, do ktorého po prekročení teploty tavenia zatečie a vyplní v ňom póry a dutiny. Uvedené spôsoby infiltrácie sú uvedené na obr. 3.



Obr. 1. Spôsoby infiltrácie porézneho skeletového materiálu roztaveným kovom.

Pomocou infiltrácie sa dosiahne čiastočná eliminácia problému pórovitosti. Ocelové súčiastky sa infiltrujú na vyplnenie napr. meďou. Pri voľbe teploty infiltrácie sa riadime teplotou tavenia infiltrovaného materiálu, ktorá musí byť výrazne odlišná od teploty tavenia skeletového materiálu. Hodnota viskozity kovu, ktorým infiltrujeme skeletový materiál, má byť čo najnižšia. Nedostatočnú zmáčavosť možno odstrániť legovaním komponentmi znižujúcimi povrchovú energiu medzi tuhú a kvapalnou fázou [5]. Infiltráciou je možné vytvárať kompozitné materiály, ktoré by sa nedali pripraviť klasickou metalurgiou, a len ťažko cestou práškovej metalurgie.

1.5.1 Tlaková infiltrácia

Podstata metódy spočíva v tom, že pórovité teleso je ponorené do kúpeľa kvapalného kovu a následným pôsobením pretlaku inertného plynu na hladinu kovu penetruje kov do pórov telesa, kde zatuhne, čím sa vytvorí príslušná materiálová kombinácia. Proces sa realizuje v autokláve. Prednosťou metódy je vysoká produktivnosť, ekonomickosť a variabilnosť pri voľbe materiálových kombinácií, čo umožňuje netradičným spôsobom riešiť širokú škálu materiálových problémov najmä v oblasti tribológie, elektrotechniky, chemických a energetických zariadení, v leteckom a automobilovom priemysle. Technológia tlakovej infiltrácie ťažkotavitel'ných pórovitých telies (kremík, uhlík, ťažkotavitel'né kovy) kvapalnými kovmi s teplotou tavenia do 1200 °C, umožňuje vytvárať kompozitné materiály [5, 6].

1.6 Impregnácia

Takisto sa používa na elimináciu pórovitosti. Ocelové súčiastky sa impregnujú polyesterovou živnicou, olejom alebo voskom. Časti, ktoré chceme impregnováť, jednoducho ponoríme na niekoľko hodín do olejového kúpeľa [7]. Dobrá impregnácia sa

dá dosiahnuť, ak sa teplota kúpeľa pohybuje okolo 80 °C.

1.6.1 Impregnácia vo vákuu

Časti, ktoré chceme impregnováť olejom, sa vložia s košíkom do vákovej komory. Komora sa naplní olejom. Zvýši sa tlak v komore na atmosférický, olej z komory odčerpáme. Problém môže spôsobiť vznik plynových bublín, ktoré vznikajú v dôsledku rozpustených plynov v oleji, plynov vzniknutých v dôsledku chemickej reakcie alebo plynov rozpustených v spekanom materiáli. Pri impregnácii živnicou sa väčšina prepojených pórov naplní živnicou najčastejšie na báze polyesteru alebo iného plastu. Impregnácia zlepšuje obrábiteľnosť povrchov. Jej nevýhodou je však nemožnosť ďalšieho tepelného spracovania impregnovaných súčiastok. Impregnovanie sa najčastejšie používa na súčiastky ako sú valce, pumpy, kompresory, brzdové piesty.

Problém pórov v súčiastkach, ktoré majú byť pokovované, rieši impregnácia živnicou. Vyplnenie pórov živnicou pôsobí preventívne proti zachytávaniu iných kvapalín, ktoré by sa neskôr mohli dostať na povrch a zničiť konečnú povrchovú úpravu. Impregnácia živnicou zvyšuje konštrukčnú pevnosť a eliminuje vnútornú koróziu. Ide o súčiastky ako časti dýz, pólové nadstavce, dekoračné časti automobilov [7, 8].

1.7 Zvýšenie odolnosti voči korózii

Pre materiály na báze železa ide o galvanické pokovovanie. Pred vlastným galvanickým pokovovaním sa póry zaplňujú napr. plastami. Na takéto povrchy sa nanášajú vrstvy medi, niklu, kadmia, cínu, zinku alebo chrómu [8].

