

Dionizy Biało¹

Politechnika Warszawska, Instytut Inżynierii Precyzyjnej i Biomedycznej, ul. Chodkiewicza 8, 02-525 Warszawa

WYTWARZANIE KOMPOZYTÓW W PROCESACH METALURGII PROSZKÓW

Przedstawiono podstawowe etapy i operacje występujące w procesie wytwarzania kompozytów o osnowach metalowych na drodze metalurgii proszków. Omówiono metody wykonywania proszków osnowy, przygotowanie mieszanek, metody formowania kształtek, spiekanie, operacje dogęszczania i operacje uzupełniające. Przedstawiono przykład procesu wytwarzania kompozytów aluminiowych, opierającego się na metodzie wyciskania na gorąco.

MANUFACTURING OF COMPOSITES BY THE POWDER METALLURGY ROUTE

The principal stages and technological operations in the manufacturing process of metal matrix composites processed by the powder metallurgy route are presented in this paper - table 1. Next are shown the production methods of powders with matrix or composite composition, and the methods of preparing of mixes for compaction by dry and wet mixing. Attention was paid on compaction and composite parts forming: die compaction, hot and cold isostatic compaction, rolling, extrusion, infiltration of powders, spray deposition, PVD and CVD processes, injection moulding and slip casting. The purpose of sintering and importance of protective atmosphere was also marked. The methods of obtaining full (100%) density: hot pressing, hot extrusion, forging, rolling etc. was presented and technological operations lead up to better mechanical properties as well as allowing to get necessary shapes and accuracy: coining, machining and joing was presented. In the second part of the paper is shown the example of the production process of aluminium matrix composites reinforced with ceramic particles - fig. 1. The process of extrusion is realized in two variants. The first one consists pressing of the mixture of powders in can before extrusion, the second uses during extrusion earlier compacted billets.

WSTĘP

Procesy metalurgii proszków (MP) to druga poza procesami odlewniczymi istotna grupa procesów wytwarzania materiałów i wyrobów kompozytowych o osnowach metalowych [1-3].

Kompozyty otrzymane w procesach MP charakteryzują się szeregiem korzystnych właściwości, z których do najważniejszych należą:

- mogą być wytwarzane z dużą zawartością fazy zbrojącej nawet do 55% (odlewane praktycznie do 20%), co jest wykorzystywane przy wytwarzaniu kompozytów o szczególnie dużej sztywności lub wyjątkowo niskiej rozszerzalności cieplnej,
- mogą być wytwarzane na bazie większej liczby stopów jako osnowy,
- procesy metalurgii proszków są realizowane w „stanie stałym”, co minimalizuje reakcje pomiędzy ceramicznym zbrojeniem a metalową osnową i ogranicza niebezpieczeństwo powstania kruchych granic międzyfazowych,
- często stosowane procesy otrzymywania proszków z fazy ciekłej, np. przez rozpylanie, przebiegają w warunkach dużych szybkości studzenia, w efekcie powstaje drobnokrystaliczna mikrostruktura przysądająca o lepszych cechach mechanicznych uzys-

kanych kompozytów w temperaturach otoczenia i w temperaturach podwyższonych, a także o wyższej odporności na zużycie.

Procesy MP są bardziej złożone, bardziej różnorodne i kosztowniejsze niż odlewnicze. W efekcie cena jednostkowa takiego kompozytu przewyższa cenę jednostkową kompozytu odlewanego o takim samym składzie.

ETAPY I OPERACJE WYTWARZANIA KOMPOZYTÓW

Procesy MP stosowane do wytwarzania kompozytów obejmują w zasadzie takie same etapy i operacje technologiczne, jakie stosowane są w produkcji elementów konstrukcyjnych spiekanych z proszków metali [4] - tabela 1. Obejmują one 6 podstawowych etapów, zawierających zarówno operacje wykonywania proszków i mieszanek do formowania, jak również najważniejsze operacje formowania i zagęszczania, a także spiekanie, operacje dogęszczania i operacje uzupełniające.

TABELA 1. **Metody metalurgii proszków stosowane w procesach wytwórczych materiałów i wyrobów kompozytowych [5-17]**

¹ dr inż.

TABLE 1. Powder metallurgy methods used in the processing of composite materials and products [5-17]

| Etapy | Operacje |
|--|--|
| Wykonywanie proszków osnowy lub proszków kompozytowych | 1 - rozpylanie 2 - redukcja 3 - elektroliza 4 - przędzenie (melt spinning, melt extraction)* 5 - mechaniczna synteza 6 - pokrywanie cząstek zbrojenia warstwą materiału osnowy 7 - utlenianie powierzchniowe lub wewnętrzne * łuski, taśmy do rozdrobnienia, włókna |
| Wykonanie mieszanek | 1 - mieszanie na sucho 2 - mieszanie na mokro |
| Zagęszczanie, formowanie | 1 - prasowanie matrycowe na zimno 2 - prasowanie matrycowe na gorąco 3 - prasowanie izostatyczne na zimno 4 - prasowanie izostatyczne na gorąco 5 - wyciskanie 6 - walcowanie 7 - wytłaczanie 8 - infiltracja proszków 9 - infiltracja kształtek porowatych 10 - osadzanie rozpylonego materiału z fazy ciekłej 11 - formowanie wtryskowe proszków PIM 12 - odlewanie gęstw proszkowych WPP 13 - nanoszenie plazmowe, PVD, CVD |
| Spiekanie | 1 - spiekanie w atmosferach ochronnych 2 - samorozwijająca synteza SHS 3 - debinderyzacja połączona ze spiekaniem (dla PIM; WPP) |
| Operacje dogęszczania | 1 - doprasowanie na gorąco 2 - doprasowanie izostatyczne na gorąco 3 - wyciskanie (ekstruzja) 4 - kucie 5 - walcowanie 6 - doprasowanie wybuchowe |
| Operacje uzupełniające | 1 - obróbka cieplna 2 - kalibrowanie 3 - obróbka skrawaniem 4 - spawanie, lutowanie, łączenie dyfuzyjne |

Duża różnorodność operacji wykorzystanych w poszczególnych etapach wytwarzania kompozytów wynika ze znacznej liczby stosowanych procesów. Wybór określonych operacji dokonywany jest indywidualnie dla danego kompozytu wg jego składu, materiałów komponentów i wymagań dotyczących właściwości, dokładności wymiarowej kształtu wyrobu kompozytowego itd.

Wykonywanie proszków

W tym etapie wytwarzane są proszki o składzie materiału osnowy lub proszki o składzie projektowanego kompozytu, czyli zawierające cząstki zbrojenia w od-

powiedniej ilości, dość równomiernie rozmieszczone w materiale osnowy.

Najszerzej stosowana jest metoda rozpylania ciekłego metalu ze względu na jej dużą wydajność i prostotę.

Metody przedzenia czy pokrywania cząstek zbrojenia warstwą materiału osnowy są stosowane w dość ograniczonej skali. Mechaniczna synteza jest metodą oryginalną, ale wymagającą długiego czasu i dużego zapotrzebowania energii, stąd wynika niewielkie jej zastosowanie, praktycznie nieprzekraczające skali laboratoryjnej.

Wykonywanie mieszanek

Przed formowaniem kompozytowych kształtek składniki kompozytu, tj. proszki osnowy i proszki zbrojenia, poddaje się operacji mieszania w celu uzyskania homogenicznej mieszaniny. Mieszanie prowadzi się najczęściej na sucho w mieszalnikach łopatkowych, bębnowych lub dwustożkowych. Mieszaniny komponentów różniących się znacznie gęstością, wielkością lub kształtem cząstek proszków wymagają mieszania na mokro, aby zapobiec segregacji składników. Środkami zwilżającymi są najczęściej alkohole, benzyna, kamfora, a gdy nie grozi korozja - woda. Dodatkowo do mieszalnika wprowadza się kule. Tak uzyskana mieszanina wymaga suszenia np. w suszarkach próżniowych. Mieszaniki dwuskładnikowe nadają się do formowania przez prasowanie matrycowe na gorąco oraz prasowanie izostatyczne na zimno i gorąco.