1.8 Spracovanie v prehriatej pare

Prehriata para sa bežne používa na spracovanie súčiastok na báze Fe, najmä na zlepšenie odolnosti proti opotrebeniu, ale aj proti korózii. Počas spracovania v peci sa súčiastky ohrejú na teplotu 370 °C, na odparenie vlhkosti [9]. Následne sa do pece privedie para a teplota sa zvýši na 510 °C až 540 °C, kedy dôjde k oxidácii železa a všetky vnútorné aj vonkajšie povrchy sa pokrývajú tvrdým čiernym kovovým oxidom Fe_3O_4 . Následne sa aplikuje ochladzovanie v oleji. Hrúbka oxidickej vrstvy nesmie presiahnuť 10 μm .

1.9 Spájanie

Pri spekaných materiáloch možno použiť takmer všetky procesy spájania. Pri spájkovaní niekedy môže dôjsť k infiltrácii spekaného materiálu spájkou. V tom prípade je potrebné najskôr materiál infiltrovať zliatinou s bodom tavenia rovnakým alebo vyšším, ako je teplota tavenia spájky alebo použiť dostatočné množstvo spájky aj na infiltráciu aj na spájkovanie.

Na zváranie spekaných materiálov je možné použiť všetky konvenčné metódy zvárania [10].

ZÁVER

Výrobky z práškovej metalurgie majú svoje výhody, ale aj nevýhody. Medzi nevýhody patria nároky na nástroje, ktoré zabezpečujú tvárnenie prášku. Ďalšou nevýhodou je menšia hutnosť materiálu a teda aj pevnosť, spôsobená pórovitosťou materiálu. Medzi výhody práškovej metalurgie možno zaradiť rýchlu výrobu súčiastok, veľké využitie materiálu, vieme získať rovnomerne rozložené častice v štruktúre a teda homogenitu po celom priereze, získavame materiál s požadovaným chemickým zložením.

Dodatočné operácie umožňujú opracovať alebo zlepšiť vlastnosti spekaných súčiastok. Využívajú sa tie dodatočné operácie, ktoré sú nevyhnutné pre zabezpečenie požadovaných vlastností. Dodatočné operácie sa používajú vtedy, ak samotným tvarovaním prášku nie sú zabezpečené požadované výsledné tvary a tolerancie. Taktiež sa dodatočné operácie používajú, ak po spekaní nie je zabezpečená požadovaná tvrdosť, odolnosť voči opotrebeniu, odolnosť voči korózii a pod. Po operácii spekania je možné so súčiastkou vykonávať operácie ako s bežnými hutnými súčiastkami.

Pod'akovanie

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

LITERATÚRA

[1] IŽDINSKÁ, Z. - ŠVEC P. (2013): *Prášková metalurgia*. STU Bratislava, ISBN 978-80-227-3875-0.

[2] NEMČOK, O. (2011): *Prášková metalurgia*. 1. vyd. Dubnica nad Váhom, ISBN 978-80-89400-20-1

[3] SKOTNICOVÁ, K. - KURSA, M. (2013): *Prášková metalurgia*. Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-3378-1

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

[5] HOULDCROFT, P. T. - JOHN, R. (2001): *Welding and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes*. s.l.: Welding and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes, s. 240. ISBN: 9781855735781.

[6] KRAUSE. (2020): *Krause Guss. Krause Präzisions-Kokillenguss GmbH*. [Online] Krause Präzisions-Kokillenguss GmbH. <https://www.krause-guss.com/material/aluminum-bronze/>.

[7] KUHN, H. - MEDLIN, D. (2000): *ASM Handbook*. Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation. Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 0871703890.

[8] New Coms International Ltd. (2020). *METALS - Copper alloys*. Dostupné na: <https://newcomssrl.com/en/leghe-di-rame/>.

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

[10] KOCH, H. - FRIEDRICH, L. J. - HINKEL, V. - LUDWIG, F. - POLITT, B. - SCHURIG, T. (1991): *Hollow cathode discharge sputtering device for uniform large area thin film deposition*. J. Vac. Sci. Technol., A 9, 2374.