Prasowanie matrycowe na zimno, które jest szeroko wykorzystywaną metodą formowania kompozytowych kształtek, wymaga stosowania mieszanek trójskładnikowych, w których środki poślizgowe stanowią trzeci dodatkowy składnik.

Niektóre metody formowania kompozytów wymagają przygotowania kompozycji składników o konsystencji lejnjej gęstwy, termoplastycznej masy lub termoplastycznego granulatu. Są to odpowiednio: odlewanie proszkowych gęstw WPP (*wet pouring process*), wytłaczanie i formowanie wtryskowe PIM (*powder injection moulding*). W każdym z tych przypadków proszki osnowy i proszki zbrojenia mieszane są z organicznymi lepiszczami o wymaganej lepkości. Przed spiekaniem kształtek niezbędne jest usunięcie lepiszcza.

Zagęszczanie, formowanie

Formowanie kształtek kompozytowych połączone jest zazwyczaj z zagęszczaniem. Metody formowania i zagęszczania realizowane w temperaturze otoczenia, np. prasowanie matrycowe, prasowanie izostatyczne czy odlewanie gęstw prowadzą do uzyskania kompozytów o znacznej porowatości. Niezbędne jest ich spiekanie, a następnie dalsze dogęszczanie.

Zagęszczanie w temperaturach podwyższonych, np. prasowanie na gorąco, prasowanie izostatyczne na gorąco, wyciskanie na gorąco, umożliwiają otrzymanie

kompozytów o gęstościach bliskich gęstościom teoretycznym.

Spiekanie

W procesie wytwórczym kompozytów metalowych spiekanie jest operacją, w której następuje scalenie komponentów i nadawanie odpowiednich właściwości. Ze względu na wysokie temperatury ($2/3-4/5$ temperatury bezwzględnej topnienia materiału osnowy) i niebezpieczeństwo utleniania spiekanie jest realizowane w atmosferach ochronnych zazwyczaj o charakterze redukcyjnym lub w próżni.

W przypadku formowania kształtek metodami, w których stosuje się organiczne substancje wiążące, co występuje np. przy formowaniu wtryskowym lub odlewaniu gęstw proszkowych, operację spiekania poprzedza faza (lub oddzielna operacja) usuwania tej substancji. Odbywa się to albo poprzez rozkład termiczny, albo przez wymywanie rozpuszczalnikami.

Dogęszczanie

Dogęszczanie wstępnie uformowanych kształtek przeprowadzane jest na drodze plastycznego odkształcania, zazwyczaj w temperaturach podwyższonych (kucie, prasowanie na gorąco, walcowanie). Po dogęszczeniu porowatość kompozytów na ogół nie przekracza 1%, a w niektórych metodach możliwe jest nawet osiągnięcie tzw. porowatości szczątkowej rzędu tysięcznych części procenta (doprasowywanie izostaticzne na gorąco, wyciskanie na gorąco, doprasowywanie wybuchowe).

Operacje uzupełniające

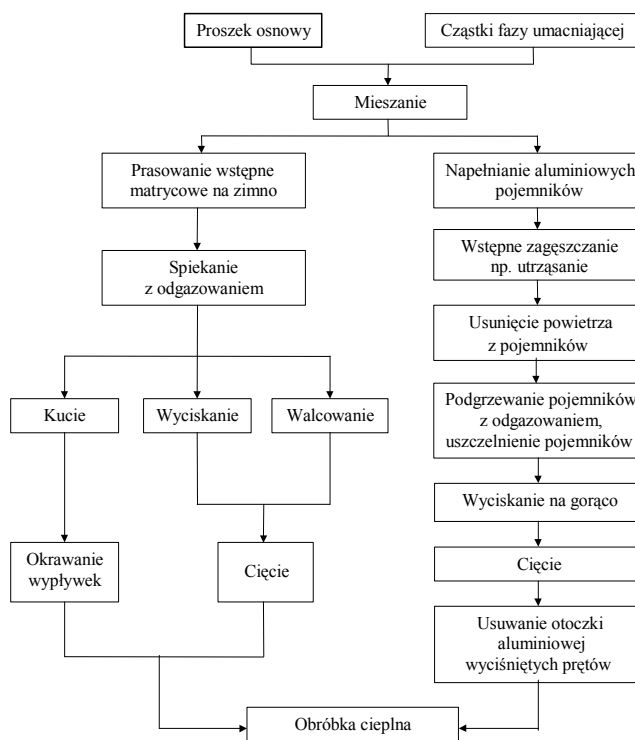
Są realizowane tylko w przypadku wymagań specjalnych dotyczących właściwości kompozytu (obróbka cieplna wyrobów kompozytowych) lub w przypadkach łączenia wyrobów kompozytowych (spawanie, lutowanie, łączenie dyfuzyjne).

Możliwa jest także obróbka skrawaniem AIMC. Jest to jednak operacja kłopotliwa z uwagi na ograniczoną trwałość narzędzi skrawających. Zawarte w kompozytach twarde cząstki zbrojące, często posiadające ostre krawędzie i naroża, działają ściernie na powierzchnie robocze narzędzi. Niezbędne jest stosowanie narzędzi z ostrzami diamentowymi lub z węglików spiekanych. W praktyce obróbka skrawaniem jest ograniczana do niezbędnego minimum. Np. w produkcji tłoków do silników samochodowych stosuje się precyzyjne kucie, a obróbka skrawaniem dotyczy jedynie rowków pod pierścienie tłokowe i otworu do sworznia.

PRZYKŁAD PROCESU WYTWARZANIA KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH

Na rysunku 1 pokazano przykład procesu wytwarzania kompozytów o osnowach aluminiowych zbrojonych

cząstkami ceramicznymi. Schemat blokowy zawiera dwa toki procesu, bazujące na operacjach technologicznych właściwych dla metalurgii proszków.



Rys. 1. Schemat blokowy procesu wytwarzania kompozytów aluminiowych
Fig. 1. Diagram of the production process of aluminium matrix composites

Tok prawy dotyczy procesu tradycyjnego. Wykorzystuje się w nim aluminiowe pojemniki, które napełnia się mieszaną proszków osnowy i proszków fazy zbrojącej. Po wstępnym zagęszczeniu z pojemników usuwane jest powietrze i pojemnik jest szczelnie zamykany. Po podgrzaniu do temperatury ok. 450°C pojemnik z wsadem jest poddawany wyciskaniu. Uzyskany pręt kompozytowy otoczony jest cienką aluminiową otoczką.

Tok lewy dotyczy procesu bardziej nowoczesnego, realizowanego obecnie przez czołowych producentów kompozytów aluminiowych. W tym toku mieszaninę składników kompozytu prasuje się na zimno do gęstości względnej ok. 85%. Kształtki poddaje się spiekaniu w atmosferze ochronnej i natychmiast dogęszcza poprzez kucie, wyciskanie lub walcowanie.

Warto zaznaczyć, że w obu tokach procesu wytwarzania powinien być realizowany zabieg odgazowania wstępnie zagęszczonego proszku lub porowatej kształtki. Ten zabieg jest zazwyczaj łączony z operacją spiekania - jako faza poprzedzająca osiągnięcie temperatury spiekania. Odgazowanie ma na celu usunięcie z powierzchni aluminiowego proszku zaadsorbowanych gazów, wody i wodorotlenków. Ich obecność i rozkład podczas wyciskania na gorąco skutkuje powstaniem gazów w objętości dogęszczanego materiału. W efekcie pojawić się może wtórna porowatość lub pęknięcia w wyciskany pręcie kompozytowym.

LITERATURA

- [1] Brautman L.J., Krock R.H., Composite materials, Academic Press, New York 1975.
- [2] Sobczak J., Metalowe materiały kompozytowe, Stan aktualny i perspektywy rozwoju w świetle polityki naukowej, technologii i praktyki przemysłowej Stanów Zjednoczonych, Wyd. Instytut Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [3] Biało D., Wytwarzanie kompozytów o osnowie Al z twarzymi wtrąceniami przez ekstruzję na gorąco, I Polska Konferencja Metalowych Materiałów Kompozytowych, Kraków 22-23.10.1992, ref. 13.
- [4] Missol W., Spiekane części maszyn, Wyd. Śląsk, Katowice 1978.
- [5] Kaczmar J.W., Spiekane materiały kompozytowe uzyskiwane w procesie mechanicznego wytwarzania stopów i wyciskania, Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej 65, seria Monografie 19, Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [6] Feng C.F., Froyen L., Densification of porous Al matrix composites prepared by reactive sintering, Proc. PM World Congress, Granada 18-22 Oct. 1998, 5, 73-78.
- [7] Bhanuprasad V.V., Bhat R.B.V., Kuruvilla A.K., Prasad K.S., Pandey A.B., Mahajan Y.R., P/M processing of Al-SiC composites, The International Journal of Powder Metallurgy 1991, 27, 3, 227-235.
- [8] Vedani M., Piatti G., Mechanical properties of Al-SiC particulate composites produced by vacuum plasma spray co-de-position technique, Proc. 12th Risco International Symposium on Materials Science, Metal Matrix Composites - Processing, Microstructure and Properties, Roshilde 2-6 Sept., 1991, 713-718.
- [9] Niklas A., Froyen L., Delaey L., Comparative evaluation of extrusion and hot isostatic pressing as fabrication techniques for Al-SiC composites, Mater. Sci. Eng. 1991, A135, 225-229.
- [10] Murakoshi Y., Sano T., Umezawa A., Maeda R., Yamaguchi M., Hirohashi M., Production of MMC by using coated SiCp with Ti by PECVD, Proc. 1997 European Conference on Advances in Structural PM Component Production, Munich 15-17 Oct. 1997, 503-510.
- [11] Bose A., Alman D.E., Stoloff N.S., Powder injection molding and reactive processing of alumina reinforced Ni (Al, Si) matrix composites. Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1992, 9, 209-222.
- [12] Stephani G., Lehnert F., Staniek G., Peters M., High strength and particulate reinforced aluminium alloys by melt extraction, Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1992, 7, 397-411.
- [13] Kosec L., Javoric S., Sustarsic B., Petrovic S., Explosive compaction of metal - SiC composites, Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1996, 5, 16, 185-190.
- [14] Szczepanik S., The forging of the Al - 5% SiC composite obtained using P/M method. Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1996, 4, 14, 15-25.
- [15] Cox. M., Production methods for metal matrix composites. An overview, Proc. BNF 7th International Conference The Materials Revolution through 90's, paper 31.
- [16] Hunt W.H., Rodjom T. J., Discontinuously reinforced aluminium materials by powder metallurgy processes, Proc. 1992 Powder Metallurgy World Congress, San Francisco, Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1992, 9, 21-31.
- [17] Bhagat R.B., Emerging P/M metal matrix composites, Proc. 1992 Powder Metallurgy World Congress, San Francisco, Adv. Powder Metall. Particulate Mater. 1992, 9, 139-146.

Recenzent
Katarzyna Pietrzak